

Міністерство освіти і науки України
Кам'янець-Подільський національний університет імені Івана Огієнка

О. П. ПАНЧУК

ПРАКТИКУМ З НАВЧАЛЬНОГО ФІЗИЧНОГО ЕКСПЕРИМЕНТУ



НАВЧАЛЬНО-МЕТОДИЧНИЙ ПОСІБНИК

для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти
за освітньо-професійною програмою Середня освіта (Фізика, інформатика),
спеціальності 014 Середня освіта (Фізика та астрономія)

Електронне видання

Кам'янець-Подільський, 2025

УДК 53(075.8)

ББК 22.3я73

П16

*Рекомендувала вчена рада фізико-математичного факультету
Кам'янець-Подільського національного університету імені Івана Огієнка,
протокол № 4 від 27 березня 2025 р..*

Рецензенти:

Думанський О.В. – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри електро-техніки, електромеханіки і електротехнологій ЗВО «Подільський державний університет»;

Килимник С.М. – кандидат педагогічних наук, викладач-методист, спеціаліст вищої категорії ВСП «Кам'янець-Подільський фаховий коледж харчової промисловості НУХТ»;

Оптасюк С.В. – кандидат фізико-математичних наук, доцент, завідувач кафедри фізики Кам'янець-Подільського національного університету імені Івана Огієнка.

Панчук О. П.

П16 Практикум з навчального фізичного експерименту: навчально-методичний посібник для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти за освітньо-професійною програмою Середня освіта (Фізика, інформатика), спеціальності 014 Середня освіта (Фізика та астрономія) [Електронний ресурс]. Кам'янець-Подільський: Кам'янець-Подільський національний університет імені Івана Огієнка, 2025. 134 с.

Навчально-методичний посібник складається з частин: вступ, робоча програма, лабораторні заняття, список використаних джерел.

Практикум з фізичного експерименту спрямований на практичну підготовку майбутніх учителів фізики, покликаний сприяти розвитку в них діалектико-матеріалістичних поглядів на природу, створити у здобувачів вищої освіти основу широкої теоретичної підготовки в області фізики, що дозволить їм орієнтуватися в потоці наукової і технічної інформації. Це забезпечить можливість використовувати фізичні принципи в тих областях знань, в яких вони спеціалізуються. Значне місце у навчально-методичному посібнику займають навчальні лабораторні роботи з розділів "Механіки", "Молекулярної фізики і термодинаміки", "Електрики та магнетизму".

Навчально-методичний посібник складений на основі робочої програми для спеціальності 014 Середня освіта (Фізика та астрономія) і стане у нагоді студентам нефізичних спеціальностей та викладачам фізики.

УДК 53(075.8)

ББК 22.3я73

Електронна версія посібника доступна за покликанням:

URL: <http://elar.kpnu.edu.ua/xmlui/handle/123456789/9152>

© О. П. Панчук, 2025



ЗМІСТ

ПЕРЕДМОВА.....	5
ПРОГРАМА ПРАКТИКИ З НАВЧАЛЬНОГО ФІЗИЧНОГО ЕКСПЕРИМЕНТУ.....	7
ЛАБОРАТОРНІ РОБОТИ	17
Робота № 1. ВИМІРЮВАННЯ ОСНОВНИХ МЕХАНІЧНИХ ВЕЛИЧИН	17
Робота № 2. ВИЗНАЧЕННЯ ПРИСКОРЕННЯ ВІЛЬНОГО ПАДІННЯ ЗА ДОПОМОГОЮ МАТЕМАТИЧНОГО МАЯТНИКА.....	24
Робота № 3. ВИЗНАЧЕННЯ ВОЛОГОСТІ ПОВІТРЯ	27
Робота № 4. ВИЗНАЧЕННЯ ПИТОМОЇ ТЕПЛОТИ ПЛАВЛЕННЯ ЛЬОДУ	33
Робота № 5. ВИМІРЮВАННЯ СИЛИ СТРУМУ, НАПРУГИ ТА ОПОРУ	35
Робота № 6. ДОСЛІДЖЕННЯ КОРИСНОЇ ПОТУЖНОСТІ ТА К.К.Д. ДЖЕРЕЛА СТРУМУ	40
Робота № 7. ВИЗНАЧЕННЯ ГОРИЗОНТАЛЬНОЇ СКЛАДОВОЇ ІНДУКЦІЇ МАГНІТНОГО ПОЛЯ ЗЕМЛІ	44
Робота № 8. ВИЗНАЧЕННЯ ПОКАЗНИКА ЗАЛОМЛЕННЯ СКЛА ЗА ДОПОМОГОЮ МІКРОСКОПА.....	49
Робота № 9. ВИЗНАЧЕННЯ ГОЛОВНОЇ ФОКУСНОЇ ВІДДАЛІ ЛІНЗИ	54
Робота № 10. НАВЧАЛЬНИЙ ЕКСПЕРИМЕНТ В ХОДІ ВИВЧЕННЯ ЕЛЕКТРОСТАТИКИ.....	59
Робота № 11. ЕЛЕКТРОЄМНІСТЬ. КОНДЕНСАТОРИ.....	68

Робота № 12. НАВЧАЛЬНИЙ ЕКСПЕРИМЕНТ ПРИ ВИВЧЕННІ ПОСТІЙНОГО СТРУМУ	75
Робота № 13. ЗАКОНИ ПОСТІЙНОГО СТРУМУ.....	84
Робота № 14. ЕЛЕКТРИЧНИЙ СТРУМ В РІДИНАХ	92
Робота № 15. ЕЛЕКТРИЧНИЙ СТРУМ В ГАЗАХ	100
Робота № 16. ЕЛЕКТРИЧНИЙ СТРУМ У ВАКУУМІ ТА РОЗРІДЖЕНИХ ГАЗАХ.....	106
Робота № 17. ЕЛЕКТРИЧНИЙ СТРУМ У НАПІВПРОВІДНИКАХ	116
Робота № 18. МАГНІТНЕ ПОЛЕ СТРУМУ	124
РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА.....	132



ПЕРЕДМОВА

Навчально-методичний посібник призначений для здобувачів вищої освіти (ВО) фізико-математичного факультету спеціальності 014 Середня освіта (Фізика та астрономія) Кам'янець-Подільського національного університету імені Івана Огієнка. Вони містять інструкції до 20 лабораторних робіт з різних розділів загального курсу фізики.

Фізика є фундаментом природничої освіти, філософії природознавства та науково-технічного прогресу. Метою лабораторного практикуму є:

- Формувати і розвивати в здобувачів ВО наукові знання та вміння, необхідні для розуміння явищ природи, процесів, що відбуваються в природі і побуті.
- Сформувати вміння систематизувати результати спостережень явищ природи.
- Надати здобувачам ВО практичні вміння використовувати вимірювальні прилади.
- Навчити здобувачів ВО виконувати вимірювання основних фізичних величин, ознайомити з характеристиками різноманітних фізичних приладів та їх застосуванням для досліджень законів природи.
- Навчити оцінювати похибки вимірювання при виконанні лабораторних робіт.

В ході виконання робіт студенти засвоюють вміння застосовувати теоретичні знання в експериментальній роботі. Тому недоцільно приступати до виконання лабораторної роботи, не засвоївши теоретичні відомості, не маючи уявлення про прилади, що використовуються, та про хід роботи.

Отже перед тим як приступити до виконання роботи, слід ознайомитись з інструкцією і записати в робочий зошит:

- номер і назву лабораторної роботи;
- мету роботи;
- перелік приладів, що будуть використовуватись;
- короткий конспект теоретичного обґрунтування методу та схему установки;
- таблицю для запису результатів вимірювань і обчислень.

Якщо під час підготовки до роботи виникли питання теоретичного характеру, то слід звернутися до підручників, список яких наведено в кінці посібника, або до викладача за консультацією.

Виконуючи роботу, слід одразу ж записувати в робочий зошит результати вимірювань. Не рекомендується виконувати навіть найпростіші розрахунки усно, не записавши результат вимірювання. Якщо під час записів буде допущена помилка, то ці записи допоможуть її знайти.

Результати експериментів зручно подавати у вигляді таблиць. На початку кожного стовпця напишіть назву чи символ відповідної величини та вкажіть одиницю її вимірювання.

В кінці заняття результати вимірювань і обчислень слід подати викладачеві на перевірку.

Обробка і аналіз одержаних результатів та відповіді на контрольні запитання складають зміст домашнього завдання. Графіки, побудовані в ході виконання роботи, бажано виконувати на міліметровому папері та вклеювати у звіт. Під час захисту лабораторної роботи здобувач ВО повинен пред'явити повністю оформлений звіт і відповісти на контрольні запитання.

Кам'янець-Подільський національний університет імені Івана Огієнка
Кафедра фізики

"ЗАТВЕРДЖУЮ"

Завідувач кафедри фізики

_____ Сергій ОПТАСЮК

підпис

"_____" _____ 2024 року

ПРОГРАМА ПРАКТИКИ З НАВЧАЛЬНОГО ФІЗИЧНОГО ЕКСПЕРИМЕНТУ

підготовки бакалаврів галузі знань 01 Освіта / Педагогіка
спеціальності 014 Середня освіта (Фізика та астрономія)
за освітньо-професійною програмою Середня освіта
(Фізика, інформатика)

2024 – 2025 навчальний рік

Розробники програми:

Олег ПАНЧУК, кандидат педагогічних наук, доцент кафедри фізики

Робочу програму ухвалено на засіданні кафедри фізики

Протокол № ____ від _____ 2024 року

ПОГОДЖЕНО:

Гарант освітньої програми

Сергій ОПТАСЮК



ЗМІСТ ПРОГРАМИ ПРАКТИКИ

1. Загальні положення

Навчальна практика з фізичного експерименту студентів спеціальності 014 Середня освіта (Фізика та астрономія) є складовою частиною навчального процесу і здійснюється з метою закріплення теоретичних знань та набуття досвіду практичної роботи виконання лабораторних робіт шкільного курсу фізики, властивих відповідній спеціальності.

Проведення практики передбачено навчальним планом підготовки бакалаврів у п'ятому семестрі впродовж 4,5 кредитів ECTS або 135 навчальних годин, 45 з яких відводиться на аудиторну роботу на базі практики, а 90 на самостійну роботу, під час якої студенти здійснюють підготовку до виконання завдань, пропонованих на базі практики та в шостому семестрі 3 кредитів ECTS або 90 навчальних годин, 30 з яких відводиться на аудиторну роботу на базі практики, а 60 на самостійну роботу.

Мета практики – додаткова підготовка студентів до професійно-орієнтованого навчання та формування компетентнісного та світоглядного рівня професійних якостей майбутнього учителя фізики в процесі лабораторного практикуму з навчального фізичного експерименту.

Завданнями навчальної практики є:

- розширення та закріплення теоретичних знань і практичних навичок, що отримані з шкільного курсу фізики та університетського курсу «Методики навчання фізики», «Загальної фізики», «Вступу до спеціальності»;
- опанування методологією проведення фізичних практикумів та фронтальних лабораторних робіт;
- узагальнення та закріплення знань із найбільш важливих питань курсу фізики;

- підготовка до виконання науково-дослідної роботи з профільних дисциплін.

Інтегральна компетентність:

Здатність розв'язувати складні спеціалізовані задачі та практичні проблеми в галузі середньої освіти, що передбачає застосування теорій і методів педагогіки, психології, фізики, астрономії та інформатики і характеризується комплексністю та невизначеністю педагогічних умов організації освітнього процесу в закладі освіти.

Загальні компетентності:

ЗК 01. Здатність до пошуку інформації, її аналізу та критичного оцінювання.

ЗК 10. Здатність застосовувати набуті знання в практичних ситуаціях.

Спеціальні (фахові, предметні) компетентності:

СК 01. Здатність до формування в учнів ключових і предметних компетентностей та здійснення міжпредметних зв'язків.

СК 02. Володіння основами цілепокладання, планування та проектування процесу навчання учнів.

СК 03. Здатність здійснювати об'єктивний контроль і оцінювання рівня навчальних досягнень учнів.

СК 04. Здатність до забезпечення охорони життя й здоров'я учнів (зокрема з особливими потребами) в освітньому процесі та позаурочній діяльності.

СК 06. Здатність використовувати систематизовані теоретичні й практичні знання з фізики, астрономії та методик навчання у вирішенні професійних завдань.

СК 07. Володіння математичним апаратом фізики та астрономії у межах, достатніх для вивчення загального курсу фізики та її теоретичних курсів, а також астрономії.

СК 10. Здатність до організації та проведення шкільного фізичного експерименту із застосуванням всіх його видів в освітньому процесі з фізики.

СК 11. Здатність розв'язувати задачі шкільного курсу фізики та астрономії різного рівня складності та пояснювати їх розв'язання учням.

СК 13. Здатність до самостійної експериментальної діяльності з фізики та методики навчання фізики з описом, аналізом та критичним оцінюванням експериментальних даних.

Прогнозовані результати навчання:

ПРН 04. Уміє оперувати базовими категоріями та поняттями спеціальності.

ПРН 06. Добирає і застосовує сучасні освітні технології та методики для формування предметних компетентностей учнів і здійснює самоаналіз ефективності проведених уроків.

ПРН 10. Аналізує фізичні явища і процеси на основі фізичних законів, теорій, принципів, із застосуванням відповідних математичних методів.

ПРН 11. Володіє методикою проведення навчального фізичного експерименту, застосовує всі його види в освітньому процесі з фізики.

ПРН 12. Знає, розуміє і демонструє здатність реалізовувати теоретичні й методичні засади навчання фізики та астрономії для виконання освітньої програми в базовій середній школі.

ПРН 16. Володіє основами наукових досліджень, здійснює самостійну експериментальну діяльність з фізики та методики навчання фізики з описом, аналізом та критичним оцінюванням експериментальних даних.

Після проходження практики студент повинен

знати:

- загальні питання методики навчання фізики;
- методичні основи організації і проведення навчального фізичного експерименту.

вміти:

- розв'язувати типові професійні задачі окреслені за дидактичними цілями діяльності учителя фізики;
- здійснювати розв'язок будь-якої професійної задачі у співвідношенні його з проектувальною, виконавською чи контрольною процедурами навчально-пізнавальної діяльності.

2. Зміст навчальної практики з фізичного експерименту

Перелік змісту роботи з рекомендованим розподілом за годинами для студентів кожної спеціальності наведено у наступній таблиці:

№	Зміст робіт	Кількість годин
Змістовий модуль 1. 5-й семестр (4,5 кредитів ECTS, 135/45 год.)		
1.	Проходження інструктажу з техніки безпеки. Ознайомлення з метою та програмою практики, отримання завдання.	1
2.	Вимірювання основних механічних величин	2
3.	Визначення прискорення вільного падіння з допомогою математичного маятника	2
4.	Визначення вологості повітря	2
5.	Визначення питомої теплоти плавлення льоду	4
6.	Вимірювання сили струму, напруги та опору	2
7.	Дослідження корисної потужності та к.к.д. джерела струму	4
8.	Визначення горизонтальної складової індукції магнітного поля землі	4
9.	Визначення показника заломлення скла з допомогою мікроскопа	4
10.	Визначення головної фокусної віддалі лінзи	2
11.	Навчальний експеримент в ході вивчення електростатики	4
12.	Електроємність. конденсатори	4
13.	Навчальний експеримент при вивченні постійного струму	4
14.	Закони постійного струму	6
15.	Оформлення звіту згідно з ДСТУ	протягом практики
Всього годин:		45
Змістовий модуль 2. 6-й семестр (3 кредити ECTS, 90/30 год.)		
1.	Проходження інструктажу з техніки безпеки. Ознайомлення з метою та програмою практики, отримання завдання.	1
2.	Електричний струм в рідинах	2
3.	Електричний струм в газах	4
4.	Електричний струм у вакуумі та розріджених газах	3
5.	Електричний струм у напівпровідниках	4
6.	Магнітне поле струму	4
7.	Магнітні властивості речовин	4
8.	Практичне використання магнетизму	4
9.	Електромагнітна індукція	4
10.	Оформлення звіту згідно з ДСТУ	протягом практики
Всього годин:		30

Базами навчальної практики з фізичного експерименту є лабораторії методики навчання фізики (32-33 лабораторії) як підрозділи університету. Кафедра заздалегідь визначає потрібні лабораторії та розподіляє по них здобувачів ВО, повідомляючи про це їм перед початком практики.

Наказом ректора здійснюється скерування здобувачів ВО у відповідні лабораторії МНФ, визначаються керівники практики від кафедри. Кожному здобувачу видається щоденник практики.

Загальне навчально-методичне керівництво навчальною практикою з фізичного експерименту здійснює кафедра фізики через керівників практики. Здобувач ВО зобов'язаний щоденно відвідувати базу практики, виконувати усі поставлені перед ним завдання та заповнювати щоденник практики.

У разі необхідності практика може проводитись з використанням дистанційних технологій навчання на платформах/сервісах MOODLE, Google Meet, Zoom (відповідно до розкладу, складеного деканатом).

3. Звітна документація

Для успішного виконання завдань практики студент складає *календарний графік практики*. Календарний графік практики здобувача ВО узгоджується з керівниками практики від кафедри. Про виконання пунктів календарного плану та про труднощі при їх виконанні слід своєчасно інформувати керівників практики.

Робочий день практиканта може тривати від 2 до 6 годин.

За результатами проходження навчальної практики з фізичного експерименту здобувачі ВО складають *звіт*, структура, зміст і правила оформлення якого описано у додатку А. Звіт починається з титульного аркуша, шаблон якого наведено у додатку Б. Цей аркуш повинен бути підписаний здобувачем ВО та викладачем-керівником.

До *щоденника* практики заносяться нотатки про роботу здобувача ВО. Щоденник повинен постійно знаходитися на робочому місці здобувача та пред'являтися на прохання керівника практики. Після закінчення практики до щоденника записується коротка характеристика роботи здобувача ВО і рекомендована оцінка практики. *Характеристика* практиканта підписується керівником практики від бази практики.

4. Критерії оцінювання роботи здобувачів ВО практики

Контроль за ходом практики здійснюють керівники практики від кафедри. Оцінювання та аналіз роботи студентів-практикантів під час практики здійснюється керівниками практики за наступними критеріями:

- ступінь сформованості професійних умінь;
- рівень володіння теоретичними знаннями професійної спрямованості;
- вміння коригувати роботу відповідно до зауважень;
- вміння працювати з лабораторним обладнанням загального та спеціального призначення.

Методи оцінювання:

- спостереження за діяльністю студентів у процесі практики;
- самооцінка здобувачами ВО рівня професійної підготовки;
- аналіз виступів здобувачів на захисті практики;
- аналіз звітної документації.

Підсумки проходження навчальної практики з фізичного експерименту підбиваються під час складання здобувачем ВО заліку комісії, яка призначається завідувачем кафедри фізики.

Залік з навчальної практики з фізичного експерименту забезпечує підсумковий контроль діяльності студента під час проходження ним практики на базі практики, а також при виконанні завдань впродовж самостійної підготовки.

Здобувач ВО вважається допущеним до заліку з практики, якщо він виконав всі види робіт, передбачені програмою практики.

При оцінюванні проробленої студентом-практикантом впродовж навчальної практики з фізичного експерименту роботи враховується:

- оформлення документації по практиці;
- змістовність доповіді під час захисту результатів практики і відповідей на запитання членів комісії;
- оцінка виставлена керівником практики від бази практики.

Критерії та норми оцінювання роботи практиканта в ході навчальної практики з фізичного експерименту визначаються комісією та можуть бути, наприклад, наступними:

№ з/п	Критерій	Рейтингові бали
1.	Відвідування бази проходження практики (відсутність пропусків)	5
2.	Виконання завдання, поставленого керівником від бази проходження практики	80
3.	Оформлення звітної документації	10
4.	Захист матеріалів практики	5
Разом:		100

Підсумкова кількість балів з навчальної практики з фізичного експерименту (максимум 100 балів) визначається як сума (проста або зважена) балів.

За результатами складання заліку загальна оцінка здобувача ВО з навчальної практики з фізичного експерименту заноситься в екзаменаційну відомість, проставляється в заліковій книжці та в журналі обліку успішності студентів відповідної академічної групи.

Здобувач ВО, що не виконав програму практики, отримав незадовільний відгук на базі практики або незадовільну оцінку при складанні заліку, може бути відрахований з університету.

Додаток А

Зміст і правила оформлення звіту з навчальної практики з фізичного експерименту

Оформлення звіту здійснюють згідно з ДСТУ 3008:2015 "Інформація та документація. Звіти у сфері науки і техніки. Структура та правила оформлювання". Поля сторінки: верхнє і нижнє – не менше ніж 20 мм, ліве – не менше ніж 25 мм, праве – не менше ніж 10 мм. Основний текст набирають шрифтом Times New Roman чорного кольору прямого накреслення через півтора-два міжрядкові інтервали кеглем 14.

У колонтитулі усіх аркушів звіту, крім першого, слід зазначати прізвище, ім'я, по батькові студента та найменування його групи.

Структура звіту з навчальної обчислювальної практики:

- 1) титульна сторінка;
- 2) зміст;
- 3) вступ;
- 4) інформація про матеріально-технічне та лабораторне забезпечення бази проходження практики;
- 5) опис виконання практики згідно з календарним планом (основні кроки виконання кожного із завдань);
- 6) пропозиції для кафедри щодо покращення підготовки фахівців та використання лабораторного та матеріально-технічного забезпечення для виконання завдань практики;
- 7) загальні висновки, особисті враження від практики;
- 8) додатки (за необхідності)

Додаток Б
Титульна сторінка звіту

Кам'янець-Подільський національний університет імені Івана Огієнка
Кафедра фізики

ЗВІТ

з навчальної практики з фізичного експерименту
здобувача ВО ____курсу____групи

спеціальності _____

(прізвище, ім'я та по батькові)

Період практики: з _____2025 р. по _____2025 р.

Керівник практики:
від кафедри

/посада/

/підпис/

/П.І.П./

2025 р.



ЛАБОРАТОРНІ РОБОТИ

Лабораторна робота № 1

ВИМІРЮВАННЯ ОСНОВНИХ МЕХАНІЧНИХ ВЕЛИЧИН

Мета роботи: Навчитись вимірювати: а) лінійні розміри тіл штангенциркулем та мікрометром; б) масу тіл зважуванням; в) об'єм тіла неправильної форми з допомогою мензурки. Навчитись обчислювати похибки вимірювань.

Прилади та матеріали: Штангенциркуль, мікрометр, терези технічні з набором важків, мензурка, набір тіл правильної геометричної форми, тіла неправильної геометричної форми, серветка.

Теоретичні відомості

1. Вимірювання лінійних розмірів штангенциркулем

Для вимірювання довжин з точністю біля 1 мм використовують **лінійку (масштаб)** з довжиною поділки (яку називають **ціною поділки**) 1 мм. Підвищити точність вимірювань можна, доповнивши масштаб **ноніусом**.

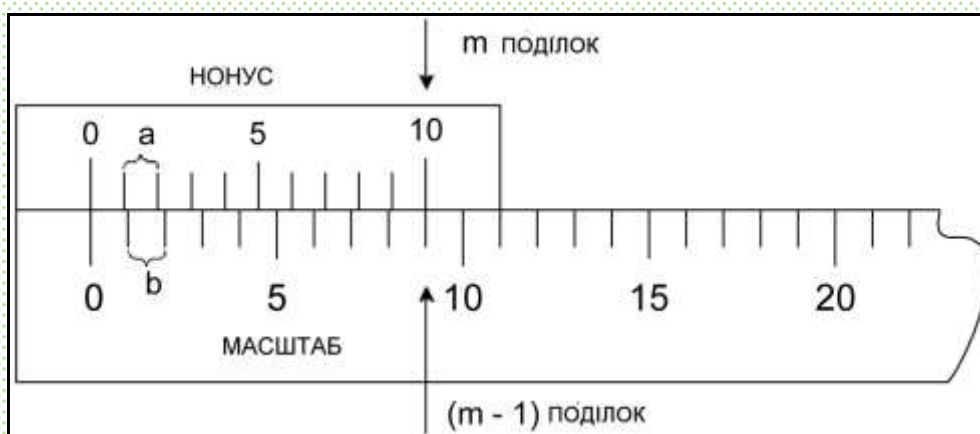


Рис. 1

Лінійний ноніус – це невелика лінійка, що ковзає вздовж масштабу. На цій лінійці нанесено маленьку шкалу, що містить m поділок (див. *рис. 1*; найчастіше $m = 10$). Довжина всіх m поділок ноніуса дорівнює довжині $(m-1)$ поділок основного масштабу, тобто:

$$ma = (m - 1)b, \quad (1)$$

де a – ціна поділки ноніуса, b – ціна поділки масштабу.

З (1) одержуємо:

$$(b - a) = b/m \quad (2)$$

Відношення b/m називають **точністю ноніуса**.

Розглянемо процес вимірювання з допомогою лінійного ноніуса.

Нехай L – відрізок, що вимірюється (*рис. 2*). Сумістимо з початком відрізка L нульову поділку основного масштабу. При цьому кінець відрізка нехай виявиться між поділками k і $(k+1)$ масштабу. Тоді можна записати:

$$L = kb + \Delta L, \quad (3)$$

де ΔL – невідома доля k -ої поділки масштабу.

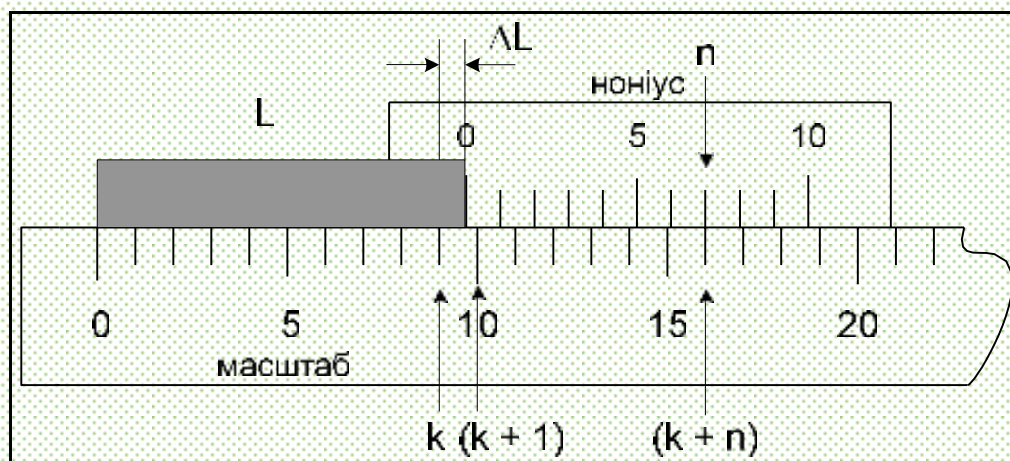


Рис. 2

Прикладемо тепер до кінця відрізка L ноніус таким чином, щоб нуль ноніуса співпав з кінцем цього відрізка. Оскільки поділки ноніуса не дорівнюють поділкам масштабу, то обов'язково на ноніусі знайдеться така поділка n , яка буде найближче підходити до відповідної $(k+n)$ -ої поділки масштабу. Як видно з *рис. 2*:

$$\Delta L = nb - a = n(b - a) = n \cdot b/m. \quad (4)$$

Вся довжина:

$$L = kb + n \cdot b/m. \quad (5)$$

Таким чином, довжина відрізка, що вимірюється з допомогою ноніуса, дорівнює числу цілих поділок масштабу плюс точність ноніуса, помножена на номер поділки ноніуса, яка співпадає з деякою поділкою масштабу.

Похибка, що може виникнути при такому способі відліку, зумовлюється неточним співпаданням n -ої поділки ноніуса з $(k+n)$ -тою поділкою масштабу і значення її не може бути більшим від $1/2 \cdot b/m$.

Отже, похибка ноніуса дорівнює половині його точності.

Лінійний ноніус використовують в **штангенциркулях** (рис. 3). Предмет, що вимірюється, розташовується між ніжками A і B штангенциркуля (тобто між нульовими поділками масштабною лінійкою M і ноніуса N). Для вимірювання внутрішніх розмірів тіл (наприклад, діаметра отвору) використовують частини FF обох ніжок.

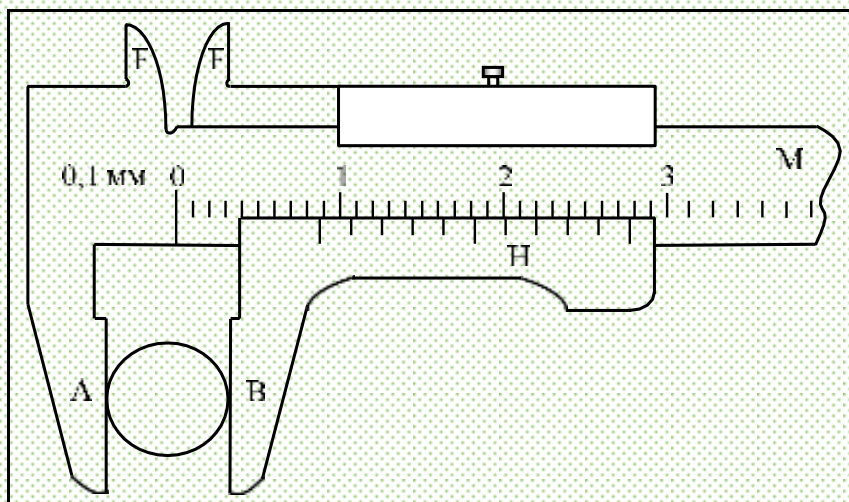


Рис. 3

Затискаючи предмет між ніжками штангенциркуля, не прикладайте значних зусиль: деформація тіла і ніжок штангенциркуля приводять до неправильних результатів. Під час вимірювання тіл прямокутної форми слідкуйте за паралельністю масштабу і стороною, що вимірюється.

2. Вимірювання лінійних розмірів мікрометром

Для вимірювання з точністю до сотих долів міліметра використовують **мікрометр** (рис. 4). Мікрометр використовують, як правило, для вимірювання невеликих лінійних розмірів – діаметра дроту, товщини пластинки і т. ін.

Під час вимірювання предмет затискається між нерухомим стержнем A і рухомим торцем мікрометричного гвинта B . Разом з мікрометрич-

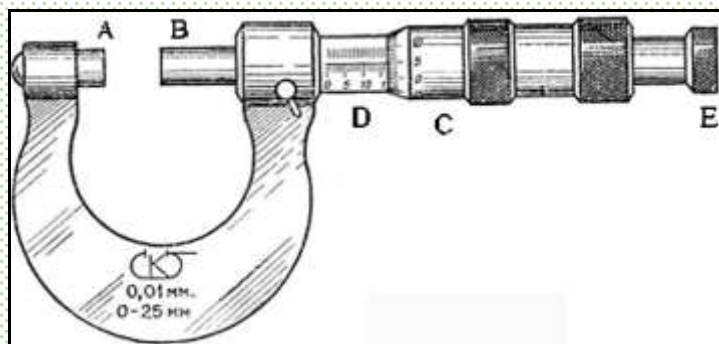


Рис. 4

ним гвинтом обертається барабан *C*, переміщуючись при цьому поступально відносно лінійної шкали *D*.

Вище шкали *D* нанесені штрихи, що відповідають серединам міліметрових поділок шкали *D*. Крок мікрогвинта дорівнює 0,5 мм, отже поступальне переміщення мікрогвинта на 1 мм відповідає двом обертам барабану. На барабані нанесена шкала, що містить 50 поділок, тобто ціна поділки шкали барабану дорівнює 0,01 мм. Відлік числа цілих міліметрів і їх половин здійснюють по лінійній шкалі, а числа сотих долів міліметра – по шкалі барабану (навпроти поздовжньої риски лінійної шкали).

Головним джерелом помилок під час вимірювань є нерівномірність натискання гвинта на предмет, що вимірюється. В зв'язку з цим **обертання мікрометричного гвинта під час вимірювань дозволяється лише за рукоятку *E***. В момент затискання рукоятка *E* продовжує обертатись з характерним потріскуванням, а барабан *C* залишається нерухомим. Спроба затиснути предмет з допомогою барабана *C* може привести до деформації предмета і до виведення з ладу самого мікрометра. Перед початком вимірювань, обертаючи рукоятку *E*, сумістіть стержні *A* і *B*. Покази мікрометра повинні бути $0,00 \pm 0,01$ мм; якщо це не так, то покази мікрометра, що відповідають нульовому значенню, слід записати і врахувати під час вимірювань.

3. Визначення маси тіла зважуванням на технічних терезах

Технічні терези схематично зображені на рис. 5.

Правила зважування

1. Підніміть терези з аретира ручкою 5 і перевірте їх рівновагу. При відсутності рівноваги опустіть терези на

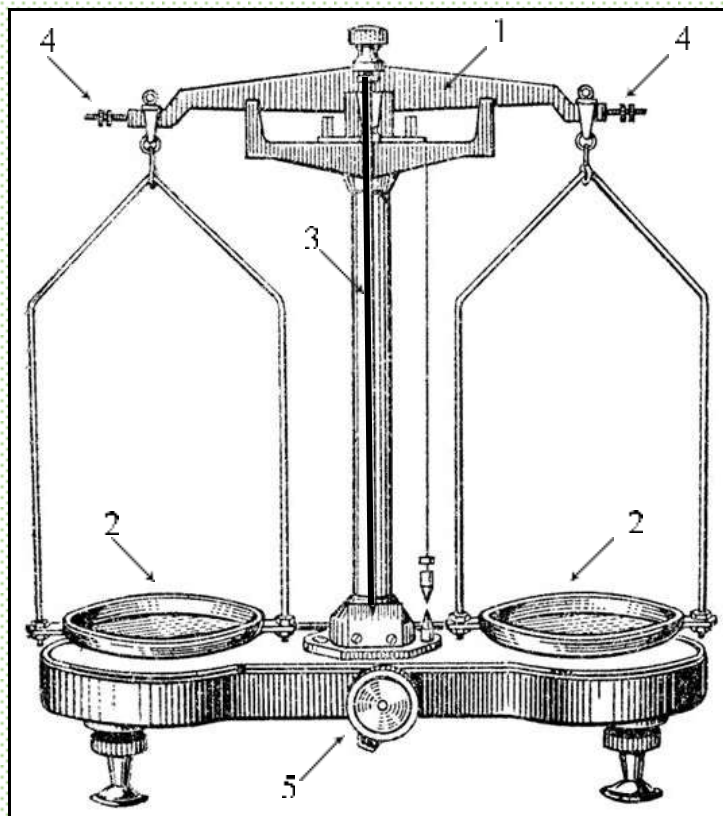


Рис. 5. Цифрами позначені:

1 – коромисло терезів; 2 – шальки терезів;
3 – стрілка – показчик; 4 – тягарці для регулювання;
5 – ручка аретира

аретир і переміщуйте тягарці 4, щоб зрівноважити терези. Знову перевірте рівновагу і при необхідності повторіть вказані дії.

2. На ліву шальку терезів покладіть тіло, масу якого треба визначити, а на праву – гирьку, маса якої трохи більша, ніж маса тіла. ***Терези при цьому опущені на аретир!*** Підніміть терези з аретира і за відхиленням стрілки 3 визначте співвідношення між масами тіла і гирьки (більше – менше). Якщо маса гирьки менше, опустіть терези на аретир і повторіть зважування з гирькою більшої маси. Зважування слід починати з визначення гирьки, маса якої трохи перевищує масу тіла. Знайшовши таку гирьку, зніміть її з шальки терезів і натомість покладіть гирьку меншої маси, сусідню в наборі важків. Далі переходять до гирьок меншої маси. Пропускати гирьки в наборі не рекомендується, оскільки при цьому, можливо, доведеться повторювати зважування. Дрібні важки слід брати пінцетом. ***Не забувайте кожного разу опускати терези на аретир!*** Зрівноваживши тіло, підрахуйте загальну масу важків, що лежать на шальці терезів, і перенесіть важки в футляр.

3. Якщо дрібні важки відсутні, то досягнути рівноваги інколи не вдається. Припустимо, що без гирьки масою 1 г маса тіла більше суми мас важків, а з гирькою 1 г маса тіла менша суми мас важків. Тоді масу тіла вважають рівною сумі гир без гирьки 1 г плюс 0,5 г:

$$m = (m_1 + m_2 + m_3 + \dots + 0,5 \text{ г}) \pm 0,5 \text{ г}.$$

Похибка визначення маси тіла дорівнює половині маси найменшого важка, використаного при зважуванні.

В більшості задач цілком достатньою є точність зважування до 0,1 г.

4. Для коригування можливої нерівноплечості терезів рекомендується повторити зважування, поклавши тіло на праву шальку терезів, а важки – на ліву.*)

5. Не можна зважувати тіла, маса яких перевищує граничне навантаження, вказане на терезах.

6. Не можна класти на шальки терезів мокрі, брудні, гарячі тіла, насипати без використання підкладки порошки, наливати рідини.

*) Крім методу подвійного зважування, або методу Гауса, існує ще два методи, які використовуються для усунення похибки, пов'язаної з нерівністю плечей терезів: метод тарування (Бордо) та метод сталого навантаження (Менделєєва).

4. Визначення об'єму з допомогою мензурки

1. При визначенні об'єму рідини мензурку слід ставити на рівну горизонтальну поверхню.

2. Перед вимірюванням визначте ціну поділки мензурки і запишіть її в робочий зошит.

3. Визначаючи об'єм рідини, розташовуйте око на одному рівні з поверхнею рідини. Відлік виконуйте по нижній частині меніска (рис. 6).

4. При повторних вимірюваннях об'єму тіла неправильної форми серветкою видаліть з тіла краплини рідини.

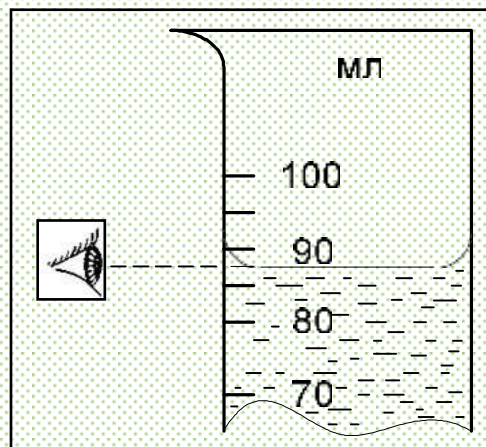


Рис. 6

Хід роботи

Завдання 1. Визначити густину тіла правильної геометричної форми.

1. Визначте лінійні розміри тіла, обчисліть їх середні значення. При значенні лінійного розміру менше 20 мм рекомендується користуватись мікрометром.

2. Визначте масу тіла на технічних терезах.

3. Результати вимірювань зручно записувати у вигляді таблиці. Вид таблиці залежить від форми тіла, густину якого потрібно визначити. Нехай, наприклад, тіло має форму циліндра. Тоді таблиця має вид:

№ з/п	$h, 10^{-3} \text{ м}$	$\Delta h, 10^{-3} \text{ м}$	$D, 10^{-3} \text{ м}$	$\Delta D, 10^{-3} \text{ м}$	$m, 10^{-3} \text{ кг}$	$\Delta m, 10^{-3} \text{ кг}$
1.						
2.						
3.						
....						
Середнє						

4. Обчисліть середнє значення густини тіла.

5. Обчисліть відносну похибку вимірювань.

6. Кінцевий результат слід представити у вигляді:

$$\rho = (\rho_{\text{ср.}} \pm \Delta\rho) \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}. \quad (6)$$

Формула для густини тіла, що має форму циліндра, має вид:

$$\rho_{\text{ср.}} = \frac{m_{\text{ср.}}}{V_{\text{ср.}}} = \frac{m_{\text{ср.}}}{\frac{\pi D_{\text{ср.}}^2}{4} h_{\text{ср.}}} = \frac{4m_{\text{ср.}}}{\pi D_{\text{ср.}}^2 h_{\text{ср.}}}. \quad (7)$$

Відносна похибка для цього випадку:

$$E = \frac{\Delta\rho}{\rho_{\text{ср.}}} = \sqrt{\left(\Delta m/m_{\text{ср.}}\right)^2 + 2\left(\Delta D/D_{\text{ср.}}\right)^2 + \left(\Delta h/h_{\text{ср.}}\right)^2}. \quad (8)$$

Завдання 2. *Визначити густину тіла неправильної геометричної форми.*

Завдання аналогічне попередньому, але об'єм тіла слід визначити з допомогою мензурки.

Контрольні запитання

1. Які системи одиниць фізичних величин ви знаєте?
2. Що називають ноніусом? Як визначити точність ноніуса?
3. В яких випадках слід користуватись штангенциркулем, а в яких – мікрометром?
4. Які правила зважування на технічних терезах?
5. Як визначити похибку вимірювань?
6. Якщо довжини плечей коромисла терезів неоднакові, то маса тіла не буде рівна масі важків. Чи можна на таких терезах правильно визначити масу тіла?
7. Як виміряти товщину листа паперу? Як визначити масу однієї краплини води? Як в цих вимірюваннях забезпечити потрібну точність результату?

ВИЗНАЧЕННЯ ПРИСКОРЕННЯ ВІЛЬНОГО ПАДІННЯ ЗА ДОПОМОГОЮ МАТЕМАТИЧНОГО МАЯТНИКА

Мета роботи: Використавши в якості математичного маятника кульку на довгій нитці визначити прискорення вільного падіння.

Прилади і матеріали: Кулька на довгій нитці, штатив з муфтою і стержнем, секундомір, рулетка.

Теоретичні відомості

Математичним маятником називається матеріальна точка, закріплена на невагомій нерозтяжній нитці. Якщо маятник вивести з положення рівноваги і відпустити, то при малих кутах відхилення ($\alpha = 3 \div 5^\circ$) його коливання будуть гармонічними з періодом

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}}, \quad (1)$$

де l – довжина маятника.

З формули (1) можна знайти прискорення вільного падіння:

$$g = \frac{4\pi^2 l}{T^2}. \quad (2)$$

Період коливань маятника визначають, вимірюючи секундоміром час t для N коливань:

$$T = \frac{t}{N}. \quad (3)$$

Для виготовлення математичного маятника, як правило, використовують кульку на нитці. В цьому випадку довжина маятника – це відстань від точки підвісу до центра кульки (див. рис. 1):

$$l = l_1 + \frac{d}{2}. \quad (4)$$

Відстань l можна виміряти безпосередньо рулеткою.

Хід роботи

1. Виміряйте довжину маятника l рулеткою – від точки підвісу до середини кульки. Довжина маятника повинна бути $80 \div 100$ см. Оскільки таку

довжину одному вимірювати незручно, то запросіть на допомогу ще одного студента.

2. Відхиліть нитку маятника від положення рівноваги на кут $\alpha = 3 \div 5^\circ$ і відпустіть маятник. Пропустивши декілька коливань, з рахунком "нуль" включіть секундомір. Зручно включати секундомір в момент, коли маятник перебуває в положенні максимального відхилення. Виміряйте час t для 20–50 коливань.

3. Повторіть дослід ще два-три рази.

4. Обчисліть за формулою (2) прискорення вільного падіння g .

5. Результати вимірювань та обчислень зручно оформити у вигляді *таблиці 1*.

6. Абсолютну похибку результату Δg можна знайти як середнє арифметичне Δg_i :

$$\Delta g_{\text{сер.}} = \frac{\sum \Delta g_i}{n}, \quad (5)$$

де $\Delta g_i = |g_i - g_{\text{сер.}}|$, а n – кількість дослідів.

Δg можна також знайти як різницю між табличним значенням прискорення вільного падіння g_T і одержаним з дослідів $g_{\text{сер.}}$:

$$\Delta g = |g_{\text{сер.}} - g_T|, \text{ де } g = 9,81 \text{ м/с}^2$$

Таблиця 1

№ з/п	l	N	t	T	g	Δg	E
1.							
2.							
...							
...							
Середнє							

Відносна похибка:

$$E = \frac{\Delta g}{g_{\text{сер.}}} \cdot 100\%. \quad (6)$$

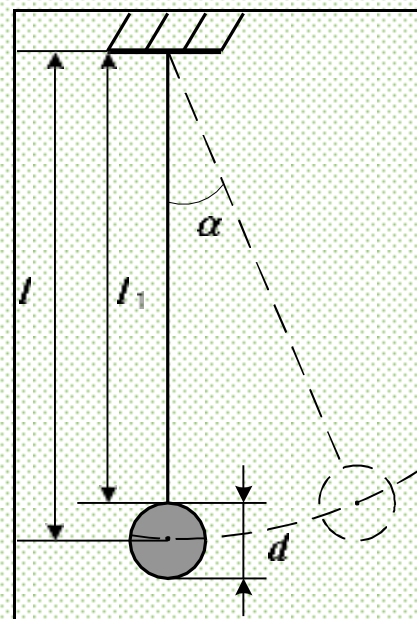


Рис. 1

7. Відносну похибку можна оцінити також за формулою:

$$E = \left(\frac{\Delta l}{l} + 2 \frac{\Delta t}{t} \right) \cdot 100\%. \quad (7)$$

8. З усіх одержаних значень E слід вибрати найбільше. Результат подайте у виді:

$$g = g_{\text{сер.}} \pm \Delta g. \quad (8)$$

Контрольні запитання

1. Які коливання називаються гармонічними? Запишіть і поясніть рівняння гармонічного коливного руху.
2. Що називають періодом, частотою, амплітудою, фазою коливань?
3. Сформулюйте закони коливання математичного маятника.
4. Що називають прискоренням вільного падіння? Які способи визначення g ви знаєте?
5. Як залежить значення g від географічної широти?

Лабораторна робота № 3

ВИЗНАЧЕННЯ ВОЛОГОСТІ ПОВІТРЯ

Мета роботи: Навчитись визначати абсолютну та відносну вологість повітря і точку роси.

Прилади і матеріали: Психрометр Асмана, дистильована вода, таблиця залежності тиску та густини насиченої водяної пари від температури, психрометрична таблиця.

Теоретичні відомості

Внаслідок неперервного випаровування води з поверхні водоймищ та рослинами атмосферне повітря завжди в своєму складі містить деяку кількість водяної пари. Вміст водяної пари в повітрі характеризують **абсолютною та відотною вологістю** повітря.

Абсолютною вологістю називають масу водяної пари, що міститься в 1 м³ повітря при даній температурі.

Інколи говорять також про **максимальну вологість**, яка вимірюється масою водяної пари, що насичує 1 м³ повітря при даній температурі.

Відносна вологість дорівнює відношенню маси водяної пари, що міститься в 1 м³ повітря, до маси водяної пари, яка б насичувала 1 м³ повітря при даній температурі.

Абсолютну вологість позначатимемо ρ_a ; одиниця її вимірювання:

$$[\rho_a] = \frac{\text{г}}{\text{м}^3};$$

Відносну вологість позначатимемо ϕ ; її вимірюють в процентах. За означенням:

$$\phi = \frac{\rho_a}{\rho_n} \cdot 100\%. \quad (1)$$

Оскільки парціальний тиск пари до її насичення змінюється прямо пропорційно масі пари, то **абсолютну вологість** можна характеризувати також **парціальним тиском водяної пари**; якщо цей тиск вимірювати в мм рт.ст., то числові значення ρ_a і p_a будуть майже однакові.

Відносна вологість в цьому випадку дорівнює:

$$\phi = \frac{p_a}{p_n} \cdot 100\%, \quad (2)$$

де p_n – тиск насиченої водяної пари при температурі повітря. Значення ρ_n і p_n для різних температур наведено в *табл. 1*.

Один із способів визначення вологості повітря – за точкою роси. Якщо повітря охолоджувати, то при деякій температурі водяна пара, що міститься в ньому, стане насиченою.

Температуру, при якій водяна пара, що є в повітрі, стає насиченою, називають точкою роси, оскільки при подальшому охолодженні повітря випаде роса.

Зрозуміло, що ρ_a і p_a будуть дорівнювати ρ_n і p_n при температурі, рівній точці роси t^0 :

$$\rho_a = \rho_n(t_p^0); \quad p_a = p_n(t_p^0).$$

Знаючи температуру повітря t^0 , за *таблицею 1* знаходимо відносну вологість:

$$\phi = \frac{\rho_a(t_p^0)}{\rho_n(t^0)} \cdot 100\%, \text{ або } \phi = \frac{p_a(t_p^0)}{p_n(t^0)} \cdot 100\%.$$

Точку роси визначають з допомогою гігрометра Ламбрехта (див. *рис. 1*). Він складається з металевого циліндра 1, передня основа якого відполірована. Циліндр оточено полірованим металевим кільцем 2. Циліндр наполовину заповнюють ефіром чи спиртом 3, вставляють зверху термометр 4 і гумовою грушею 5 чи насосом продувають через циліндр повітря.

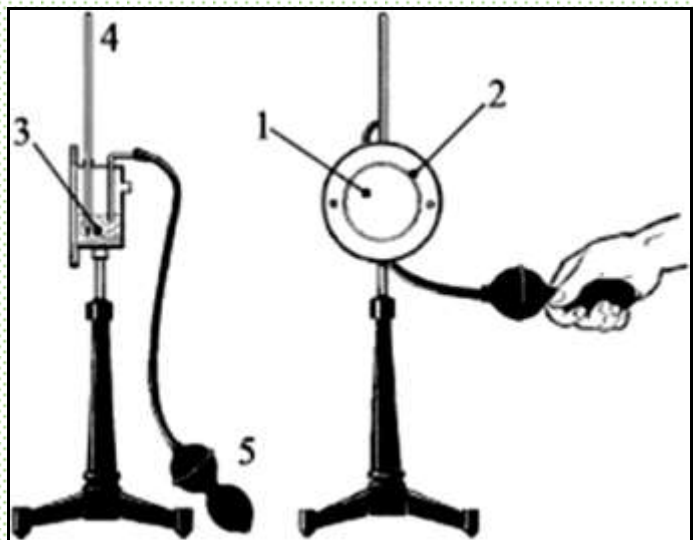


Рис. 1

Інтенсивне випаровування ефіру приводить до зниження його температури і при деякій температурі t_1^0 нижня частина основи циліндра запітніє внаслідок конденсації водяної пари, що міститься в повітрі. Після цього припиняють продувати повітря і чекають, поки при деякій температурі t_2^0 роса не зникне. Внаслідок теплової інерції приладу температури t_1^0 і t_2^0 не

однакові, але мало відрізняються одна від одної. Для визначення точки роси обчислюють їх середнє арифметичне:

$$t_p = \frac{t_1^\circ + t_2^\circ}{2}.$$

Щоб повітря, яке видихає спостерігач, не попадало на гігрометр, слід відділяти гігрометр скляним екраном.

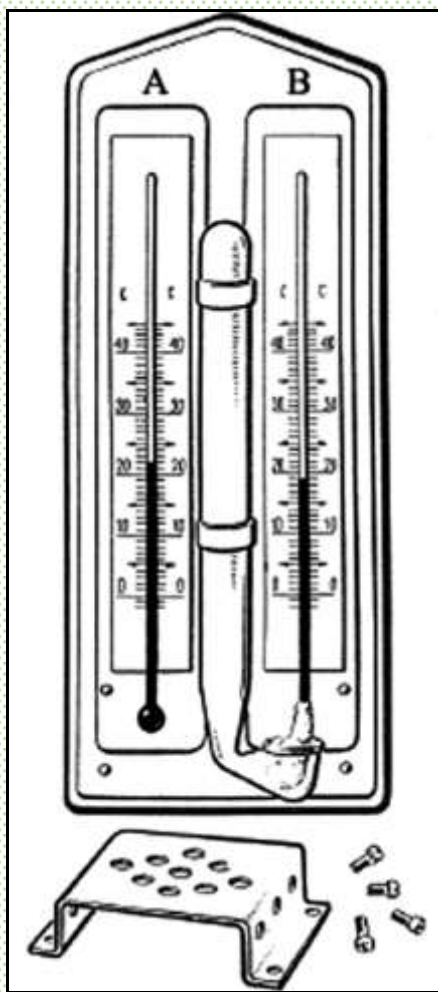


Рис. 2

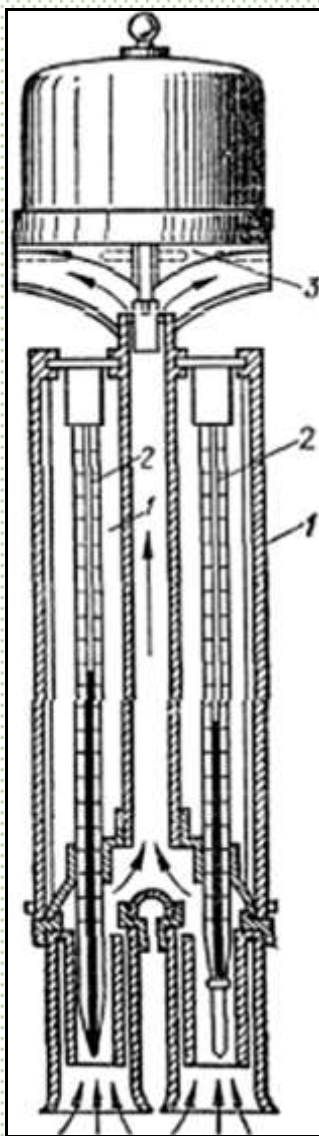


Рис. 3

Другий спосіб вимірювання вологості – за допомогою **психрометра**.

Найпростіший психрометр (психрометр Августа) складається з двох однакових термометрів **А** і **В** (рис. 2). Термометр **А** (сухий) показує температуру повітря в кімнаті t_c° . Резервуар термометра **В** обтягнутий тканиною, кінець якої опущено в посудину з водою. Внаслідок випаровування води з тканини резервуар термометра **В** охолоджується і він показує температуру нижчу, ніж сухий термометр. При деякій температурі t_θ° покази термометра **В** (вологого) не

змінюються, що свідчить про настання динамічної рівноваги.

Різниця між показами сухого і вологого термометрів $t_c^\circ - t_\theta^\circ$ буде тим більшою, чим менша відносна вологість повітря, і навпаки. При відносній вологості $\phi = 100\%$ різниця $t_c^\circ - t_\theta^\circ = 0$.

Знаючи покази сухого і вологого термометрів за психрометричною таблицею (див. табл. 2) можна визначити відносну вологість повітря.

Психрометр Августа використовують для вимірювань в приміщенні, оскільки вітер буде вносити похибки при визначенні t_g° .

Для більш точних вимірювань і для вимірювань в польових умовах використовують **аспіраційний психрометр** або **психрометр Асмана**. Цей психрометр теж складається з двох однакових термометрів, закріплених в спеціальній оправі (рис. 3).

У верхній частині приладу міститься вентилятор, що приводиться в рух пружиною, яку закручують вручну ключем. Під час роботи вентилятора повітря проходить через трубки, в яких містяться резервуари термометрів. Резервуар одного з термометрів обгорнутий шаром батисту, який перед початком вимірювань змочують дистильованою, дощовою чи сніговою водою з допомогою спеціальної піпетки.

Вологість повітря визначають за показами сухого і вологого термометра, як і при використанні психрометра Августа.

Записувати покази термометрів слід через 4 хв. після пуску вентилятора. Повністю закручена пружина забезпечує 8÷10 хв. роботи.

Хід роботи

Завдання 1. Визначення вологості повітря психрометром Асмана

1. З допомогою спеціальної піпетки змочіть батист на резервуарі "вологого" термометра.
2. Заведіть пружину вентилятора майже до упора. Обережно! Не прикладайте значних зусиль, щоб не зірвати пружину.
3. Підвісьте психрометр на штатив у вертикальному положенні.
4. На четвертій хвилині після пуску вентилятора запишіть покази термометрів.
5. За допомогою психрометричної таблиці (табл. 2) визначте відносну вологість повітря.
6. З допомогою табл. 1. визначте абсолютну вологість повітря.
7. Повторіть вимірювання ще двічі в інших місцях приміщення.
8. Результати вимірювань і обчислень запишіть в табл. 3.
9. Оцініть похибку вимірювання. Порівняйте одержані результати з результатами завдання 1.

Таблиця 1.

Тиск і густина насиченої водяної пари при різних температурах
(p – тиск в Па; ρ_n – густина насиченої пари в г/м³)

$t, ^\circ\text{C}$	p	ρ_n	$t, ^\circ\text{C}$	p	ρ_n	$t, ^\circ\text{C}$	p	ρ_n
0	611	4,84	18	2064	15,4	36	5941	41,8
1	657	5,22	19	2197	16,3	37	6276	44,0
2	705	5,60	20	2365	17,3	38	6625	46,3
3	759	5,98	21	2487	18,3	39	6991	48,7
4	813	6,40	22	2644	19,4	40	7375	51,2
5	872	6,48	23	2893	20,6	45	9583	65,4
6	935	7,3	24	2984	21,8	50	12332	83,0
7	1001	7,8	25	3168	23,0	55	15732	104,3
8	1073	8,3	26	3361	24,4	60	19918	130
9	1148	8,8	27	3565	25,8	65	24998	161
10	1228	9,4	28	3780	27,2	70	31157	198
11	1312	10,0	29	4005	28,7	75	38543	242
12	1403	10,7	30	4242	30,8	80	47343	293
13	1497	11,4	31	4493	32,1	85	57808	354
14	1599	12,1	32	4754	33,9	90	70100	424
15	1705	12,8	33	5030	35,7	95	84513	506
16	1817	13,6	34	5320	37,6	100	101325	598
17	1937	14,5	35	5624	39,6			

Таблиця 2.

Психрометрична таблиця відносної вологості повітря

Покази сухого термометра, $^\circ\text{C}$	Різниця показів сухого і вологого термометрів, $^\circ\text{C}$										
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0	100	81	63	45	28	11					
1	100	83	65	48	32	16					
2	100	84	68	51	35	20					
3	100	84	69	54	39	24	10				
4	100	85	70	56	42	28	14				
5	100	86	72	58	45	32	19	6			
6	100	86	73	60	47	35	23	10			
7	100	87	74	61	49	37	26	14			
8	100	87	75	63	51	40	28	18	7		
9	100	88	76	64	53	42	31	21	11		
10	100	88	76	65	54	44	34	24	14	5	
11	100	88	77	66	56	46	36	26	17	8	

12	100	89	78	68	57	48	38	29	20	11	
13	100	89	79	69	59	49	40	31	23	14	6
14	100	89	79	70	60	51	42	34	25	17	9
15	100	90	80	71	61	52	44	36	27	20	12
16	100	90	81	71	62	54	45	37	30	22	15
17	100	90	81	72	64	55	47	39	32	24	17
18	100	91	82	73	65	56	49	41	34	27	20
19	100	91	82	74	65	58	50	43	35	29	22
20	100	91	83	74	66	59	51	44	37	30	24
21	100	91	83	75	67	60	52	46	39	32	26
22	100	92	83	76	68	61	54	47	40	34	28
23	100	92	84	76	69	61	55	48	42	36	30
24	100	92	84	77	69	62	56	49	43	37	31
25	100	92	84	77	70	63	57	50	44	38	33
26	100	92	85	78	71	64	58	51	46	40	34
27	100	92	85	78	71	65	59	52	47	41	36
28	100	93	85	78	72	65	59	53	48	42	37
29	100	93	86	79	72	66	60	54	49	43	38
30	100	93	86	79	73	67	61	55	50	44	39

Табл. 3

№	t_c°	t_6°	Δt	$\phi, \%$	$\rho_n(t_c)$	ρ_a
1.						
2.						
3.						
Середнє						

Контрольні запитання

1. Що називають абсолютною і відотною вологістю повітря?
2. Що називають точкою роси? Як за даними завдання 2 визначити точку роси?
3. Які способи визначення вологості повітря ви знаєте?
4. Який принцип будови психрометра Асмана?
5. Якою буде різниця показів термометрів психрометра при відносній вологості 100%?
6. Навіщо потрібно знати вологість повітря?

Лабораторна робота № 4

ВИЗНАЧЕННЯ ПИТОМОЇ ТЕПЛОТИ ПЛАВЛЕННЯ ЛЬОДУ

Мета роботи: Використовуючи рівняння теплового балансу, навчитись визначати питому теплоту плавлення льоду

Прилади і матеріали: калориметр, термометр, посудина з теплою водою, лід, мензурка, терези.

Теоретичні відомості

Питому теплоту плавлення льоду можна визначити з допомогою калориметра. Якщо у внутрішній стакан калориметра, маса якого m_k , налити воду, маса якої m_1 а температура t_1 , і опустити в неї шматок льоду масою m_2 при температурі $t_2 = 0$, то після того, як увесь лід розтане, встановиться температура t_3 . Рівняння теплового балансу в цьому випадку має вигляд:

$$cm_1(t_1 - t_3) + c_k m_k(t_1 - t_3) = m_2 \lambda + cm_2(t_3 - t_2), \quad (1)$$

де c – питома теплоємність води; c_k – питома теплоємність речовини, з якої виготовлено стакан калориметра (алюміній); λ – питома теплота плавлення льоду.

З рівняння (1) легко одержати:

$$\lambda = \frac{cm_1(t_1 - t_3) + c_k m_k(t_1 - t_3) - cm_2(t_3 - t_2)}{m_2}. \quad (2)$$

Хід роботи

1. Приготуйте 100÷150 г льоду. (Шматочок льоду розміром з сірникову коробку має масу приблизно 30 г).
2. Зважте на терезах внутрішній стакан калориметра. Поставте внутрішній стакан в зовнішній.
3. Відміряйте мензуркою 150 см³ теплої води і вилийте її у внутрішній стакан калориметра.
4. Опустіть у воду термометр і почекайте 1-2 хв., поки встановиться тепла рівновага між водою і внутрішнім стаканом калориметра. Запишіть температуру води в калориметрі t_1 .
5. Висушіть фільтрувальним папером або ганчіркою шматочки льоду і опустіть лід в калориметр. Маса льоду для одного досліду повинна дорівнювати приблизно 40–50 г.
6. Обережно термометром перемішуйте воду з льодом в калориметрі. Як тільки лід розтане, виміряйте температуру води в калориметрі t_3 .

7. Вилийте воду з стакана калориметра у мензурку. За збільшенням об'єму води знайдіть масу m_2 льоду, що розтанув.

8. За рівнянням (2) обчисліть питому теплоту плавлення льоду. Результати вимірювань і обчислень занесіть у таблицю 1.

9. Обчисліть відносну і абсолютну похибку вимірювань.

Аналіз формули (2) показує, що з найбільшою похибкою визначається маса льоду. Оскільки цю масу визначають як різницю двох вимірювань об'єму мензуркою, то абсолютна похибка визначається ціною поділки мензурки. Абсолютна похибка різниці температур $(t_1 - t_3)$ дорівнює також ціні поділки термометра. Наближено можна вважати, що відносна похибка визначення питомої теплоти плавлення дорівнює сумі відносних похибок визначення маси льоду і різниці температур.

10. Порівняйте одержане значення питомої теплоти плавлення льоду λ з табличним значенням λ_T .

Табл. 1

№ з/п	m_k , кг	c_k , Дж/кг·К	m_1 , кг	c , Дж/кг·К	t_1 , °С	t_3 , °С	m_2 , кг	λ , Дж/кг	E , %
1.									
2.									

Табличні значення теплових властивостей деяких речовин:

Питома теплоємність алюмінію $0,88 \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$.

Питома теплоємність води $4,19 \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$.

Питома теплота плавлення льоду $330 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$.

Контрольні запитання

1. Що називають питомою (молярною) теплоємністю? В яких одиницях вона вимірюється?
2. Що називають питомою теплотою плавлення?
3. Накресліть графік залежності температури кристалічного твердого тіла від часу нагрівання.
4. Роботу можна виконувати швидко і повільно. В якому випадку похибка вимірювань буде менше? Чому?

ВИМІРЮВАННЯ СИЛИ СТРУМУ, НАПРУГИ ТА ОПОРУ

Мета роботи: Навчитись користуватись універсальним приладом типу DT830B (чи аналогічним) для вимірювання напруг, сил струмів та опорів. Виконати вимірювання напруги та сили струму в простих електричних колах. Перевірити значення запропонованих викладачем опорів та порівняти їх з номіналом, вказаним на корпусі резистора.

Прилади і матеріали: Універсальний електровимірювальний прилад з цифровою індикацією (мультиметр DT830B або аналогічний), джерело змінної та постійної напруги В-24М, реостат, вимикач, обмежуючий опір, набір резисторів різних номіналів, з'єднувальні провідники.

Опис приладу

Цифровий мультиметр типу DT830B (рис. 1) призначений для вимірювання постійної та змінної напруги, сили постійного струму, опору провідників, перевірки діодів та транзисторів.

В центрі передньої панелі приладу розташована кругла ручка перемикача. Цифри на панелі навколо перемикача згруповані в зони, позначені буквами. Позначення " $\overline{V \dots}$ " означає зону вимірювання напруги постійного струму, " $V \sim$ " – зону вимірювання напруги змінного струму, " $\overline{A \dots}$ " – зону вимірювання сили постійного струму, " Ω " – зону вимірювання опору. Самі цифри означають максимальне значення вимірюваної величини. На-



Рис. 1



Рис. 2

приклад, цифра 200 означає "200 В" або "200 Ом". Якщо поруч стоїть буква "m", то це означає "200 мВ" чи "200 мА"; буква "μ" означає "200 мкА", буква "k" – "200 кОм".

До ділянки електричного кола мультиметр приєднується за допомогою двох провідників чорного та червоного кольору, які вставляються у відповідного кольору гнізда на передній панелі (червоне гніздо з написом "VΩmA". Провідники закінчуються металевими стержнями з ізольованими ручками; ці стержні називають щупами. При вимірюваннях щупи слід тримати за ізольовані ручки. На стержні щупів в окремих випадках зручно надівати затискачі типу "крокодил". Для вимірювання великих струмів (до 10 А) використовується окреме гніздо червоного кольору з написом "10 A DC". Роботу мультиметра забезпечує гальванічний елемент, тому, закінчивши вимірювання, слід обов'язково вимкнути живлення приладу, для чого поставити перемикач в положення "OFF".

Якщо мультиметр увімкнений, але не підключений до ділянки кола, а перемикач перебуває в положенні "A" чи "V", то на цифровому індикаторі висвічуються нулі. Якщо перемикач перевести в положення "Ω" (мультиметр не підключений до ділянки кола), то на індикаторі висвічується цифра "1". Цифра "1" з'являється на індикаторі також у випадку, коли значення вимірюваної величини більше встановленої межі вимірювання.

Починати вимірювання рекомендується з найбільшої межі вимірювання, переходячи до меншої в разі необхідності.

Джерелом живлення мультиметра є батарея типу «Крона». Якщо при переведенні перемикача в одне з робочих положень індикатор не світиться, або на екрані з'являється зображення батареї, то її необхідно замінити. Для заміни батареї треба викрутити два гвинта на задній кришці приладу і відкрити її (рис. 2). Поруч з батареєю знаходиться запобіжник, розрахований на струм 200 мА. Якщо мультиметр не вимірює струм, то найбільш імовірно – згорів запобіжник і його треба замінити. Перед заміною батареї чи запобіжника мультиметр треба вимкнути і від'єднати щупи від електричних кіл.

Абсолютні похибки приладу наведено нижче.

Постійний струм: $\Delta U = 0,5 \% \text{ від } U + 2 D$, $\Delta I = 1 \% \text{ від } I + 2 D$.

Змінний струм: $\Delta U = 1,2 \% \text{ від } U + 10 D$.

Опір: $\Delta R = 0,8 \% \text{ від } R + 2 D$, де D – одиниця найменшого розряду.

Наприклад, при вимірюванні напруги постійного струму покази вольтметра $U = 2,79$ В, межа вимірювання 20 В. Одиниця найменшого розряду 0,01 В. $\Delta U = 0,005 \cdot 2,79 \text{ В} + 2 \cdot 0,01 \text{ В} = 0,03395 \text{ В} \approx 0,03 \text{ В}$.

Результат вимірювання слід записати у виді: $U = (2,79 \pm 0,03) \text{ В}$.

При вимірюванні опору $R = 8,1$ Ом, межа 200 Ом, одиниця найменшого розряду – 0,1 Ом. $\Delta R = 0,008 \cdot 8,1 \text{ Ом} + 2 \cdot 0,1 \text{ Ом} = 0,2648 \text{ Ом} \approx 0,3 \text{ Ом}$.

Результат вимірювання опору: $R = (8,1 \pm 0,3) \text{ Ом}$.

Хід роботи

1. Уважно вивчіть передню панель мультиметра. При виникненні запитань зверніться до опису приладу або до викладача.

2. Увімкніть мультиметр перемикачем, прослідкуйте за зміною індикації при переході з однієї межі на іншу.

3. Залиште перемикач в положенні " Ω 2000k". Приєднайте щупи мультиметра до одного з резисторів (див. *рис. 3*) і запишіть значення його опору в зошит. Виберіть межу вимірювання, яка дає найбільшу точність. Порівняйте одержане з вимірювань значення опору з номіналом, вказаним на корпусі резистора. Врахуйте, що опір резистора вказується з похибкою 10% (для окремих резисторів – 5% чи навіть 1%). Зробіть висновок.

4. Пункт 3 виконайте для всіх резисторів, що є в наборі. Закінчивши вимірювання, вимкніть прилад (OFF).

5. Підключіть до лабораторної мережі з напругою 220 В джерело змінного та постійного струму В-24М.

Будьте обережні! Напруга мережі 220 В небезпечна!

6. Перемикач мультиметра поставте в положення " $V\sim$ " 200 В.

Будьте уважні: неправильне положення перемикача може привести до псування приладу!

7. Увімкніть В-24М тумблером "Сеть" і поверніть ручку регулятора напруги В-24М за годинниковою стрілкою приблизно на середину шкали. На короткий час приєднайте щупи мультиметра до клем В-24М, позначених " $\sim$ ". Нагадаємо, що щупи потрібно тримати за діелектричні ручки. Запишіть напругу змінного струму в зошит.

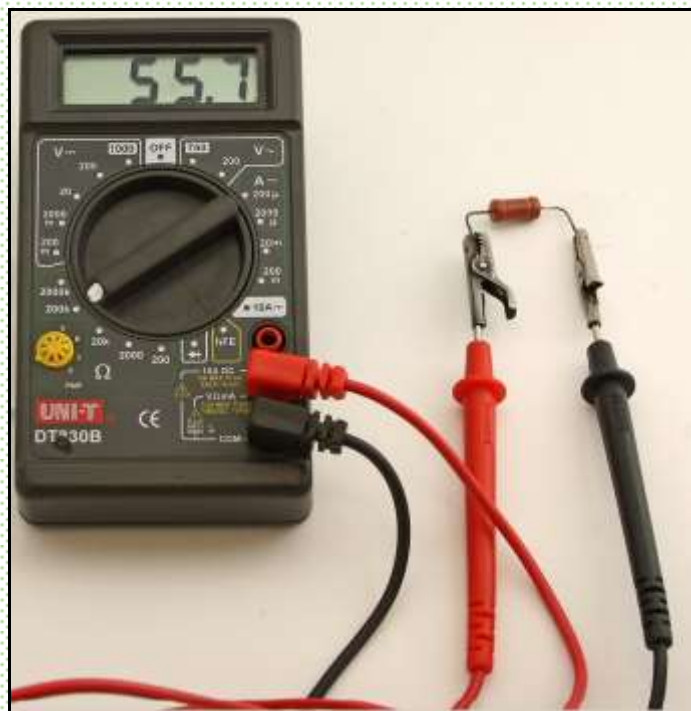


Рис. 3

8. Переведіть перемикач мультиметра в положення " $V \overline{\dots}$ " 200 В. На короткий час приєднайте провідники мультиметра до клем В-24М, позначених "- +" (чорний "-", червоний "+") (рис. 3). Запишіть в зошит значення напруги постійного струму. Що буде, якщо чорний і червоний провідники поміняти місцями? Це можна зробити, прилад розрахований на таку процедуру. Закінчивши вимірювання, виключіть В-24М і мультиметр.

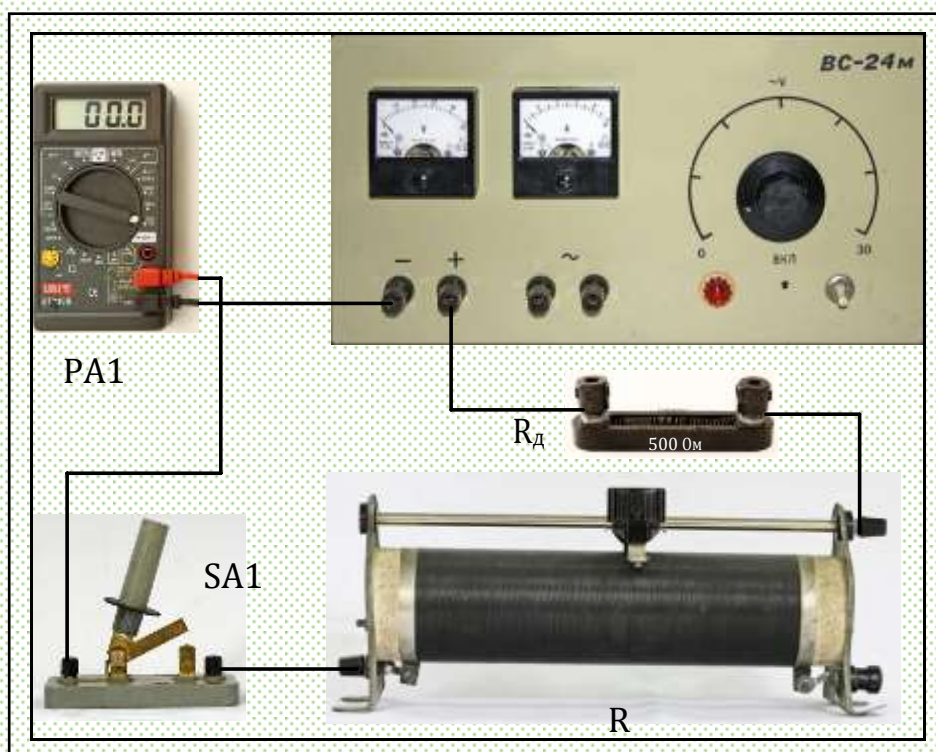


Рис. 4

9. Складіть електричне коло за схемою рис. 4. Значення додаткового опору $R_d = 200 \text{ Ом}$, максимальний опір реостату $R = 500 \text{ Ом}$. Перемикач мультиметра поставте в положення " $\overline{A \dots 200 m}$ ". Після перевірки схеми викладачем увімкніть В-24М і замкніть ключ К. Запишіть покази мультиметра. Змінюючи опір реостату, простежте за зміною струму в колі. Закінчивши вимірювання, вимкніть прилади і розберіть електричне коло.

Контрольні запитання

1. Які фізичні величини можна вимірювати мультиметром?
2. Які максимальні значення величин дає можливість виміряти мультиметр?
3. Якщо під час вимірювання опору на межі " $\Omega 2000k$ " мультиметр показує нулі, то що це означає?
4. Іноді з'єднувальні провідники ламаються, але ізоляція не дає можливості відрізнити цілий провідник від пошкодженого. Як з допомогою мультиметра знайти пошкоджений провідник?
5. Як "продзвонити" джгут провідників, тобто у пучку провідників знайти кінці одного й того ж провідника?
6. Для чого в електричному колі потрібен реостат?

ДОСЛІДЖЕННЯ КОРИСНОЇ ПОТУЖНОСТІ ТА К.К.Д. ДЖЕРЕЛА СТРУМУ

Мета роботи: Експериментально дослідити, як залежить корисна потужність і коефіцієнт корисної дії джерела струму від опору навантаження.

Прилади і матеріали: Батарея з двох гальванічних елементів чи акумуляторів типорозміру АА, мультиметр типу DT830В, магазин опорів РЗЗ, додаткові опори на колодках з затискачами 1 Ом і 14 Ом, вимикач, з'єднувальні провідники.

Теоретичні відомості

Повне коло складається з джерела струму, е.р.с. якого ε і внутрішній опір r , та зовнішнього опору R . Сила струму I в такому колі визначається законом Ома для повного кола:

$$I = \frac{\varepsilon}{R + r}. \quad (1)$$

При проходженні струму частина енергії джерела витрачається в зовнішній ділянці кола, а частина – у внутрішній. Робота струму в зовнішній частині кола дорівнює $I^2 R t$, у внутрішній – $I^2 r t$.

Повна робота струму:

$$A = I^2 R t + I^2 r t. \quad (2)$$

Потужність – це фізична величина, яка дорівнює відношенню роботи до часу:

$$P = \frac{A}{t}.$$

Поділивши (2) на t , одержимо:

$$P = I^2 R + I^2 r = P_k + P_i. \quad (3)$$

Перший доданок $P_k = I^2 R$ визначає потужність струму в зовнішній частині кола, цю потужність називають **корисною потужністю**. Другий доданок $P_i = I^2 r$ – це потужність струму у внутрішній частині кола.

З (1) одержимо:

$$I(R + r) = \varepsilon;$$

тепер (3) можна подати у виді:

$$P = I^2(R + r) = I\varepsilon. \quad (4)$$

Коефіцієнт корисної дії (к.к.д.) джерела струму називають відношення корисної потужності до повної:

$$\eta = \frac{P_{\text{кор}}}{P} = \frac{I^2 R}{I \cdot \varepsilon} = \frac{IR}{\varepsilon} = \frac{IR}{I(R+r)} = \frac{R}{R+r} = \frac{1}{1+r/R}. \quad (5)$$

Вираз для $P_{\text{кор}}$ перетворимо, використавши (1):

$$P_{\text{кор}} = I^2 R = \frac{\varepsilon^2 R}{(R+r)^2}. \quad (6)$$

З виразу (6) видно, що $P_{\text{кор}}$ дорівнює нулю у двох випадках: при короткому замиканні ($R = 0$) і при розімкнутому колі ($R = \infty$).

Досліджуючи вираз (6) як функцію $f(R)$ на екстремум, можна показати, що корисна потужність має максимум при $R = r$; максимальне значення корисної потужності дорівнює:

$$P_{\text{кор}}^{\text{max}} = \frac{\varepsilon^2}{4r}. \quad (7)$$

Згідно з виразом (5), к.к.д. в цьому випадку дорівнює $\eta = 0,5$ або $\eta = 50\%$. В багатьох випадках такий к.к.д. є не вигідним. К.к.д. дорівнює 100%, якщо коло розімкнене ($R = \infty$), але при цьому $P_k = 0$. Таким чином, одержати одночасно і максимальну корисну потужність і максимальний к.к.д. неможливо.

В електроенергетиці намагаються забезпечити високий к.к.д. установок. Для цього потрібно, щоб опір зовнішньої частини кола R був більший від внутрішнього опору r джерела.

Опис схеми для вимірювання

Принципова схема установки зображена на *рис. 1*, монтажна – на *рис. 2*. Вона складається з послідовно з'єднаних джерела струму GB1, додаткових опорів R і $R1$, магазину опорів $R2$ та вимикача. Для вимірювання сили струму використано наступний прийом. В коло замість міліамперметра включений опір R , значення якого дорівнює 1 Ом. Якщо паралельно до опору R підключити мілівольтметр від мультиметра, то його покази відповідатимуть струму в міліамперах.

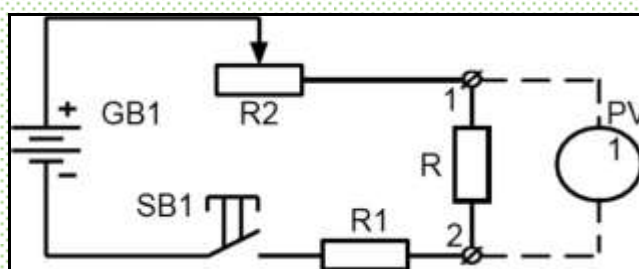


Рис. 1



Рис. 2

Як джерело струму використовується батарея з двох з'єднаних послідовно гальванічних елементів чи акумуляторів типорозміру АА.

Гальванічні елементи і акумулятори мають дуже малий внутрішній опір, порівняний з опором з'єднувальних провідників. Оскільки необхідно дослідити роботу джерела струму при опорах навантаження як більших, так і менших внутрішнього опору, то в схему включено додатковий опір R_1 , який штучно збільшує опір гальванічного елемента. Значення опору R_1 вибране таким чином, щоб сума опорів R_1 і R становила певне ціле число Ом. В даній установці ця сума дорівнює 15 Ом. За допомогою магазину опорів РЗЗ в коло вмикають опори 2, 4, 7, 10, 15, 20, 30, 40, 60 Ом.

Хід роботи

1. Зберіть коло за схемою рис. 1, 2.
2. Уточніть у викладача і запишіть в робочий зошит значення внутрішнього опору: $r=15$ Ом.

3. Встановіть на магазині опорів опір 2 Ом. До затискачів 1 і 2 (див. рис. 1) приєднайте мультиметр, переключивши його в режим вимірювання напруги постійного струму $V \overline{\dots}$ (межа вимірювання – 200 мВ).

4. Натисніть кнопку *SB1* і запишіть значення струму при навантаженні 2 Ом.

5. Встановіть на магазині опір 4 Ом, знову натисніть *SB1* і запишіть значення сили струму для опору 4 Ом.

6. Пункт 5 повторіть для значень опорів 7, 10, 15, 20, 30, 40 і 60 Ом.

7. Обчисліть для кожного значення опору навантаження R корисну потужність

$$P_{\text{кор}} = I^2 R; \quad \eta = \frac{1}{1 + r/R}.$$

8. Результати вимірювань і обчислень зручно подати у виді *таблиці 1*.

Табл. 1

$R, \text{Ом}$	$I, \cdot 10^{-3} \text{А}$	$P_{\text{кор}}, 10^{-3} \text{Вт}$	$\eta, \%$
2			
4			
7 і т. д.			

9. Побудуйте графіки залежностей $P_{\text{кор}}(R)$ і $\eta(R)$. Зробіть висновок.

Контрольні запитання

1. Сформулюйте Закон Ома для повного кола
2. В яких одиницях вимірюються робота і потужність електричного струму?
3. Що називають к.к.д. джерела струму?
4. З якою метою в схему включають додатковий опір? З яких міркувань вибране його значення?

ВИЗНАЧЕННЯ ГОРИЗОНТАЛЬНОЇ СКЛАДОВОЇ ІНДУКЦІЇ МАГНІТНОГО ПОЛЯ ЗЕМЛІ

Мета роботи: Познайомитись з методом тангенс-гальванометра для визначення горизонтальної складової індукції магнітного поля Землі, і визначити цю складову.

Прилади і матеріали: тангенс-гальванометр, реостат, батарея акумуляторів, міліамперметр, перемикач, з'єднувальні провідники.

Теоретичні відомості

В просторі, що оточує провідники зі струмом та постійні магніти, існує силове поле, яке називають **магнітним полем**. Це поле можна виявити, якщо внести в нього провідник зі струмом чи постійний магніт (магнітну стрілку): поле буде діяти на них з певною силою.

Дослід показує, що сила, яка діє на провідник зі струмом в магнітному полі, прямо пропорційна силі струму I , довжині провідника l і залежить від орієнтації провідника. Максимальне значення цієї сили, яку називають **силою Ампера**, дорівнює:

$$F_A^{\max} = B \cdot I \cdot l. \quad (1)$$

Коефіцієнт пропорційності B характеризує магнітне поле; його називають **індукцією магнітного поля**:

$$B = \frac{F_A^{\max}}{I \cdot l}. \quad (2)$$

Одиницею вимірювання магнітної індукції є **тесла**:

$$[B] = \frac{H}{A \cdot m} = Tл(\text{тесла}).$$

Залежність сили Ампера від орієнтації провідника говорить про те, що магнітне поле має напрям, тобто індукція магнітного поля – величина векторна. За напрям магнітного поля беруть напрям сили, що діє на північний полюс магнітної стрілки. Отже, стрілка в магнітному полі завжди орієнтується вздовж вектора магнітної індукції B (див. рис. 1).

Зображають магнітні поля з допомогою **ліній магнітної індукції**: так називають лінії, дотична до яких в кожній точці співпадає з напрямком вектора B .

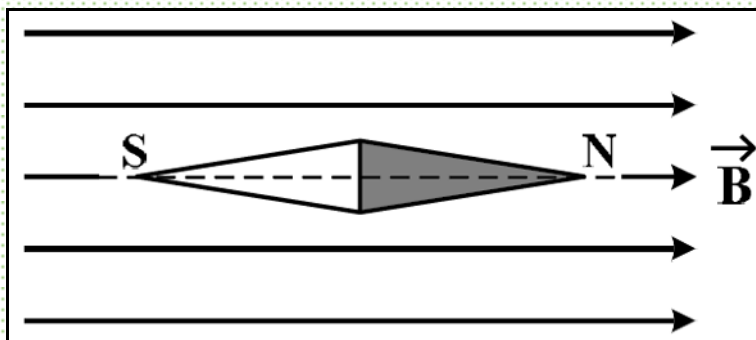


Рис. 1

Коловий струм створює магнітне поле, напрям ліній індукції якого визначається правилом свердлика.

Тому, якщо взяти коловий струм, розташований у вертикальній площині, встановити в його центрі маленьку магнітну стрілку, яка може обертатись у горизонтальній площині, то стрілка буде намагатись розташуватись своєю віссю перпендикулярно до площини кільця.

Індукція магнітного поля в центрі колового струму визначається з допомогою закону Біо-Савара-Лапласа:

$$B = \mu_0 \mu \frac{I \cdot n}{2R}, \quad (3)$$

де μ_0 – магнітна стала, значення якої дорівнює:

$$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \frac{\text{Гн}}{\text{м}} = 12,57 \cdot 10^{-7} \frac{\text{Гн}}{\text{м}},$$

μ – відносна магнітна проникність середовища,

I – сила струму,

R – радіус колового струму,

n – кількість витків котушки.

Але на магнітну стрілку, встановлену в центрі кільця, буде діяти крім магнітного поля струму, ще й магнітне поле Землі (рис. 2). Якщо площина колового струму співпадає з площиною магнітного меридіану, то магнітна

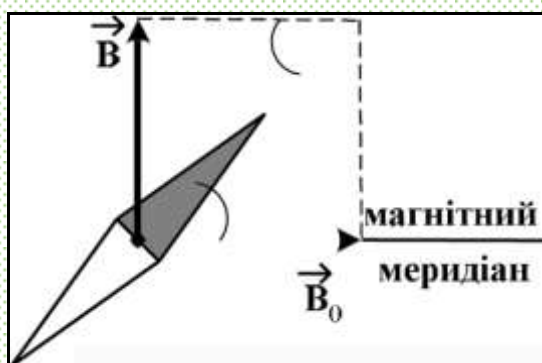


Рис. 2

стрілка розташується так, що її вісь утворить з площиною магнітного меридіану деякий кут α , значення якого залежатиме як від сили струму, так і від магнітного поля Землі в даному місці. Якщо струму не буде, то стрілка встановиться в площині магнітного меридіану. Лінії індукції магнітного поля Землі не

паралельні поверхні Землі, тобто вільно підвішена магнітна стрілка розташується під деяким кутом до горизонталі. Цей кут називається **кутом магнітного нахилення**.

В даній роботі ми знаходимо горизонтальну складову індукції магнітного поля Землі.

Позначимо цю складову B_0 . Вектор індукції магнітного поля колового струму B , вектор горизонтальної складової індукції магнітного поля Землі B_0 і вісь магнітної стрілки будуть розташовані так, як показано на *рис. 2*.

З рисунка видно, що модулі векторів B і B_0 зв'язані співвідношенням:

$$\frac{B}{B_0} = \operatorname{tg} \alpha. \quad (4)$$

Підставимо в (4) вираз (3): $\frac{\mu_0 \cdot \mu \cdot I \cdot n}{2R \cdot B_0} = \operatorname{tg} \alpha$, звідки:

$$B_0 = \frac{\mu_0 \cdot \mu \cdot I \cdot n}{2R \cdot \operatorname{tg} \alpha}. \quad (5)$$

Опис приладу

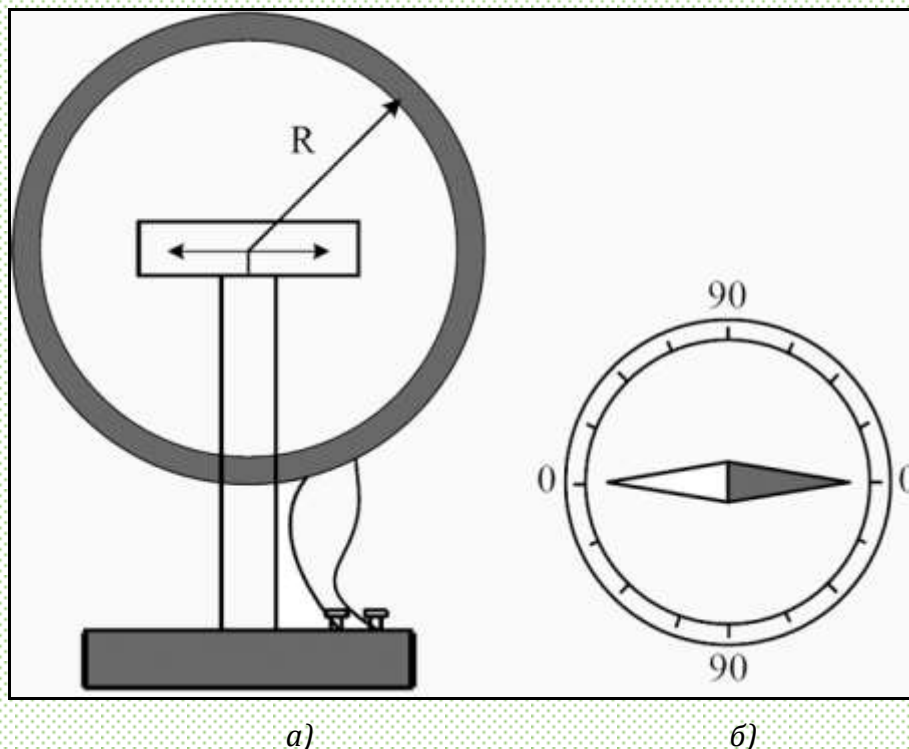


Рис. 3

Прилад, який називають "тангенс-гальванометр" (або "тангенс-бусоль"), складається з круглої рамки, на яку намотано декілька витків ізоляованого дроту (*рис. 3а*). Площина рамки розташована вертикально і в центрі її закріплена магнітна стрілка (*рис. 3б*), що може обертатись в гори-

зонтальній площині. Стрілка оточена лімбом з поділками. Рамка приєднується до джерела струму через міліамперметр і реостат так, як показано на рис. 4.

Примітка. Під час роботи з тангенс-гальванометром необхідно слідкувати, щоб поблизу приладу не було залізних чи сталевих предметів.

Хід роботи

1. Якщо магнітна стрілка бусолі поставлена на аретир, то зніміть її з аретира, повертаючи оправу магнітної стрілки бусолі проти годинникової стрілки.
2. Дочекавшись припинення коливань магнітної стрілки, розверніть круглу рамку з дротом так, щоб її площина збігалась би з площиною магнітного меридіану, тобто з площиною стрілки.
3. Поверніть корпус бусолі так, щоб магнітна стрілка вказувала обома кінцями на позначки "0" лімба.
4. Зберіть схему згідно рис. 4. **Джерело струму можна підключити лише після перевірки схеми викладачем!**

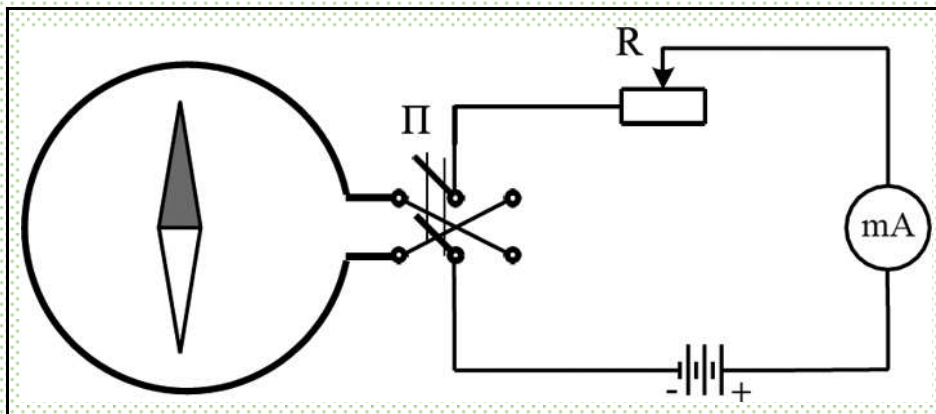


Рис. 4

5. Замкніть коло перемикачем Π і, пересуваючи ковзний контакт реостату, встановіть струм $30 \div 50$ мА.
6. Визначте кут відхилення α магнітної стрілки. Для цього визначте кути відхилення кінців стрілки α_1, α_2 при пропусканні струму в одному напрямі, потім – α_3, α_4 при пропусканні струму в протилежному напрямі. Напрямок струму змінюється при зміні положення перемикача Π . Знайдіть середнє арифметичне:

$$\bar{\alpha} = \frac{\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3 + \alpha_4}{4}.$$

7. Виміряйте діаметр круглої рамки, на яку намотано дріт, і обчисліть радіус кільця провідника зі струмом.

8. За формулою (5) обчисліть горизонтальну складову індукції магнітного поля Землі B_0 .

9. Дослід повторіть не менше трьох раз при різних значеннях сили струму. Знайдіть $B_{сер}$.

10. Результати роботи можна оформити у вигляді *таблиці 1*.

Табл. 1.

№ п/п	n	R	I	α	B_0	ΔB_0
1.						
2.						
...						
Середнє			–	–		

Контрольні запитання

1. Прояви земного магнетизму.
2. Що називають "магнітним схиленням" і "магнітним нахиленням"? Як змінюється магнітне нахилення при переході від екватора до полюса?
3. Опишіть метод визначення горизонтальної складової індукції магнітного поля Землі, використаний в даній роботі.
4. В яких одиницях вимірюється індукція магнітного поля?
5. Як знайти напрям і числове значення індукції магнітного поля в центрі колового струму?

ВИЗНАЧЕННЯ ПОКАЗНИКА ЗАЛОМЛЕННЯ СКЛА ЗА ДОПОМОГОЮ МІКРОСКОПА

Мета роботи: Визначити показник заломлення скла за вимірюванням дійсної та оптичної товщини товстої скляної пластинки.

Прилади і матеріали: мікроскоп з індикатором малих переміщень, мікрометр, скляна пластинка з штрихами на обох поверхнях.

Теоретичні відомості

При проходженні світла через плоску межу двох прозорих речовин неоднакової оптичної густини падаючий промінь розділяється на два промені – відбитий OB і заломлений OD (рис. 1).

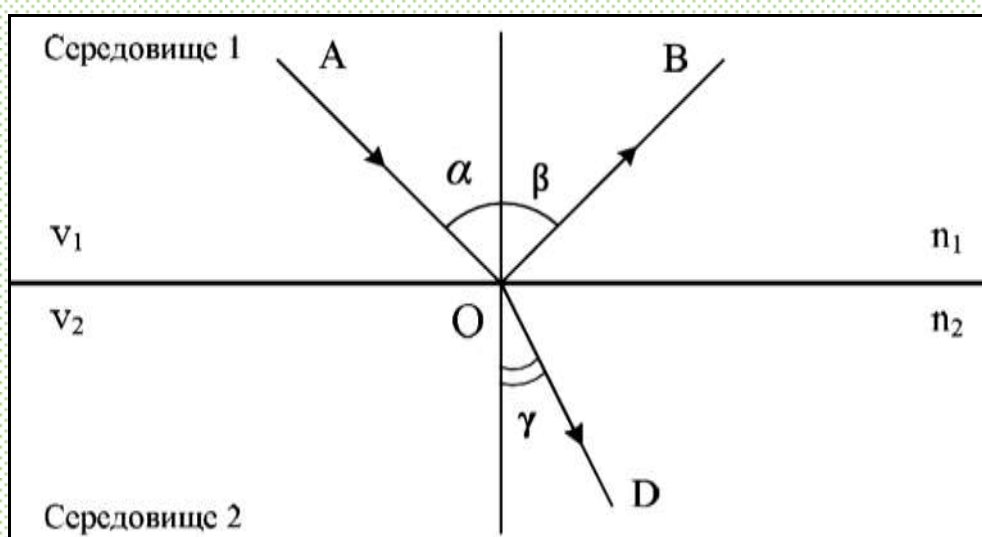


Рис. 1

Напрямок цих променів визначають закони відбивання і заломлення світла: *Промінь падаючий, промінь відбитий і перпендикуляр до поверхні в точці падіння лежать в одній площині. Кут відбивання дорівнює куту падіння.*

Промінь падаючий, промінь заломлений і перпендикуляр до поверхні в точці падіння лежать в одній площині. Відношення синуса кута падіння α до синуса кута заломлення γ для даних двох середовищ – величина стала.

Це відношення називають *відносним показником заломлення другого середовища відносно першого.*

Відносний показник заломлення дорівнює відношенню швидкості світла в першому середовищі v_1 до швидкості світла в другому середовищі v_2 :

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{v_1}{v_2} = n_{21}. \quad (1)$$

Явище заломлення світла говорить про те, що світло поширюється в різних середовищах з різною швидкістю. Якщо середовище 1 – вакуум, то показник заломлення n даного середовища 2 по відношенню до вакууму називають **абсолютним показником заломлення даного середовища**; він обчислюється за формулою:

$$n = \frac{c}{v}, \quad (2)$$

де c – швидкість світла у вакуумі, v – фазова швидкість світла в даному середовищі 2.

Показник заломлення залежить від довжини хвилі світла і від властивостей середовища. Абсолютні показники заломлення в області прозорості речовини більші одиниці. Це означає, що швидкість поширення світла в даному середовищі завжди менша, ніж у вакуумі.

Відносний показник заломлення двох середовищ n_{21} пов'язаний з абсолютними показниками заломлення середовищ n_1 і n_2 співвідношенням:

$$n_{21} = \frac{v_1}{v_2} = \frac{c \cdot n_2}{c \cdot n_1} = \frac{n_2}{n_1}. \quad (3)$$

Для визначення показника заломлення речовини існують різні методи. Одним з них є метод, в якому використовують мікроскоп. В основі методу лежить явище уявного зменшення товщини скляної пластинки внаслідок заломлення світлових променів, які проходять в склі, при розгляданні пластинки нормально до її поверхні. Схема проходження променів показана на рис. 2.

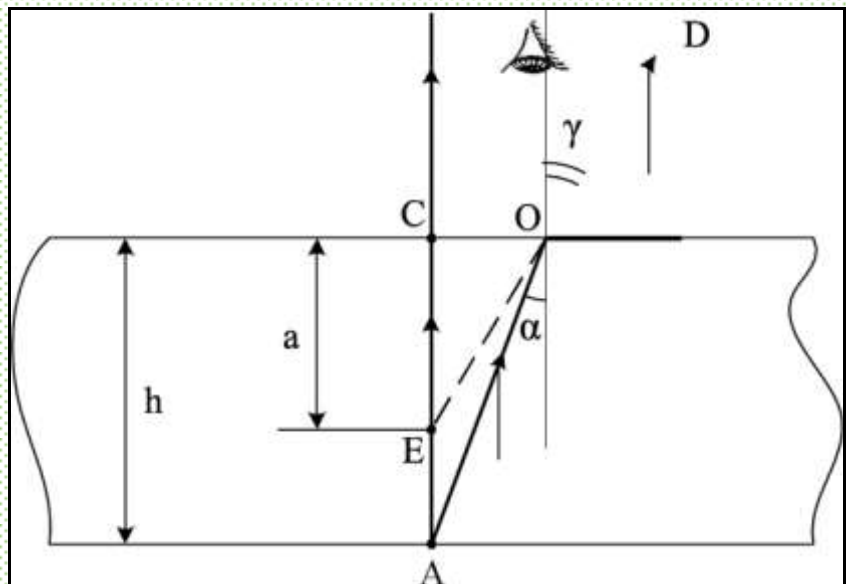


Рис. 2

З точки A , яка знаходиться на нижній поверхні скляної пластинки, виходять два промені світла AC і AO . Промінь AC падає на пластинку нормально до її поверхні і тому не зазнає заломлення. Промінь AO падає під кутом α і заломлюється, виходячи з пластинки в точці O в напрямку до точки D . При виході з пластинки промінь OD утворює кут заломлення γ , який більший, ніж кут падіння. Якщо дивитись на пластинку зверху, то спостерігач буде бачити точку перетину променів OD і AC не в точці A , а в точці E , тобто видима товщина пластинки $CE = a$ менша дійсної її товщини $CA = h$.

Для променів, близьких до нормалі, кути падіння і заломлення малі. В цьому випадку синуси кутів можна замінити на тангенси і за законом заломлення світла написати (розглядаючи зворотний хід променів, від D до A): $CE = a$

Підставивши в (4) ці вирази, одержимо:

$$n_{\text{скла}} = \frac{h}{a}. \quad (5)$$

Отже, показник заломлення скла можна знайти як відношення дійсної товщини пластинки до уявної її товщини.

Хід роботи

1. Виміряйте мікрометром або індикатором дійсну товщину скляної пластинки h в тому місці, де нанесені штрихи. Вимірюючи h індикатором, закріпленим на тубусі мікроскопа, дотримуйтесь наступного порядку дій:

- 1) Піднявши тубус мікроскопа, зніміть скляну пластинку.
- 2) Опускайте тубус до тих пір, поки шток індикатора не доторкнеться столика мікроскопа. При подальшому опусканні шток почне підніматися і стрілки індикатора придуть в рух.
- 3) Рухаючи тубус встановіть маленьку стрілку індикатора на нуль.
- 4) Повертаючи кільце на оправі індикатора, встановіть велику стрілку на нуль.
- 5) Піднявши рукою верхню частину штока індикатора, покладіть на предметний столик мікроскопа скло (поблизу штрихів). Опустіть шток.
- 6) Запишіть покази індикатора h (маленька стрілка – мм, велика – 0,01 мм).

Вимірювання дійсної товщини скляної пластинки виконайте декілька раз. Визначте середнє значення h .

2. Підніміть тубус мікроскопу і покладіть пластинку на столик мікроскопу під об'єктив так, щоб обидва штриха перетинали оптичну вісь приладу. Шток індикатора повинен торкатись поверхні пластинки. Дивлячись в окуляр, відрегулюйте дзеркальцем освітлення поля зору мікроскопа.

3. Рухаючи тубус, отримайте в мікроскопі чітке зображення штриха, нанесеного на верхню поверхню пластинки. Запишіть покази індикатора x_1 .

4. Опускайте тубус мікроскопу до тих пір, поки не отримаєте чітке зображення штриха на нижній стороні пластинки. Знову запишіть покази індикатора x_2 . Різниця відліків індикатора дає уявну товщину пластинки a : $a = x_2 - x_1$.

5. За формулою (5) обчисліть показник заломлення.

6. Вимірювання уявної товщини скляної пластинки виконайте теж декілька раз. Визначте середнє значення показника заломлення скла та обчисліть похибку вимірювань.

Результат запишіть у вигляді: $n = \bar{n} \pm \Delta n$.

Зауваження:

1. Похибка приладу при вимірюванні дійсної Δh_{np} і уявної Δa_{np} товщини пластинки дорівнює ціні поділки індикатора, тобто 0,01 мм, оскільки h і a знаходиться як різниця двох вимірювань.

2. Результати вимірювань і обчислень можна оформити у вигляді таблиці 1.

Табл. 1

№ п/п	h	Δh	x_1	x_2	$\Delta x = a$	Δa	n	Δn
1.								
2.								
3.								
4.								
5.								
Середнє								

Контрольні запитання

1. Сформулюйте закони відбивання і заломлення світла.
2. Що називають відносним показником заломлення речовини?
3. Що називають абсолютним показником заломлення речовини?

4. Від чого залежить показник заломлення речовини?
5. Коли спостерігається явище повного відбивання світла?
6. Покажіть хід променів через систему повітря – скло – повітря.
7. Чи залежить показник заломлення від товщини скляної пластинки?
8. Відстань від поверхні води до дна 1 м. Якою буде здаватись глибина водойми при погляді зверху?

ВИЗНАЧЕННЯ ГОЛОВНОЇ ФОКУСНОЇ ВІДДАЛІ ЛІНЗИ

Мета роботи: Навчитись визначати фокусну віддаль збираючої та розсіювальної лінз та обчислювати оптичну силу лінзи.

Прилади і матеріали: набір лінз, оптична лава, екран, освітлювач з фігурним отвором, який закрито матовим склом (або свічка), рулетка.

Теоретичні відомості

У формулі тонкої лінзи

$$\frac{1}{F} = \frac{1}{d} + \frac{1}{f}, \quad (1)$$

де F – головна фокусна віддаль лінзи, d – відстань від предмету до оптичного центру лінзи, f – відстань від оптичного центру лінзи до зображення предмету.

Точно визначити відстані d і f на практиці не можна, оскільки невідоме точне положення оптичного центру лінзи. Усунути таку проблему можна методом Гаусса-Бесселя.

Одержимо дійсне різке зображення предмету (наприклад, збільшене та перевернуте) на екрані E (див. *рис. 1*).

Виміряємо відстань M від предмету AB до екрану. Відмітимо на оптичній лаві положення лінзи L і пересунемо лінзу в положення L' , при якому на екрані знову одержується зображення предмету (тепер воно буде зменшене). Відстань між положеннями лінзи $LL' = a$ теж виміряємо. Оскільки d і f входять в формулу (1) симетрично, то $f' = d$, а $d' = f$. Переміщення довільної точки лінзи a дорівнює зміщенню її оптичного центру.

З *рис. 1* одержуємо: $M = f + d$, $a = f - d$; звідки:

$$f = \frac{M + a}{2}, \quad (2)$$

$$d = \frac{M - a}{2}. \quad (3)$$

Підставивши (2) і (3) в формулу (1), після перетворень одержимо:

$$F = \frac{M^2 - a^2}{4M}. \quad (4)$$

Розсіювальна лінза утворює лише уявне зображення, яке не можна одержати на екрані, тобто не можна виміряти відстань від лінзи до зображення. Тому фокусну віддаль розсіювальної лінзи можна визначити, якщо використати другу збираючу лінзу.

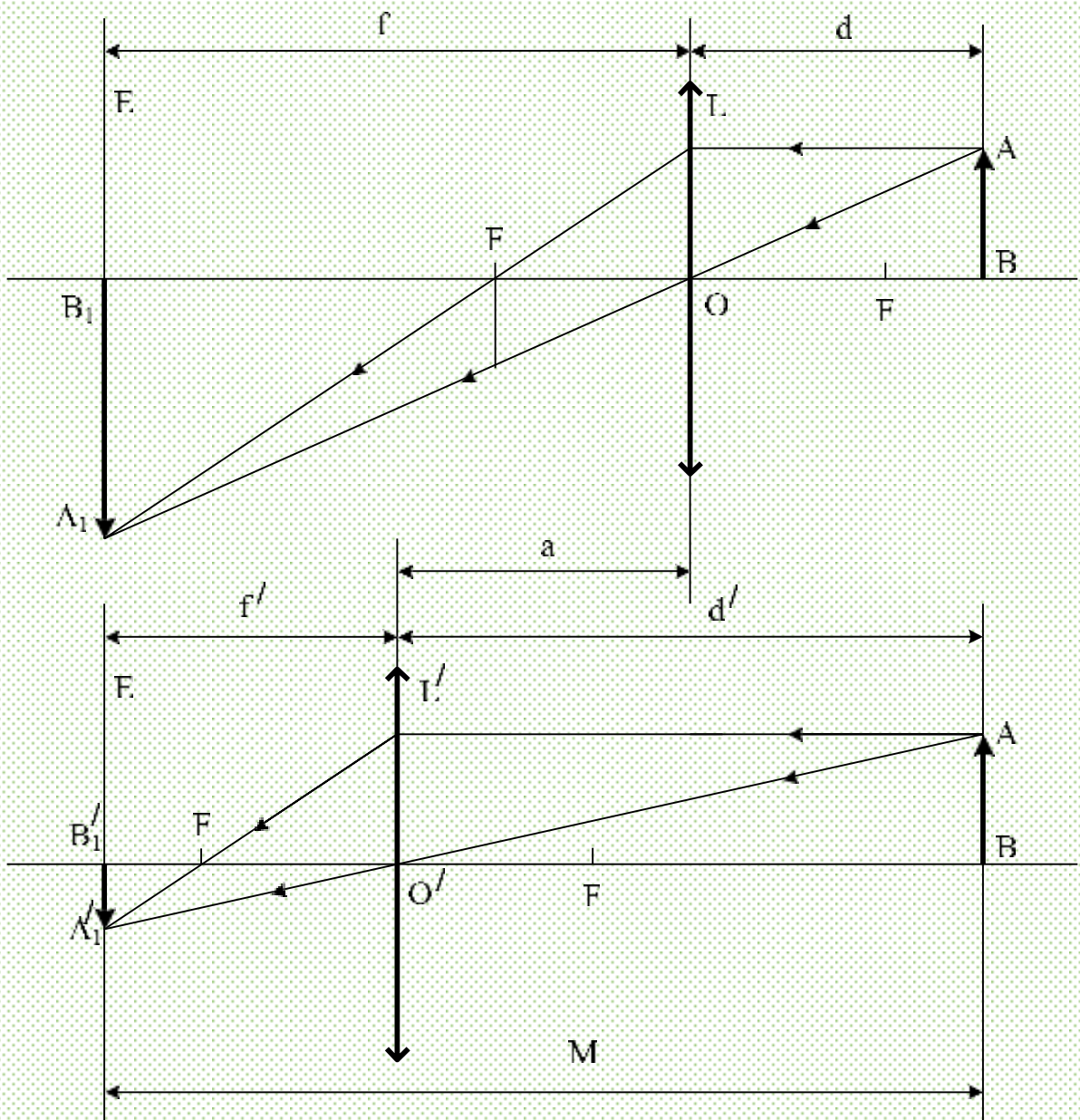


Рис. 1

На рис. 2 показано, як одержується зображення в розсіювальній лінзі. Зображення в такій лінзі буде уявним, зменшеним і прямим. Для уявного зображення $f < 0$, фокусна віддаль розсіювальної лінзи теж від'ємна.

Для знаходження фокусної віддалі такої лінзи спочатку з допомогою збираючої лінзи одержуємо дійсне зображення A_1B_1 предмета AB на екрані E_2 . Потім між збираючою лінзою і екраном ставимо розсіювальну лінзу. Дійсне зображення джерела при цьому зміщується (див. рис. 3). Нове поло-

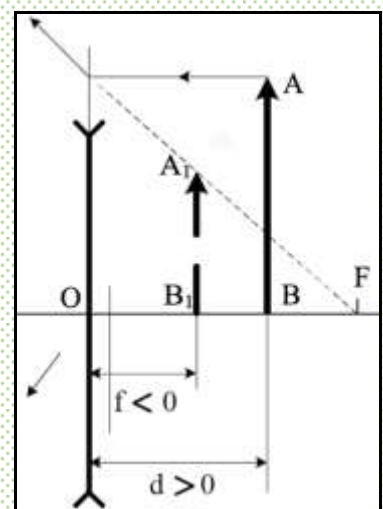


Рис. 2

ження зображення A_2B_2 можна знайти, переміщуючи екран. Вимірюючи d і f , за формулою лінзи (1) обчислюємо F . Використовуючи (1) слід врахувати, що в даному випадку для розсіювальної лінзи уявним є предмет A_1B_1 а зображення A_2B_2 – дійсне, тобто в (1) $d < 0$, а $f > 0$. Фокусна віддаль розсіювальної лінзи $F < 0$.

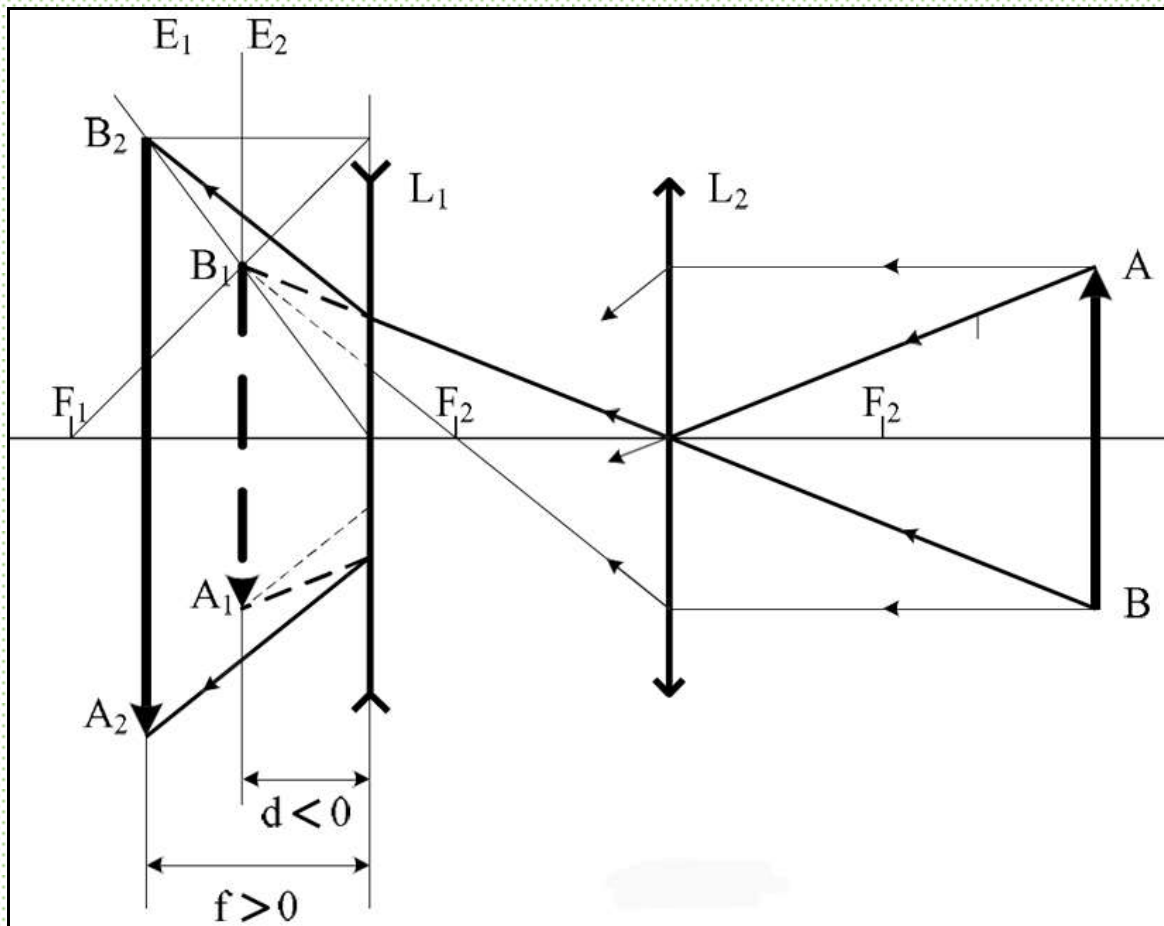


Рис. 3

Крім фокусної віддалі F лінзу характеризують також **оптичною силою**, яку позначають буквою D .

Оптична сила – це величина, обернена до фокусної віддалі:

$$D = \frac{1}{F}. \quad (5)$$

Одиниця вимірювання оптичної сили – **діоптрія (дптр)**.

1 дптр – це оптична сила лінзи з фокусною віддаллю 1 м.

При визначенні оптичної сили не забудьте фокусну віддаль перевести в метри!

Хід роботи

Завдання 1. *Визначення головної фокусної віддалі збираючої лінзи.*

1. Закріпіть досліджувану лінзу на рейтері оптичної лави.
2. Увімкніть освітлювач. Переміщуючи лінзу, одержіть на екрані різке зображення предмета (збільшене). Відмітьте положення лінзи.
3. Знову пересуньте лінзу і одержіть друге (зменшене) зображення предмету на екрані.
4. Виміряйте відстань між предметом і екраном M та зміщення лінзи a .
5. Досліди повторіть 3–5 разів. Обчисліть фокусну відстань збираючої лінзи за формулою (4) та її оптичну силу (формула (5)).
6. Дані вимірювань та обчислень можна оформити у вигляді *таблиці 1*.
7. Обчисліть похибку вимірювань. Для оцінки максимальної похибки можна рекомендувати використати вираз:

$$\frac{\Delta F}{F} = \frac{2\Delta M}{M+a} + \frac{\Delta M}{M}. \quad (6)$$

Табл. 1

№ з/п	$M, м$	$\Delta M, м$	$a, м$	$\Delta a, м$	$F, м$	$D, дптр$
1.						
2.						
3.						
Середнє						

Завдання 2. *Визначення головної фокусної віддалі розсіювальної лінзи.*

1. Поставте на оптичну лаву збираючу і розсіювальну лінзи згідно рис. 3 (збираюча лінза повинна бути ближче до предмету, а розсіювальна – до екрану). Відстань між лінзами приблизно дорівнює 11 см.
2. Пересуваючи одночасно обидві лінзи, треба одержати на екрані збільшене зображення предмета. Виміряйте відстань f від розсіювальної лінзи до екрану.
3. Відмітивши якомога точніше положення розсіювальної лінзи, приберіть її. Пересуваючи екран, одержіть різке зображення предмета на екрані. Виміряйте відстань d від екрану до точки, де перебувала розсіювальна лінза.

Результати вимірювань та обчислень можна оформити у вигляді табл. 2.

Табл.2

№ з/п	$d, \text{м}$	$\Delta d, \text{м}$	$f, \text{м}$	$\Delta f, \text{м}$	$F, \text{м}$	$D, \text{дптр}$
1.						
2.						
3.						
Середнє						

4. Повторіть вимірювання два-три рази. Обчисліть фокусну віддаль та оптичну силу розсіювальної лінзи за формулою (1) (не забудьте, що $d < 0$, а $f > 0$).

5. Розрахуйте абсолютну і відносну похибки вимірювання. Зручніше знайти спочатку абсолютну похибку оптичної сили ΔD :

$$D = \frac{1}{F} = \frac{1}{d} + \frac{1}{f}; \quad \Delta D = \frac{\Delta d}{d^2} + \frac{\Delta f}{f^2},$$

де Δd і Δf – абсолютні похибки вимірювань d і f .

Нижня межа фокусної відстані F буде рівна: $F' = \frac{1}{D + \Delta D}$; верхня межа:

$$F'' = \frac{1}{D - \Delta D}.$$

Значення F лежить в інтервалі $[F', F'']$ $\Delta F = \frac{F' - F''}{2}$.

Контрольні запитання

1. Дати означення: лінзи, тонкої лінзи, оптичного центра, оптичної сили лінзи, фокусу лінзи.
2. Як відрізнити збираючу лінзу від розсіювальної?
3. Як можна одержати формулу тонкої лінзи?
4. За завданням викладача побудувати зображення предмета в лінзі і охарактеризувати його.

НАВЧАЛЬНИЙ ЕКСПЕРИМЕНТ В ХОДІ ВИВЧЕННЯ ЕЛЕКТРОСТАТИКИ

Мета роботи: відпрацювати основні демонстрації при вивченні електростатичних явищ, закріпити вміння працювати з обладнанням.

ТЕХНОЛОГІЯ І ТЕХНІКА ВИКОНАННЯ ЕКСПЕРИМЕНТІВ

1. Існування двох видів електричних зарядів і їх взаємодії. Висновок про існування двох видів електричних зарядів можна зробити, показавши, що електричні заряди відштовхуються і притягуються. Для досліду наелектризовану ебонітову паличку встановлюють на вістрі, закріплене на ізольованому штативі. Наближають до неї другу ебонітову паличку, наелектризовану таким самим способом. Спостерігають відштовхування палички на вістрі. Після цього, встановивши наелектризовані палички з ебоніту і органічного скла на вістрях, переміщують їх на зустріч одна одній і помічають взаємне притягання. Роблять висновок про існування двох видів зарядів і формулюють правило їх взаємодії.

2. Подільність електричних зарядів. Заряджають один з електрометрів і з'єднують його розрядником з другим. Звертають увагу, що покази першого електрометра зменшились на кілька поділок, а покази другого на стільки ж поділок зросли. Знявши розрядник, один з електрометрів розряджають. Повторивши дослід 2–3 рази, роблять висновок про подільність електричного заряду і необхідність встановлення його кількісної міри.

3. Розподіл електричного заряду на поверхні провідника. Сітку Кольбе з'єднують з одним із кондукторів електрофорної машини або висковольтного перетворювача і надають їй заряду. Досліди проводять у послідовності показаній на *рис. 1 а, б, в*. Після кожного досліду роблять висновок.

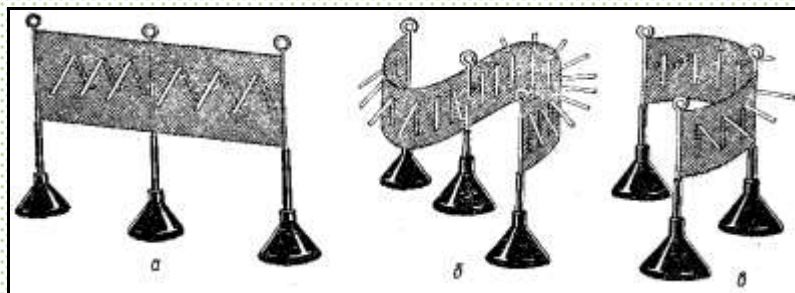


Рис. 1

4. Демонстрація електропровідності провідників та ізоляторів. Два електричні маятники, кульки яких прикріплені до тоненьких дротинки, пі-

двішують до одного ізоляційного штатива. Заряджають маятники. Маятники, що заряджені однойменно відштовхуються. Роблять висновок, що метал дуги і дротинок, до яких підвішені маятники, проводить електричні заряди. Далі доторкаються пальцем до дуги маятників. Маятники розряджаються і зближуються. Роблять висновок про електропровідність тіла людини. Знову заряджають маятники. Доторкаються до дуги маятників тілами з різних речовин, які тримають у руці, і за розрядженням або збереженням заряду роблять висновок про електропровідність різних речовин.

5. Взаємодія наелектризованих тіл з іншими тілами. Між двома штативами в муфтах закріплюють у горизонтальному положенні стержень третього штатива. До стержня на нитках підвішують різні легкі тіла (наприклад, кусочки алюмінієвої фольги, листок дерева, соломинку тощо). Почергово наближають до підвішених тіл наелектризовану паличку і спостерігають притягання до неї тіл.

Для демонстрації притягання води до наелектризованого тіла банку з тубусом біля дна наповнюють забарвленою водою, ставлять на підйомний

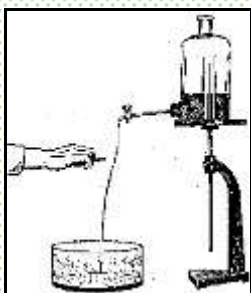


Рис. 2

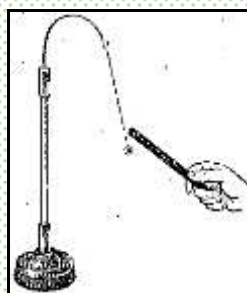


Рис. 3

столік і підставляють під кран посудину для збирання води. Відкривають кран і підносять до струменя води наелектризовану паличку. Спостерігають різке відхилення струменя в бік палички (рис. 2).

Після цього показують електричний маятник з діелектричної кульки, що підвішена до ізолюючого штатива на тоненькій нитці. Демонструють її притягання до наелектризованої палички (рис. 3).

6. Демонстрація нейтралізації різнойменних електричних зарядів. Електрометри електризують різнойменними зарядами, добиваючись однакового відхилення стрілок. Наелектризовані різнойменними зарядами кулі електрометрів сполучають дротиною-містком, тримаючи її за ізоляційну ручку. Заряди нейтралізуються (не знищуються), і стрілки електрометрів падають. Таким самим способом показати, що надані електрометрам однойменні заряди не нейтралізуються.

7. Взаємодія заряджених тіл. Установку збирають за рисунком 4. Ебонітову паличку (або паличку з оргскла), потерту об хутро, підносять до станіолевої гільзи електростатичного маятника і спостерігають явище.

Кожну станіолеву гільзу заряджають зарядом одного і того ж самого знаку, тобто або позитивно, або негативно. Це можна зробити за допомогою зарядженої палички або переносом заряду з борна перетворювача “Розряд-1”. Перенос заряду виконують, застосовуючи металеву кульку на ізольованій ручці. Штативи з зарядженими гільзами зближують і спостерігають явище відштовхування. Аналогічно проводять дослід із спостереження взаємодії кульок, заряджених різнойменними зарядами.

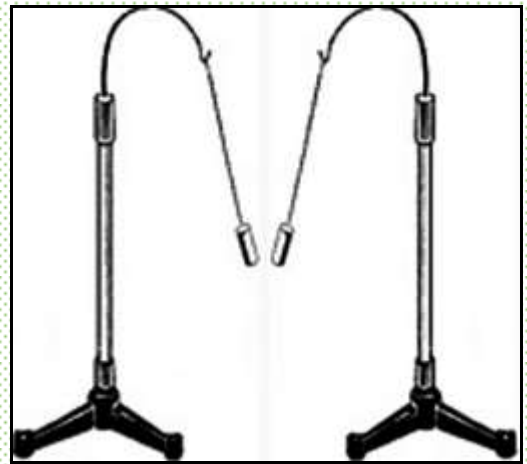


Рис. 4

8. Одночасна електризація різнойменними зарядами тіл при терті. В школах є набір приладів, що складається з металевої, ебонітової і плексигласової пластинок з ізоляційними ручками (рис. 5). Використовуючи ці пластинки, легко продемонструвати одночасну електризацію різнойменними зарядами тіл при терті. Будь-які дві з цих пластинок труть одна об одну і передають їх заряди електрометрам, добиваючись однакового відхилення стрілок (операцію натирання і передавання зарядів доводиться повторювати іноді кілька разів). Сполучають кулі електрометрів дротиною-містком, тримаючи її за ізоляційну ручку. Заряди нейтралізуються, з чого роблять висновок, що вони різнойменні.

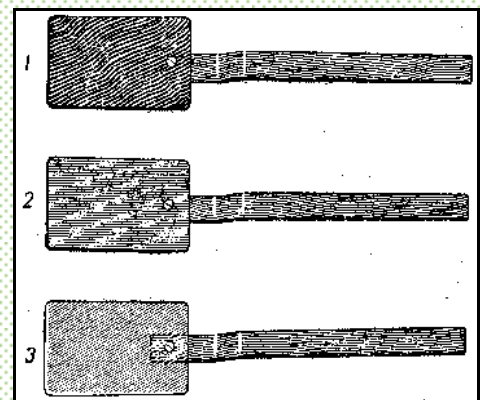


Рис. 5

Дослід слід повторити, комбінуючи різні пластинки. Цей дослід можна поставити й інакше. Ебонітову і плексигласову пластинки натирають одна об одну і, склавши їх, опускають у кулю електрометра. Стрілка електрометра не відхиляється. Виймають одну з пластинок і спостерігають відхилення стрілки. Знову опускають пластинку в кулю, внаслідок чого стрілка падає. Виймають другу пластинку і спостерігають відхилення стрілки. З дослідів роблять відповідні висновки.

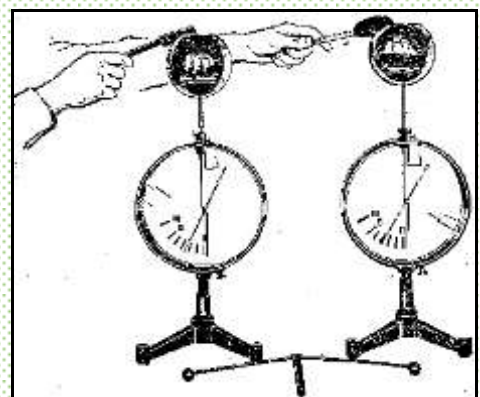


Рис. 6

Можна провести ще такий дослід. Стержень електromетра натирають плексигласовою паличкою. Стержень електризується. Заряд, утворений на паличці, передають другому електromетру. Сполучають кулі електromетрів дротиною-містком (рис. 6). Заряди нейтралізуються.

9. Електризація при ударах. Електризацію тіл при ударах можна показати кількома способами. По кулі електromетра кілька разів злегка ударяють капроною тканиною. З кожним ударом стрілка електromетра відхиляється все більше. Складена вдвоє гумова трубка добре електризується при ударах по кришці стола. Для виявлення електризації трубки її вводять у кулю електromетра або проводять нею по його стержню. Трубка повинна бути цілком суха і чиста. Кращі результати дає трубка з червоної гуми. Добре електризується ударами капронової тканини шкільна пластмасова масштабна лінійка.

10. Електризація при доторканні і роз'єднанні. Доторкаються до кулі електromетра кінцем пластмасової лінійки і показують, що вона не наелектризована. Пластмаса, з якої виготовляють лінійки, є чудовим ізолятором, на якому електричні заряди зберігаються протягом тривалого часу, через що інколи доводиться їх перед дослідом знімати, проводячи лінійкою кілька разів над полум'ям спиртівки. Пластмасова лінійка добре електризується тоді, коли, поклавши її на стіл, притиснути до неї кілька разів пальці руки, щоразу різко їх відриваючи.

11. Виявлення існування електричного поля. Методично важливим є введення поняття про електричне поле як про матеріальне середовище, в будь-якій точці якого на електричний заряд діє сила. Електричне поле не діє на органи чуття людини, і виявити його існування можна саме за його дією на електричний заряд, уміщений у поле. Інші явища, які спостерігаються в електричному полі (свічення розряджених газів, дія поля на діелектрик тощо), є наслідком дії поля на електричні заряди.

Щоб показати існування електричного поля на значній відстані від заряду, доцільно продемонструвати такий дослід. Один з кондукторів електростатичної машини заземлюють, а кондуктори віддаляють на максимально можливу відстань один від одного. На відстані 1–1,5 м від машини ставлять електromетр. Обертають круги машини і спостерігають відхилення стрілки електromетра. Пояснюють, що внаслідок дії сил поля, створеного зарядженим кондуктором машини, наявні в кулі і стержні електromетра вільні електрони переміщуються в певному напрямі, і електromетр заряджується.

12. Напруженість електричного поля. Експериментально обґрунтувати введення поняття про напруженість електричного поля можна, показавши на досліді, що для певної точки поля відношення сили, яка діє на вміщений у цю точку заряд, до величини заряду є сталим. Зменшуючи описаним у цьому досліді способом заряд майже зрівноваженого маятника в 2,4 рази, спостерігають, що й сила, яка діє на заряд, зменшується відповідно в 2,4 рази, а отже, відношення сили до заряду залишається сталим, що й обґрунтовує введення для силової характеристики поля фізичної величини – напруженості поля в певній точці. Слід показати, що для іншої точки поля відношення сили до заряду може мати інше значення, але також є сталим. З дослідів випливає, що маятник може бути використаний як індикатор напруженості поля. Якщо, наприклад, помістити маятник в однорідне поле, утворене двома різнойменними зарядженими пластинами демонстраційного конденсатора, то в усіх його точках відхилення маятника залишається незмінним, що й доводить сталість напруженості в усіх точках однорідного поля.

13. Експериментальне дослідження силової структури електричного поля. Якщо в електричне поле помістити насаджену на вістря легко рухому паличку з діелектрика (придатна, наприклад, паличка з дерева), то вона поляризується і встановлюється по дотичній до силової лінії поля. Це дає можливість дослідити силову структуру поля, поміщаючи в різні його точки паличку на вістрі.

За допомогою фанерної дощечки з вістрями і насадженими на них легкими дерев'яними паличками, вміщеної в електричне поле, утворене двома різнойменними або однойменними зарядженими ізолюваними кулями (рис. 7), можна показати відповідні картини заряджання від високовольтного генератора або електростатичної машини.

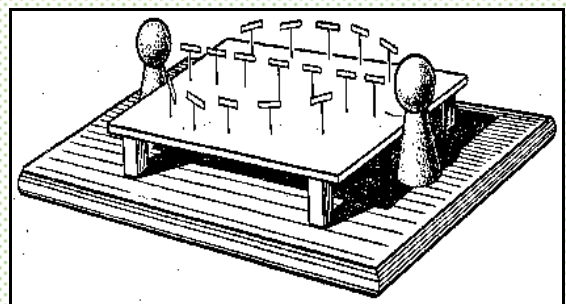


Рис. 7

Електричний султан складається з низки смужок цигаркового паперу, прикріплених до маленького металевого диска, встановленого на ізоляційному штативі. Сполучають султан з кондуктором електростатичної машини або високовольтного генератора (другий кондуктор генератора треба заземлити) і, обертаючи круги машини або вмикаючи генератор, матимемо картину поля точкового заряду (рис. 8, а). Щоб мати уявлення про

структуру поля однойменних точкових зарядів, два султани, розміщені на відстані, яку підбирають експериментально, сполучають з одним з кондукторів електростатичної машини або високовольтного генератора (другий кондуктор генератора заземлюють) і демонструють картину поля (рис. 8, б). Сполучаючи султани з різнойменно зарядженими кондукторами, показують картину поля різнойменних точкових зарядів (рис. 8, в). Структуру однорідного електричного поля демонструють, сполучаючи з різнойменно зарядженими кондукторами дві затиснуті за ізоляційні ручки в лапках штативів конденсаторні пластини, до яких у різних точках приклеєні смужки цигаркового паперу завдовжки по 6-8 см.

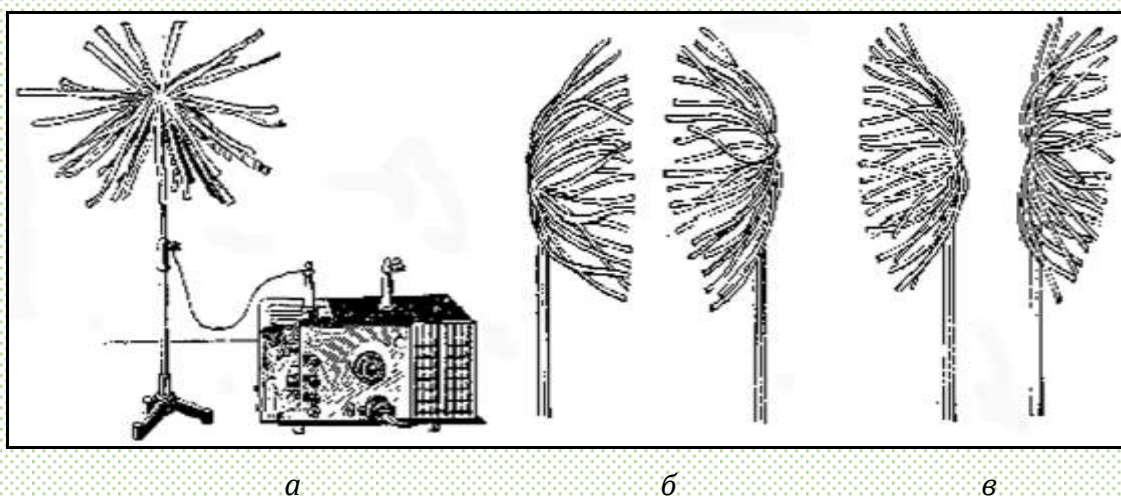


Рис. 8

14. Енергія електричного поля. Кожний з описаних вище дослідів, в яких спостерігався рух зарядженого тіла внаслідок дії на нього сил поля, утвореного іншим зарядженим тілом, можна розглядати як доказ наявності енергії поля, тобто його здатності виконувати роботу. Доцільно також показати дослід, що дає можливість спостерігати виконання електричним полем роботи по переміщенню електричного заряду протягом тривалого часу. Посередині між пластинами розсувного конденсатора, приблизно проти їх центрів, поміщають кульку електричного маятника, який тримають за підставку (рис. 9). Подають на пластину напругу від високовольтного генератора або електростатичної машини і спостерігають коливання кульки між пластинами. Оскільки роботу по переміщенню зарядженої кульки виконують сили електрично-

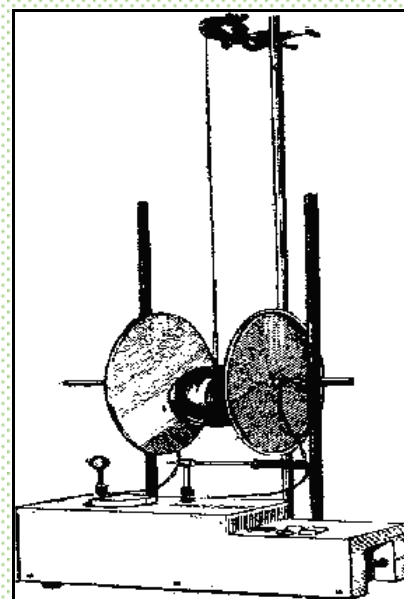


Рис. 9

го поля між пластинами, то поле має енергію.

15. Електростатична індукція. До кулі електрометра підносять наелектризовану паличку, не доторкаючись нею до кулі, – стрілка електрометра відхиляється, приймають паличку – стрілка падає (рис. 10). Висловлюють припущення, що сили електричного поля спричинили переміщення вільних електронів у стержні і кулі електрометра, через що, згідно з законом взаємодії зарядів, ближчий до палички бік кулі зарядився різнойменно, а протилежний бік кулі і стержень – однойменно із зарядом палички. При відведенні палички, тобто при виведенні кулі і стержня з електричного поля, заряди нейтралізуються.

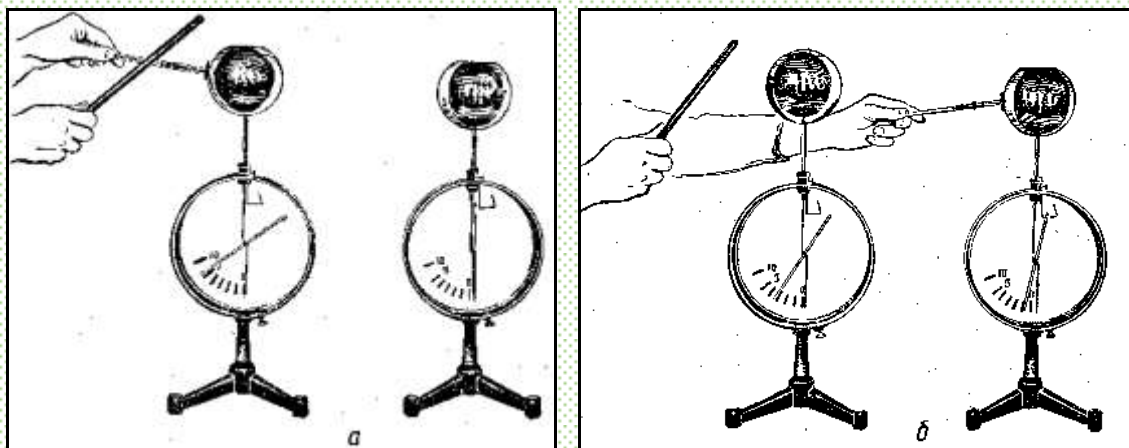


Рис. 10

Ближчий до наелектризованої палички бік кулі, введеної в електричне поле палички, електризується різнойменно, а протилежний бік кулі і стержень – однойменно із зарядом палички. Після цього показують, що однойменний індукований заряд є вільним і може бути відведений у землю. Для цього, не відводячи палички, доторкаються до кулі електрометра пальцем. Стрілка електрометра падає. Приймають палець, а потім паличку. Стрілка знову відхиляється. Пробною кулькою досліджують заряд електрометра і виявляють, що він різнойменний із зарядом палички. Підкреслюють, що таким способом можна електризувати провідник без доторкання до наелектризованого тіла.

16. Перевірка закону Кулона. Перевірку закону Кулона легко можна здійснити за допомогою «Чутливих терезів», які призначені для вимірювання малих сил в дослідах з аеродинаміки, електростатики, електромагнетизму (рис. 11). Терези представляють собою різноплечний важіль 1, що обертається навколо осі 2, обладнаний праворуч противагою 3, який обертаючи можна переміщувати по гвинтовій різьбі. На рамці 4 нанесена шкала

з 30 поділок. З тильної сторони рамки можна вгвинчувати стальний стержень, який служить для зручності встановлення приладу на підставці. На осі важеля є блок, в якому знизу зроблене гніздо. В гніздо можна вставляти тримач (дріт), який стопориться гвинтом 5. Вздовж стрілки важеля пересяваються важки (рейтери) у вигляді вигнутої пластини масою від 0,1 до 1 г, що дозволяє зрівноважувати силу діючу на тіло з тримачем. В комплект важків входять тіла однакові металеві кульки, які служать для вивчення електричної взаємодії. Кульки закріплені на ізолюваних стержнях з дрітними тримачами. Перед початком роботи на стрілку приладу встановлюють відповідний рейтер біля нульової поділки, а потім обертанням противаги зрівноважують терези, перевіряючи стан рівноваги за співпаданням стрілки кінця важеля з міткою на рамці.

Для проведення досліду установку збирають за *рис. 12*. Кулю, закріплену на чутливих терезах, і кулю встановлену на ізолюваному штативі, заряджають однойменними зарядами. Кульки розміщують на відстані 4-6 см одна від одної. Переміщенням рейтера зрівноважують терези і визначають силу взаємодії між зарядами. Для зменшення заряду однієї з кульок вдвічі до неї дотракаються третьою кулькою такого ж розміру на ізолюваній ручці. Потім знову добиваються рівноваги і обчислюють силу взаємодії. Роблять висновок. Дослід можна продовжити, змінивши заряд другої кульки вдвічі, або змінивши заряд обох кульок одночасно. При демонстрації залежності сили взаємодії від відстані між зарядженими тілами дві кульки заряджають до якомога більшого значення. Визначають силу взаємодії. Потім збільшують відстань вдвічі, знову визначають силу взаємодії. Роблять висновок.

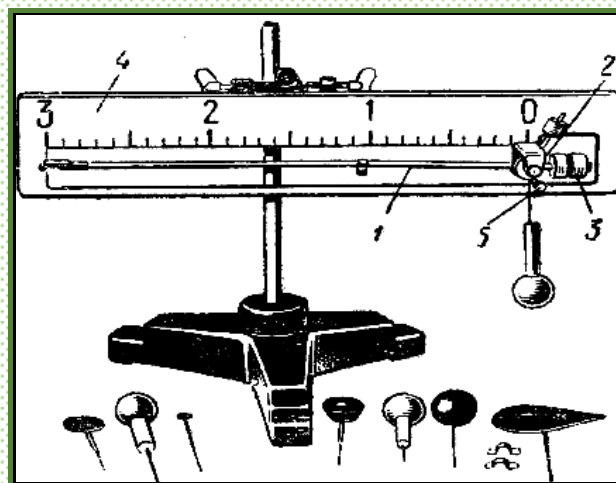


Рис. 11

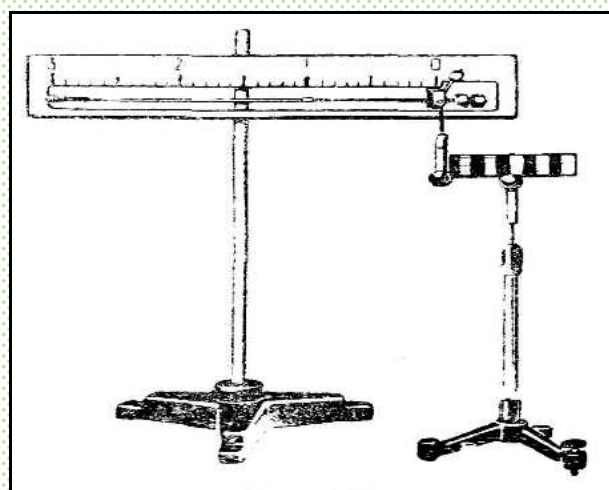


Рис. 12

Контрольні запитання

1. Перелічіть основні властивості електростатичного поля. У чому полягає відмінність теорії близькодії від теорії далекодії? Як можна показати силові лінії електричного поля?
2. Наведіть приклади явищ, спричинених електризацією тіл, які ви спостерігали в повсякденному житті.
3. Ебонітова паличка при електризації зарядилася негативно. Чи лишилася незмінною маса палички?
4. Сформулюйте закон збереження електричного заряду. Наведіть приклади явищ, у яких спостерігається збереження заряду.
5. Обґрунтуйте подібність і відмінність закону всесвітнього тяжіння і закону Кулона. Який фізичний зміст коефіцієнта пропорційності в законі Кулона?
6. Сформулюйте принцип суперпозиції. Що називають силовими лініями електричного поля? Намалюйте силові лінії однорідного електричного поля.
7. Поясніть, які поля називають потенціальними; як пов'язана зміна потенціальної енергії з роботою. Чому дорівнює потенціальна енергія зарядженої частинки в однорідному електричному полі?
8. Дайте визначення потенціалу. Чому дорівнює різниця потенціалів між двома точками поля? Чому дорівнює потенціал поля точкового заряду?
9. Встановіть, який зв'язок між різницею потенціалів і напруженістю електричного поля. Чому дорівнює різниця потенціалів між двома точками зарядженого провідника?
10. Вкажіть, за яких умов можна зібрати на провідниках великий електричний заряд.
11. Які досліди з електростатики рекомендує програма з фізики.
12. Перерахуйте досліди, що описані у підручнику, за допомогою яких ґрунтується формування понять заряду і електричного поля.
13. Поясніть стікання зарядів із загострених місць заряджених провідників? Де це явище має практичне значення?
14. Встановіть, чому заряджений провідник, покритий пилом, швидко втрачає заряд.
15. Спробуйте зарядити тіло негативно, маючи позитивно заряджену паличку. Як заряд з пробної кульки повністю передати електрометру?

ЕЛЕКТРОЄМНІСТЬ. КОНДЕНСАТОРИ

Мета роботи: відпрацювати основні демонстрації при вивченні властивостей конденсаторів, закріпити вміння працювати з обладнанням.

ТЕХНОЛОГІЯ І ТЕХНІКА ВИКОНАННЯ ЕКСПЕРИМЕНТІВ

1. Поляризація діелектрика в електричному полі. На стержень електрометра насаджують конденсаторну пластину і заряджають її. Якщо на конденсаторну пластину покласти пластину з органічного скла або ебоніту (придатна пластина також з іншого діелектрика), то відхилення стрілки електрометра помітно зменшується, що пояснюється впливом поляризованого діелектрика пластини на заряд електрометра. Віддаляють пластину і спостерігають збільшення відхилення стрілки електрометра. Для успішного проведення досліду пластина з діелектрика повинна бути повністю позбавлена залишкових зарядів. Щоб перевірити це, при підготовці досліду пластину наближають до електрометра. Якщо пластина виявиться зарядженою, то заряди з неї треба зняти, швидко переміщаючи її над полум'ям спиртівки (при цьому пластину не слід вводити в полум'я).

2. Залежність електроємності провідника від його розмірів і форми. Фабричний прилад для демонстрування залежності електроємності провідника від його розмірів і форми, складається з кількох шарнірно з'єднаних жерстяних пластинок, одна з яких має ізоляційну ручку (рис. 1). Для демонстрування цього досліду фабричний прилад закріплюють на стержні електрометра і заряджають з таким розрахунком, щоб стрілка електрометра відхилилась на 4–5 поділок (рис. 2). Якщо прилад заряджався висковольтним генератором, то з'єднувальний провід знімають. Беруть за ізоляційну ручку приладу і піднімають його пластини. Потенціал приладу зменшується. Це свідчить про те, що його електроємність збільшується. Опускають пластини і спостерігають відновлення попереднього значення потенціалу.

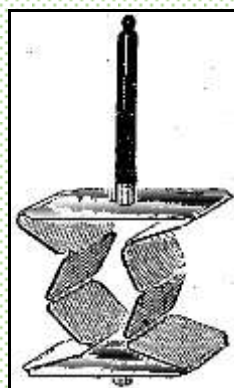


Рис. 1

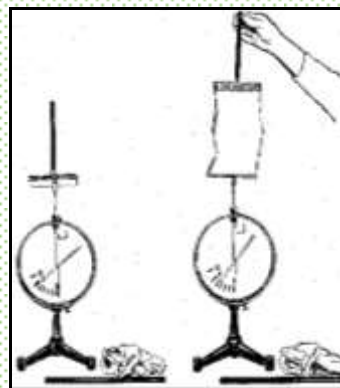


Рис. 2

Описаний у попередньому досліді спеціальний прилад можна з успіхом замінити складаним паперовим ялинковим ліхтариком або виготовленою з паперу гармошкою, до якої зверху прикріплюють дротяну дужку.

3. Якісна перевірка формули плоского конденсатора.

Для досліду використовується демонстраційний плоский розсувний конденсатор (рис. 3). Конденсатор складається з прямих стержнів-рейок, на яких установлені ізоляційні рухомі стояки із закріпленими на них круглими металевими пластинами. Раніше цей конденсатор випускали в іншому оформленні. Одна з пластин цього конденсатора може переміщатись за допомогою стержня з гвинтовою різьбою, який обертається рукояткою. Рухомий стояк має стрілку, яка визначає положення рухомої пластини і відстань між пластинами.

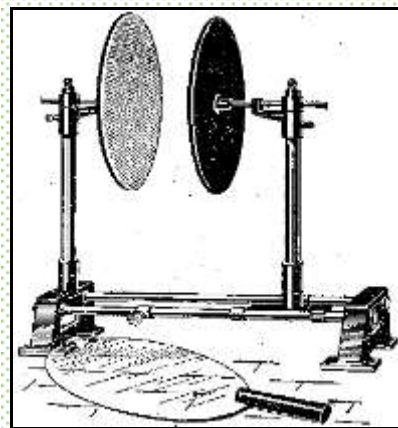


Рис. 3

Перед дослідом пригадують, що при сталому заряді, наданому різним конденсаторам, їх електроємність обернено пропорційна різниці потенціалів. Для досліду пластини конденсатора розсувають на відстань 10-15 см. Одну з пластин сполучають із заземленим корпусом електрометра, а другу – з його кулею. Пластину, сполучену з електрометром, заряджають. Зближують пластини і спостерігають спадання стрілки електрометра – зменшення різниці потенціалів його пластин. Віддаляють пластини і демонструють збільшення різниці потенціалів пластин. Роблять висновок про збільшення (зменшення) електроємності конденсатора при зменшенні (збільшенні) відстані між пластинами. Пояснюють, що точнішими дослідом встановлена обернено пропорційна залежність між електроємністю конденсатора і відстанню між його пластинами.

Залежність електроємності плоского конденсатора від площі пластин найпростіше продемонструвати так. Пластини зближують на відстань близько 1 см. Заряджають пластину, сполучену з електрометром, до відхилення стрілки електрометра на 2-3 поділки. Беруть рукою підставку пластини і повертають її у вертикальній площині, не змінюючи відстані між пластинами. Електроємність конденсатора внаслідок зменшення площі взаємодії пластин зменшується, доказом чого є спостережуване збільшення різниці потенціалів між пластинами. Повертають пластину в початкове положення і демонструють зворотні явища. Зауважують, що точніші дос-

ліди дають змогу встановити прямо пропорційну залежність між електроємністю конденсатора і площею його пластин. Нарешті, залежність електроємності конденсатора від діелектричної проникливості діелектрика між його пластинами показують так. Пластини зближують на відстань 1–2 см і заряджають ту з них, яка сполучена з електрометром. Вводять між пластини ебонітову пластинку або органічне скло. Різниця потенціалів між пластинами зменшується, отже, електроємність, конденсатора збільшується. Висновок про залежність електроємності конденсатора від діелектричної проникності діелектрика між пластинами (рис. 4).

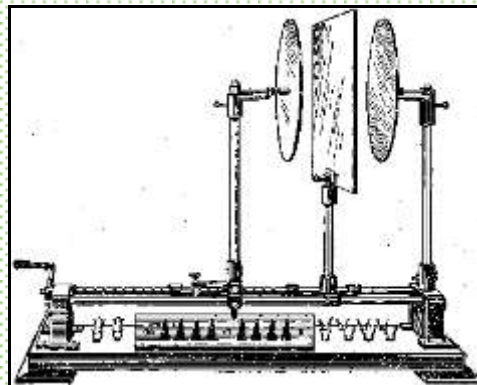


Рис. 4

Дослід можна продемонструвати також з конденсатором, що входить до набору, який додається до демонстраційних електрометрів.

4. Технічні конденсатори різних типів. Розглядаючи будову технічних конденсаторів різних типів, треба показати ці конденсатори (їх доцільно змонтувати на панелі).

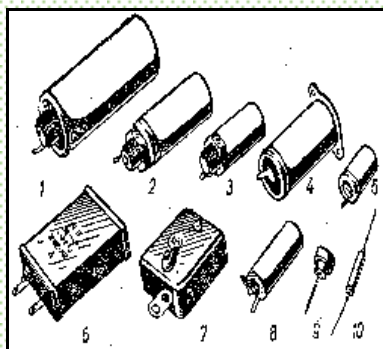


Рис. 5

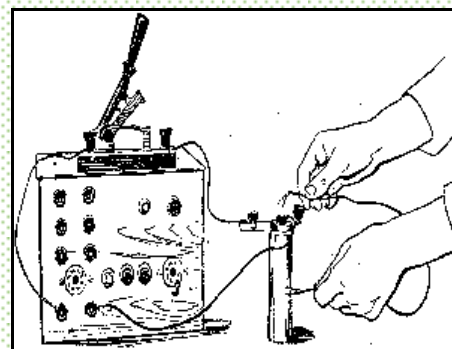


Рис. 6

Паперовий і електролітичний конденсатори можна «препарувати» і використати при поясненні в такому вигляді. Якщо є епіскоп, доцільно спроектувати на екран (рис. 5). Можна використати також відповідні плакати і діапозитиви.

Доцільно зарядити від кенотронного випрямляча або перетворювача струму на напівпровідниках конденсатор ємністю 20–60 мкФ (можна використати конденсаторну батарею або електролітичний конденсатор) і продемонструвати його розряд, для чого виводи конденсатора сполучають ізольованою дротиною з оголеними кінцями (рис. 6). Розряд конденсатора такої ємності супроводиться іскрою, яку добре видно учням (треба бути обережним і стежити за тим, щоб не розрядити конденсатор на себе!).

5. Будова і принцип дії конденсатора змінної ємності. Ємність цього конденсатора залежить від положення пластин (рис. 7). Для цього виво-

дять рухомі пластини, заземлюють їх і сполучають з корпусом, а нерухомі – з кулею електрометра. Заряджають нерухомі пластини до відхилення стрілки електрометра на 5–10 поділок (рис. 8). Вводять рухомі пластини. Стрілка електрометра повертається ближче до нуля, що свідчить про зменшення різниці потенціалів між нерухомими і рухомими пластинами. Оскільки заряд пластин при цьому не змінюється, то електроємність конденсатора збільшується.

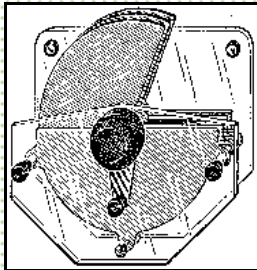


Рис. 7

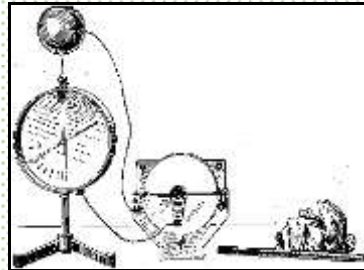


Рис. 8

Виводять рухомі пластини і спостерігають збільшення різниці потенціалів – зменшення ємності конденсатора.

6. Дослідження конденсаторів з різними ємностями. Складають установку (рис. 9) за схемою (рис. 10). Спочатку вмикають електролітичний конденсатор ємністю 40 або 20 мкф на 450 в (не забувати про полярність електролітичних конденсаторів і сполучати корпус конденсатора з негативним затискачем генератора). Для зручності вмикання конденсатора (в коло на ньому доцільно укріпити жерстяні пластинки з клемми). Переводять перемикач у положення 1 і заряджають конденсатор. Переводять перемикач у положення 2. Відхилення стрілки гальванометра, яке поступово зменшується, свідчить про поступове розрядження конденсатора, що триває 1–2 хв.

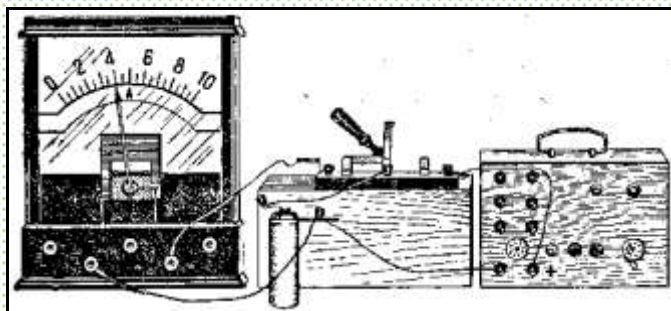


Рис. 9

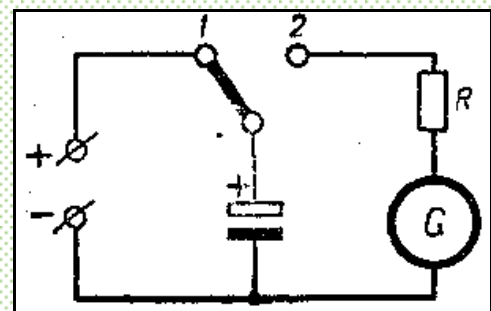


Рис. 10

Повторюють дослід при незмінній напрузі генератора з конденсатором ємністю 10 або 5 мкФ на 450 В. Час розрядження виявляється набагато меншим, що дає можливість порівняти ємності обох конденсаторів. Час розрядження корисно вимірювати демонстраційним секундоміром, але можна обійтись і без нього, оскільки різниця в часі розрядження добре помітна.

7. Дослідження паралельного і послідовного сполучення конденсаторів. Для порівняння ємності батареї паралельно і послідовно сполучених однакових конденсаторів з ємністю одного з них можна порівняти час їх розряджання через той самий опір (див. попередній дослід).

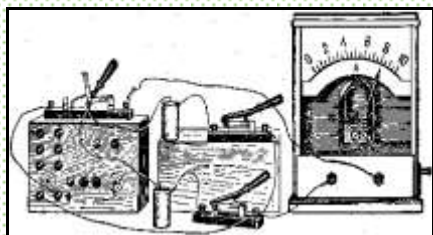


Рис. 11

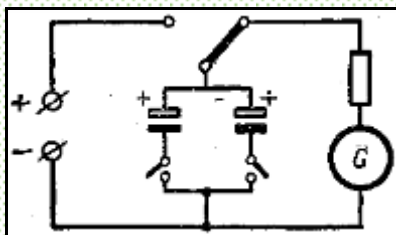


Рис. 12

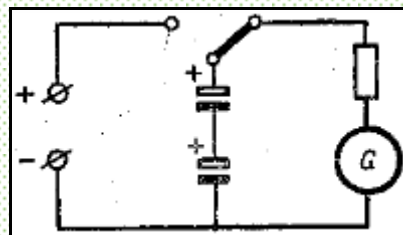


Рис. 13

Складають установку (рис. 11), вмикають один з конденсаторів ємністю 20 мкФ і способом, описаним у попередньому досліді, вимірюють час його розряджання. Таким самим способом вимірюють час розряджання батареї з двох паралельно (рис. 12) і з двох послідовно (рис. 13) сполучених однакових конденсаторів (при використанні звичайного секундоміра слід проектувати його епіскопом на екран після кожного вимірювання часу). У першому випадку час розряджання виявляється приблизно вдвічі більшим, а в другому – приблизно вдвічі меншим, ніж час розряджання одного конденсатора, що б експериментальним підтвердженням формул

$C_{\text{пар}} = C_1 + C_2; \frac{1}{C_{\text{нос}}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2}$, які при $C_1 = C_2 = C$ набувають вигляду

$$C_{\text{пар}} = 2C; C_{\text{нос}} = \frac{C}{2}.$$

8. Визначення електричної ємності конденсатора. Ємність конденсатора можна визначити експериментально шляхом його замикання на вимірювальний прилад (міліамперметр). Відношення числа поділок n , на які відхиляється стрілка, до ємності C цього конденсатора є величина стала: $k = n/C$. Складають електричну схему, зображену на рис. 14. В коло встановлюють один з конденсаторів відомої ємності (за вказівкою керівника роботи).

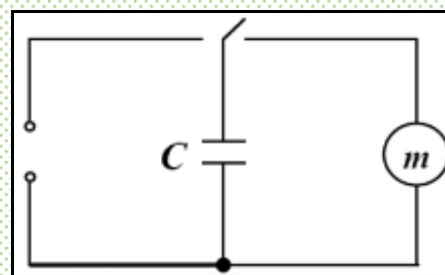


Рис. 14

Заряджають конденсатор і, зосередивши увагу на міліамперметрі, замикають на нього конденсатор та визначають число поділок, яке відповідає максимальному відхиленню стрілки. Дослід повторюють ще два рази, знаходять середнє значення n та величину сталої k . Після цього складають

коло (рис. 14) з конденсатором невідомої ємності C_x . Знаходять в цьому випадку число поділок n_x , ємність конденсатора C_x ($C_x = n_x/k$).

Контрольні запитання

1. Обґрунтуйте, чому у промислових містах, де атмосферне повітря насичене пилом, димом і туманом, кількість легких іонів зменшується, а важких зростає?
2. Доведіть, чому в електросистемі автомобіля для накопичення електроенергії використовують не конденсатор, а електролітичний акумулятор?
3. Два провідники з однаковими зарядами мають потенціали 40 і 60 В. Встановіть, який потенціал будуть мати ці провідники після того, як їх з'єднали дротом?
4. Конденсатор ємністю 0,02 мкФ з'єднали з джерелом струму, внаслідок чого він отримав заряд 10 нКл. Визначте напруженість поля між пластинами конденсатора, якщо відстань між ними 5 мм.
5. Плоский конденсатор складається з двох пластин, розміщених на відстані 1,5 мм одна від одної і відокремлених шаром скла. Площа кожної з пластин 300 см². Якого найбільшого заряду можна надати конденсатору, коли допустима напруга 5 кВ?
6. Опишіть психолого-педагогічні забруднення в коментуванні демонстрацій для вивчення будови та властивостей конденсаторів.
7. При введенні в простір між пластинами повітряного конденсатора твердого діелектрика напруга на ньому зменшується. Чому? В скільки разів?
8. При zalиванні гасу між пластини зарядженого повітряного конденсатора його енергія зменшується в ϵ разів. Куди ж зникає енергія (наперекір закону збереження енергії)? Наведіть Ваші міркування.
9. Обґрунтуйте, чи можна змінити потенціал провідника, не доторкуючись до нього і не змінюючи його заряд?
10. Для визначення вологості зерна використовують електричну схему з плоским конденсатором, між пластинами якого насипають зерно тієї чи іншої культури (зерно є діелектриком). Встановіть, як залежить ємність такого конденсатора від вологості зерна.
11. 1000 однакових за розмірами маленьких краплинок туману, які під час утворення хмар були однаково наелектризовані внаслідок тертя об повітря, злились в одну велику краплину. Встановіть, як і у скільки разів

зів змінився потенціал великої краплини порівняно з потенціалом окремо маленьких краплинок?

12. Конденсатор ємністю 6 мкФ, заряджений до напруги 127 В, з'єднали паралельно з конденсатором ємністю 4 мкФ, зарядженим до напруги 220 В. Визначте електроємність батареї і напругу на її затискачах.
13. Дві кульки, електроємність яких $C_1=2$ нФ і $C_2=2$ нФ, заряджені відповідно $q_1=2 \cdot 10^{-7}$ Кл і $q_2=10^{-7}$ Кл, з'єднали. Встановіть заряди кульок після дотикання.
14. Підберіть серію експериментальних завдань, які, на Вашу думку, можна запропонувати учням при вивченні питань розглядуваної теми з метою розвитку їх діалектичного мислення.
15. Яких правил безпеки праці потрібно дотримуватись під час експериментального вивчення будови та принципу дії конденсаторів?

НАВЧАЛЬНИЙ ЕКСПЕРИМЕНТ ПРИ ВИВЧЕННІ ПОСТІЙНОГО СТРУМУ

Мета роботи: ознайомитися з методикою і технікою шкільного фізичного експерименту при вивченні постійного струму

ТЕХНОЛОГІЯ І ТЕХНІКА ВИКОНАННЯ ЕКСПЕРИМЕНТІВ

1. Способи перенесення заряду. Два електрометри з насадженими на них порожнистими кулями встановлюють на відстані 1-1,5 м один від одного; корпуси електрометрів заземляють. Один з електрометрів заряджають натертою сукном ебонітовою паличкою. Пробною кулькою переносять електричні заряди з одного електрометра на другий (для цього пробною кулькою доторкаються до зовнішньої поверхні порожнистої кулі зарядженого електрометра, вводять її всередину порожнистої кулі другого електрометра і доторкаються до неї. При цьому електрометру передається весь заряд пробної кульки). Спостерігають, що заряд одного електрометра поступово зменшується, а другого – збільшується. Дослід підтверджує, що заряд електрометра можна поділити на дрібніші частини, які й переносяться пробною кулькою на другий електрометр. Далі розряджають обидва електрометри. Знову заряджають один з електрометрів і, сполучивши їх обидва металевим провідником, звертають увагу на перехід електричних

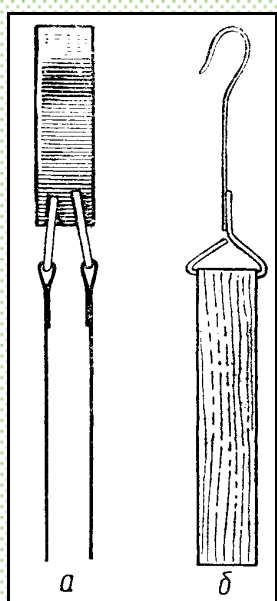


Рис. 1

зарядів з одного електрометра на другий (тонкий з'єднувальний провід ізолюють від руки за допомогою скляних або, краще, плексигласових паличок, прикручених до його кінців). Дослід повторюють, сполучивши електрометри бавовняним шнуром, щоб сповільнити рух електричних зарядів (рис. 1).

Нарешті, з'ясовують, при яких умовах відбувається напрямлений рух електричних зарядів. Заряджають обидва електрометри однойменними зарядами до однакового потенціалу і, сполучивши їх провідником, спостерігають, що ніякої зміни в їх електричних станах не сталося. Зарядивши один з електрометрів до більшого потенціалу, ніж другий, і знову сполучивши їх провід-

ником, показують, що частина заряду з одного електрометра переходить на другий, поки потенціали не стануть однаковими.

Після цього з'ясовують, що треба було б зробити, щоб підтримати різницю потенціалів на кінцях провідника, по якому проходить струм?

2. Умови необхідні для існування електричного струму. Якщо всередині провідника існує електричне поле, то між кінцями провідника є різниця потенціалів. Коли ця різниця потенціалів не змінюється в часі, то в провіднику встановлюється постійний струм. Уздовж провідника потенціал зменшується від максимального значення на одному кінці провідника до мінімального значення на другому. Це зменшення потенціалу можна виявити на простому досліді.

У муфтах двох штативів, які стоять на певній відстані один від одного, закріплюють скляні або плексигласові палички і прив'язують до них кінці бавовняного шнура завдовжки 1,5–2 м і завтовшки 2–3 мм. На шнур навішують на однаковій відстані один від одного 7–10 паперових листочків-електроскопів. Один кінець шнура заземлюють, а другий приєднують довгим тонким проводом до одного з розведених кондукторів електрофорної машини; другий кондуктор заземлюють. При повільному обертанні машини листочки розходяться так, як показано на *рис. 2* що наочно ілюструє спад потенціалу вздовж кола.

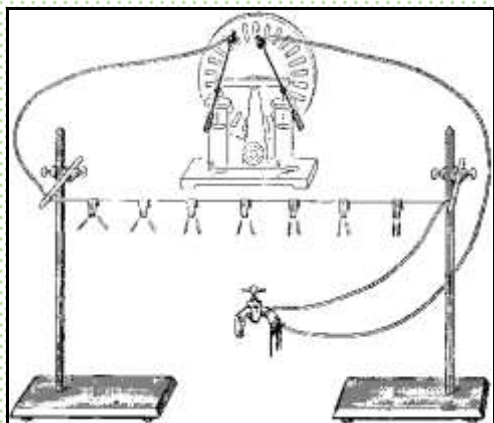


Рис. 2

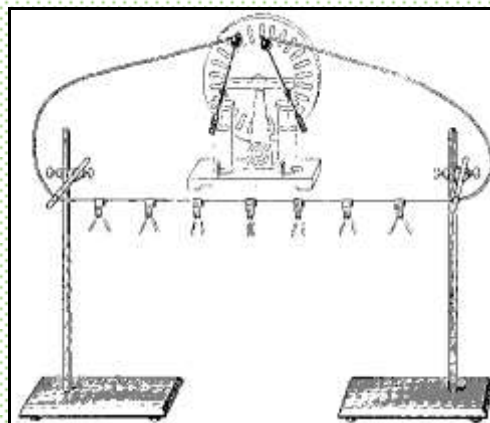


Рис. 3

Можна показати інший варіант цього досліду, сполучивши шнур довгими дротами з розведеними кондукторами машини (*рис. 3*). Паперові електроскопи розміщують так, щоб один з них висів посередині шнура. У цьому разі найбільший кут розходження листочків буде на кінцях шнура; чим ближче до середини тим кут розходження ставатиме дедалі меншим, а середні листочки не розійдуться зовсім. За допомогою електроскопа і зарядженої палички можна визначити знаки зарядів кожної половини шнура.

3. Демонстрація зв'язку електростатичних явищ з електродинамікою. Неонову лампу в патроні на підставці встановлюють на підйомному столику. Одну клему підставки сполучають з кондуктором електрофорної машини, другий кондуктор і клему заземлюють. При обертанні машини спостерігають свічення одного з електродів лампи. Дослід повторюють, сполучивши клеми підставки з кондукторами машини. Нарешті, вмикають лампу в електромережу. Якщо струм змінний, то спостерігають свічення обох електродів.

4. Електропровідність речовин. Наявність вільних електричних зарядів у металах і відсутність їх у діелектриках у шкільних умовах можна показати на такому досліді. На стержень одного з двох електрометрів насаджують металевий диск з набору до електрометрів і заряджають його від ебонітової палички. Коли стрілка електрометра заспокоїться, до диска підносять зверху в горизонтальному положенні складені разом дві товсті металеві пластинки з ізоляційними держаками (рис. 4). Можна використа-

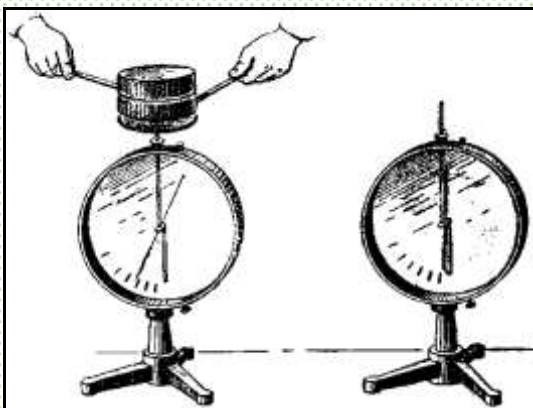


Рис. 4

ти два теплоприймачі, склавши їх нікельованими поверхнями.

Звертають увагу на невелике відхилення стрілки і пояснюють явище. Роз'єднавши металеві пластинки, показують за допомогою другого електрометра, що вони заряджені, причому верхня пластинка має негативний заряд, а нижня – позитивний. Повторюють дослід з двома пластинками плексигласу такої самої товщини і показують, що вони залишаються не-

зарядженими, бо під дією сил електричного поля заряди в них не переміщуються, а тільки змінюють свою орієнтацію, діелектрик поляризується, у цілому залишаючись нейтральним.

5. Гальванічні елементи. При вивченні будови і дії гальванічних елементів можна провести такі досліді. У скляну посудину наливають розчин сірчаної кислоти. У кришці посудини закріплюють два мідних електроди (рис. 5). Електроди замикають на лампочку 2,5 В і показують, що вона не спалахує. Після цього електроди замикають на вольтметр демонстраційний. Стрілка вольтметра при цьому не відхиляється. Струму від такого джерела ми дістати не можемо, оскільки електроди з однакової речовини,

один мідний електрод замінюють цинковим. При замиканні утвореного таким способом елемента Вольта на лампочку спостерігають короточасне розжарення нитки (спалах). Після цього мідний електрод замінюють вугляним і повторюють дослід. Лампочка горить яскраво і довго; стрілка вольтметра показує близько 2 В.

Далі розгляньте будову інших видів гальванічних елементів (Лекланше, так званого сухого елемента, кишенькової батарейки і елемента Грене).

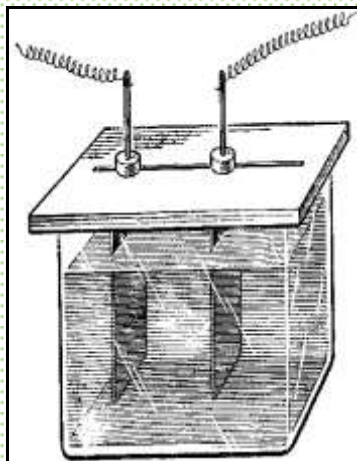
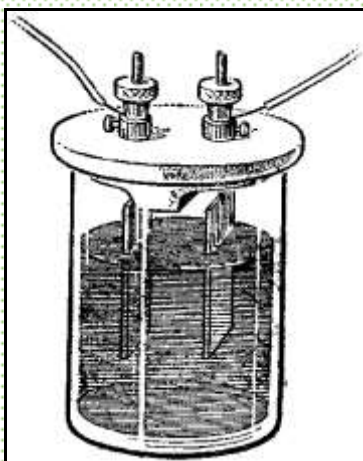


Рис. 5

Вивчати батарейку від кишенькового ліхтарика найкраще на її розрізі. Для цього батарейку розрізають уздовж слюсарною ножівкою і поміщають під скло так, щоб було видно її внутрішню будову.

Продемонструвавши елемент Грене (його ЕРС найбільша і дорівнює 2 В,

цинковий електрод обов'язково треба з розчину вийняти, піднявши його за металевий стержень, і закріпити гвинтом. Другий електрод цього елемента подвійний вугляний.

Для демонстрації будови акумулятори його потрібно попередньо розібрати.

6. Хімічна дія струму. У скляну посудину на $\frac{2}{3}$ її висоти наливають розчину мідного купоросу; в отвори кришки посудини вставляють два вугляні електроди з набору і закріплюють їх нижніми клемми (рис. 6). Електроди опускають у розчин, а верхні клемми через ключ сполучають із джерелом постійного струму (батареею акумуляторів або елементів). Через кілька хвилин після вмикання струму (залежно від ЕРС джерела струму) ключ розмикають, кришку з електродами виймають з посудини і показують, що один з них покритися шаром міді. Корисно повторити дослід із змінним струмом такої самої напруги і показати, що в цьому разі мідь не осідає.

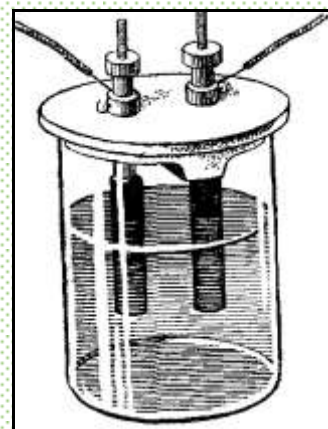


Рис. 6

7. Магнітна дія струму. Залізний болт на еластичній спіральній пружині підвішують до штатива на такій висоті, щоб його кінець був усередині отвору котушки, яка стоїть на столі або на підставці штатива (рис. 7). Через ключ і реостат котушку сполучають із джерелом струму. Замкнувши ключем коло, демонструють втягання болта всередину котушки. Ефективний результат матимемо, якщо візьмемо котушку Томсона, пружину від динамометра для відерця Архімеда і залізний болт (діаметром 25 мм та довжиною 120 мм).

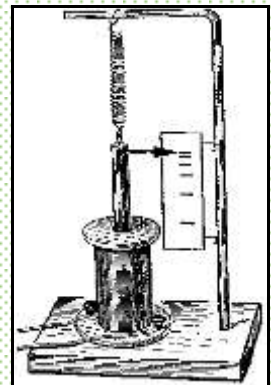


Рис. 7

Цей прилад можна використати також для демонстрування принципу будови електромагнітних вимірювальних приладів. Крім того, він може правити і за саморобний амперметр; для цього прилад треба обладнати шкалою і проградувати її.

8. Теплова дія струму. Спіраль для електричної плитки натягують між двома ізоляційними штативами і вмикають її через ключ до електричної мережі відповідної напруги. Замкнувши коло, показують, що спіраль (або нікелінова дротина) розжарюється. Розжарення регулюють реостатом. Дуже корисно показати, що теплову дію чинить як постійний так і змінний струм (напруги струмів слід взяти однакові).

Далі з нікелінової, залізної і трьох мідних дротин завдовжки 300 мм і діаметром 17,5 мм скручують «ланцюжок» і складають установку. Опір реостата встановлюють такий, щоб нікелінова дротина не світилася. Щоб пов'язати кількість тепла, яке виділяється в провіднику, з напругою як енергетичною характеристикою кола, необхідно пригадати, що напруга на різних ділянках кола різна, і показують, що розжарення лампочки на нікеліновому провіднику буде нормальним, на залізному – слабким, а на мідному вона не горітиме зовсім. Напруга на цій ділянці кола характеризується кількістю енергії, яка виділяється на цій ділянці при проходженні одиниці кількості електрики. Отже, електричний струм виділяє більше енергії на тій ділянці, на якій більша напруга. Оскільки провідники в нашому досліді нерухомі, то вся робота, виконана струмом, переходить у теплоту, внаслідок чого провідники нагріваються, причому більше нагріється та ділянка, де більша напруга. Після цього на залізну, нікелінову і середню мідну дротини навішують паперові «гусарики». Замкнувши струм, поступово виводять реостат доти, поки нікелінова дротина не почне слабо світитись.

«Гусарик» на нікеліні згорить і впаде, на залізній дротині димітиме, а на мідній залишиться цілим. Мідну дротину можна взяти пальцями, показуючи цим, що вона мало нагрілася. Після цього реостат поступово виводять і показують, що при збільшенні сили струму виділення тепла посилюється.

9. Елемент Грене. Елемент Грене (рис. 8) є джерелом постійного струму і може бути використаний під час різних дослідів з електрики. Його ЕРС. – 2 В. Елемент Грене складається з товстостінної і широкого-рлої скляної колби, закритої дерев'яною кришкою. На кришці укріплені дві вугільні пластини і підйомна цинкова (остання тримається в піднятому стані за допомогою гвинта). Вугільні пластини, з'єднані між собою паралельно, відповідають позитивному полюсу, а цинкова – негативному. Вивідні клема установлені на кришці елемента. Цинковий електрод опускається в електроліт тільки на час роботи елемента.

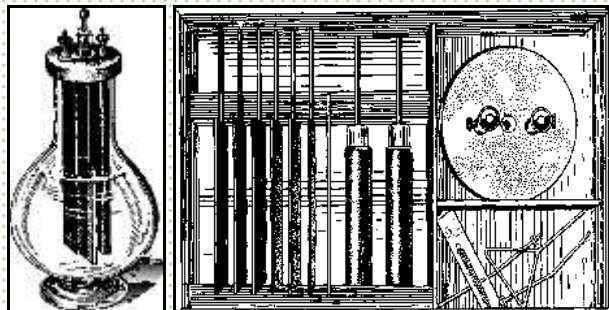


Рис. 8

10. Залежність опору вугляного стержня від температури. До графітового стержня на віддалі 40–50 мм один від одного добре прикручують, кінці двох м'яких багатожильних дротів. Вільні кінці їх через демонстраційний амперметр на 3 А і ключ приєднують до джерела струму. Беруть графітовий стержень за кінець, замикають ключ і визначають величину струму (вона трохи більша за 1 А). Нагрівають стержень між дротами на спиртівці і спостерігають збільшення струму, що свідчить про зменшення опору вугілля при нагріванні.

11. Термоелектричний ефект. Термоелемент. В кабінетах фізики є термопара, яка складається з двох дротин (залізної і константової) довжиною 200 мм, і діаметром 1,5 мм, які спаяні на одному кінці і закріплені в колодці з двома кле-
мами (рис. 9). Причиною виникнення термоелектрорушійної сили є різниця температур, незалежно від того, чи перебувають обидва спаї при кімнатній чи при високій температурі.

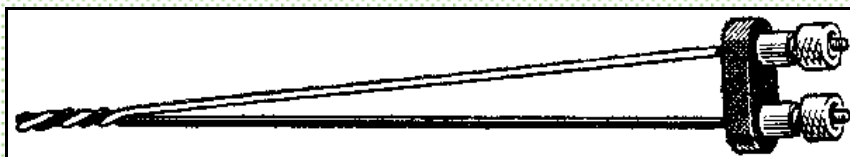


Рис. 9

Коли є термопари з різних металів, можна продемонструвати залежність величини і напрямку термоструму від матеріалу термопар. Наприклад, у пари залізо – мідь струм іде через нагрітий спай від заліза до міді, а в парі нікелін – мідь від міді до нікеліну. Для цього спочатку звертають увагу на напрям відхилення стрілки гальванометра, якщо ввімкнути його через реостат до джерела струму певного напрямку. З'ясовуючи застосування термоелементів у техніці (вимірювання високих температур, можливість вимірювання температур на значних відстанях), бажано показати технічну термопару з гальванометром, який проградуйовано для вимірювання температури.

12. Термобатарея. Щоб продемонструвати залежність ЕРС від числа послідовно сполучених термоелементів, можна виготовити термобатарею: одна з найпростіших і зручних для користування конструкцій показана на *рис 10*. При демонструванні термобатарею сполучають з гальванометром і спиртівкою нагрівають внутрішні кінці дротин. Стрілка гальванометра при цьому відхиляється на всю шкалу.

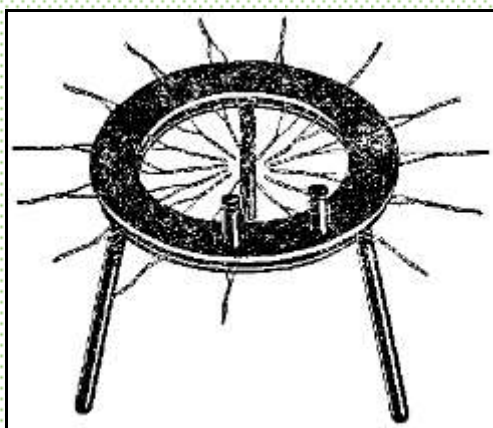


Рис. 10

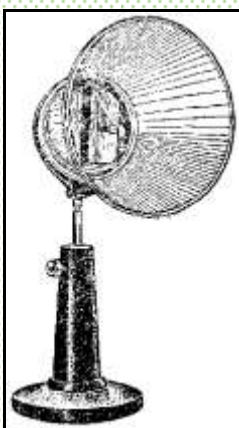


Рис. 11

За допомогою термостовпчика (*рис. 11*) і дзеркального гальванометра можна показати виникнення термоелектрорушійної сили від теплового випромінювання руки (підносячи долоню до розсунутої щілини термостовпчика) або від запаленого на далекій відстані

сірника. За допомогою цього термостовпчика можна також визначати розподіл променистої енергії в різних частинах спектра. Для здійснення цих дослідів треба застосовувати гальванометр з чутливістю не менш як 10^{-6} А на поділку. Стрілка звичайного демонстраційного гальванометра відхиляється тільки на половину поділки при наближенні запаленого сірника до самого конусного розтруба термостовпчика при повністю розсунутій щілині вікна корпусу, а тому треба поставити підсилювач до нього.

13. Послідовне і паралельне сполучення джерел струму. При користуванні гальванічними елементами і акумуляторами здебільшого застосовується послідовне сполучення їх у батареї. Джерела струму при цьому

сполучаються одне до одного своїми різнойменними полюсами. Послідовне сполучення застосовують для збільшення ЕРС у тих випадках, коли зовнішній опір кола значно перевищує внутрішній опір батареї.

Збільшення ЕРС батареї при послідовному сполученні демонструють так. Один елемент (або одну банку акумулятора) під'єднують до вольтметра і вимірюють його ЕРС. Потім складають батарею елементів, додаючи їх по одному, і спостерігають збільшення ЕРС пропорційно кількості взятих елементів.

Паралельне сполучення застосовують тільки для джерел струму з великим внутрішнім опором (гальванічні елементи Лекланше, Грене), причому тоді, коли зовнішній опір кола порівняно невеликий. При паралельному сполученні всі позитивні полюси сполучають разом; вони утворюють позитивний полюс батареї, а всі негативні полюси, які сполучені разом,— негативний полюс батареї.

Закони паралельного сполучення елементів можна вивчити на таких дослідах. За допомогою вольтметра вимірюють ЕРС одного елемента Лекланше (або «сухого» елемента). Вона дорівнює 1,45 В. Потім показують, що ЕРС двох і трьох елементів, сполучених паралельно, буде така сама. Після цього вимірюють величину струму в колі, яке складається з одного елемента, амперметра, опору 1 Ом і ключа. В одному з дослідів величина струму дорівнювала 1,2 А. Вимірявши в тому самому колі величину струму при двох паралельно сполучених елементах (у тому самому досліді вона дорівнювала 1,8 А), констатують, що сила струму збільшилась. Збільшення сили струму пояснюється зменшенням внутрішнього опору батареї в 2 рази порівняно з внутрішнім опором одного елемента. Для вимірювання величини струму до універсального гальванометра треба під'єднати саморобний шунт з дротини такого опору, щоб ціна поділки шкали дорівнювала 17,2–17,3 А.

Сполучати паралельно можна елементи або акумулятори тільки одного якого-небудь типу, тобто такі, які мають однакові ЕРС; при цьому їх ємності (якщо це акумулятори) можуть бути різні.

Контрольні запитання

1. Виділіть головне в залежності опору металів та електролітів від температури.
2. Поясніть конструкцію та принцип дії термоелемента.

3. Як, на вашу думку, можна використовувати різні споживачі електричного струму.
4. Опишіть будову, переваги та недоліки елемента Грене.
5. Поясніть, які процеси відбуваються під час проходження електричного струму?
6. Розкладіть на складові частини конструкцію термобатареї, термостовпчика.
7. Висловіть свої обґрунтування доцільності сполучення джерела електричного струму.
8. Враховуючи той факт, що при послідовному сполученні опір зростає, поясніть переваги послідовного сполучення джерел електричного струму.
9. Обґрунтуйте переваги паралельного з'єднання джерел електричного струму, враховуючи те, що в цьому випадку ЕРС батареї не збільшується.
10. Обґрунтуйте причину спаду потенціалу у електричному колі.
11. Поясніть, що називають сторонніми силами та електрорушійною силою.
12. Встановіть фізичний зміст понять: електрорушійна сила, напруга, спад напруги, внутрішній опір?
13. Наведіть методи визначення електрорушійної сили та внутрішнього опору джерела струму.
14. Встановіть зв'язок, який існує між електростатичними явищами та електродинамікою.
15. Опишіть дії, які спричинює електричний струм.

ЗАКОНИ ПОСТІЙНОГО СТРУМУ

Мета роботи: ознайомитися з методикою і технікою шкільного фізичного експерименту при вивченні законів постійного струму.

ТЕХНОЛОГІЯ І ТЕХНІКА ВИКОНАННЯ ЕКСПЕРИМЕНТІВ

Розподіл напруги на різних ділянках кола. Залізну, нікелінову і три мідні дротини завдовжки 250–300 мм і діаметром 17,5 мм з'єднують між собою (мідь – залізо – мідь – нікелін – мідь) і підвішують до двох ізоляційних або звичайних штативів у натягнутому положенні (рис. 1). Увівши максимальний опір реостата, кінці дротин через реостат сполучають з джерелом струму. На зачищені кінці залізної, нікелінової і середньої мідної дротин підвішують електричні лампочки. Замкнувши ключ, поступово виводячи реостат, показують, що розжарення лампочки на нікеліновому провіднику буде нормальним, а на залізному – слабким. Лампочка на мідному провіднику не горітиме зовсім. Якщо є демонстраційний вольтметр, то замість лампочки користуються вольтметром або повторюють дослід з ним. Доцільно визначити спад напруги, наприклад, через кожні 100 мм довжини провідника, записати результати і скласти графік. Для демонстрування розподілу напруги на різних ділянках кола можна використати також демонстраційний магазин опорів.

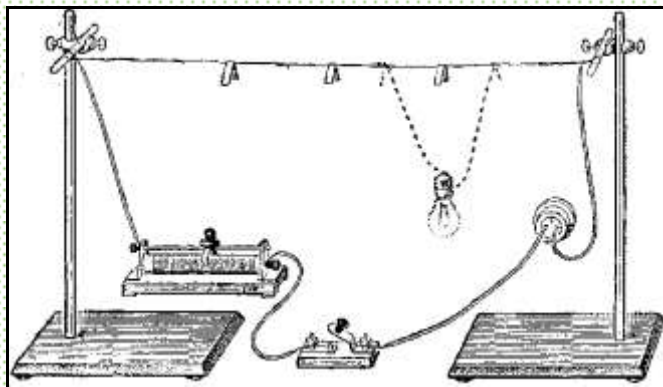


Рис. 1

2. Однаковість величини струму в нерозгалуженому колі. Складають електричне коло, сполучаючи через ключ послідовно низьковольтну лампочку на підставці, котушку від розбірного дугоподібного електромагніту, амперметр і батарею акумуляторів. Замкнувши ключ, визначають за амперметром величину струму і записують її на дошці. Вимкнувши струм і перемістивши амперметр у будь-яке інше місце кола, звертають увагу на те, що покази амперметра не змінилися. Повторюють дослід ще раз, знову перемістивши амперметр.

3. Зміна величини струму при вмиканні в коло різних провідників.

Електричне коло складають з трьох послідовно ввімкнених низьковольтних електричних лампочок, батареї акумуляторів і ключа (рис. 2). Вмикають спочатку одну, потім дві і, нарешті, три лампочки і спостерігають поступове зменшення розжарення останніх, що свідчить про ослаблення струму внаслідок збільшення електричного опору кола.

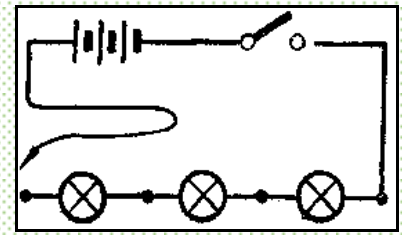


Рис. 2

4. Опір. Вимірювання питомого опору провідника. Схему електричного кола для вимірювання питомого опору провідника зображено на рис. 3. Електричне коло складається з послідовно ввімкнених: джерела струму E , амперметра A , невідомого опору R , реостата R_1 і ключа K . До невідомого опору ввімкнено паралельно вольтметр V .

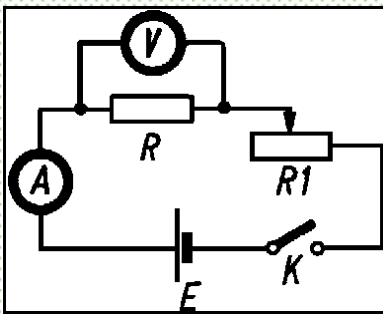


Рис. 3

Скласти електричне коло за схемою, поданою на рис. 3. Складаючи коло, потрібно стежити за тим, щоб "+" клем амперметра і вольтметра були сполучені з позитивним полюсом джерела струму. Змінюючи положення повзунка реостата, підібрати струм не більший за 17,5 А, щоб не перевантажити джерело струму. Виміряти силу струму і напругу на досліджуваному опорі і при цій силі струму. Довжину провідника виміряти лінійкою, а діаметр дроту – мікрометром у трьох-чотирьох місцях. Якщо результати вимірювань діаметра дроту різні, то обчислити середнє значення діаметра. Результати вимірювань сили струму, напруги, довжини й діаметра дроту записати в зошит. Обчислити питомий опір дроту.

5. Послідовне з'єднання провідників. Послідовне сполучення провідників. Складають коло (рис. 4) з джерела струму, демонстраційного амперметра на 3 А, опору на 2 Ом і ключа. При цьому протягом усього досліду звертають увагу на порядок з'єднання приладів при послідовному сполученні, формулюють правило сполучення, креслять схеми електричного кола. Замикають струм, визначають його величину і записують (в одному з дослідів 2,4 В). Вмикають послідовно ще один опір на 2 Ом, записують

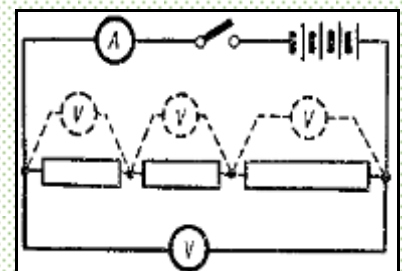


Рис. 4

загальний опір і величину струму (1,2 А). Два опори по 2 Ом замінюють одним на 4 Ом, звертають увагу на те, що покази амперметра залишилися ті самі, і роблять висновок про загальний опір провідників при послідовному сполученні. Нарешті, додають послідовно ще опір на 4 Ом і записують результати (струм 17,6 А). Аналізують результати досліду і роблять висновок про зменшення струму в колі при збільшенні опору послідовно сполучених провідників. Після цього за допомогою вольтметра визначають спад напруги на кожному з провідників, а також на всіх трьох разом, записують результати, аналізують їх і роблять висновки.

6. Паралельне сполучення провідників.

Паралельне сполучення провідників. Складають електричне коло (рис. 5) з джерела струму, амперметра на 10 А, опору на 2 Ом і ключа. Вмикають струм, визначають його величину і записують. Паралельно до опору в 2 Ом підключають опір на 4 Ом. Визначають величину струму в основному колі і записують. Потім паралельно під'єднують ще опір на 8 Ом, вмикають струм і

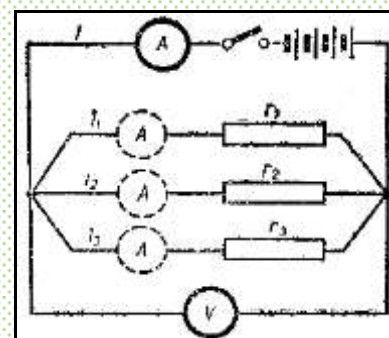


Рис. 5

констатують, що струм в основному колі ще збільшився, що свідчить про зменшення загального опору провідників, сполучених паралельно. Після за допомогою амперметра визначають величину струму в кожному розгалуженні і записують їх. Знайдені результати з достатнім наближенням підтверджують закони паралельного сполучення провідників:

$$I = I_1 + I_2 + I_3; I_1 : I_2 : I_3 = 1/r_1 + 1/r_2 + 1/r_3.$$

Після того, вмикають паралельно два опори по 4 Ом і визначають величину струму в основному колі. Потім обидва опори замінюють одним на 2 Ом і спостерігають, що величина струму залишається та сама. Цей дослід підтверджує, що $R = r/n$. Нарешті, за допомогою вольтметра показують, що напруга на кінцях усіх паралельно сполучених провідників однакова.

7. Вивчення законів опору металевих провідників. При вивченні законів опору металевих провідників зручно використати нескладний саморобний прилад, який виготовляють згідно рис. 6.

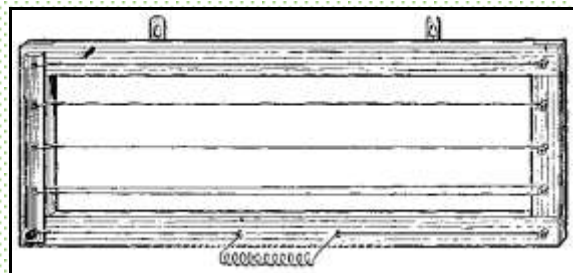


Рис. 6

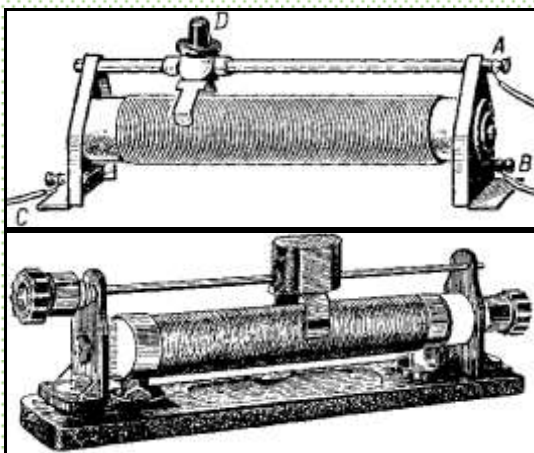


Рис. 7

по обмотці реостата пересувається металевий повзунок D з пластмасовою головкою. Для щільного контакту з обмоткою повзунок має пружні лапки, на кінцях яких іноді встановлюють ролики.

Вмикати реостат у коло можна двома способами: провідники кола сполучають з клемми A і B або A і C. У першому випадку опір збільшують, віддаляючи повзунок від клемми A, а в другому – наближаючи його до неї. З'ясувавши призначення і будову реостата, демонструють його дію. Для цього реостат, амперметр і ключ сполучають послідовно з джерелом струму. Закнувши ключ (при введеному повністю реостаті), спостерігають незначне відхилення стрілки амперметра. Повільно переміщаючи повзунок і зменшуючи опір, спостерігають поступове збільшення величини струму.



Рис. 8

Реостат важільний складається з металевої рами на ніжках (рис. 8) на якій закріплені дві ізоляційні пластини; між ними натягнуті 10 пар константових спіралей, сполучених послідовно. Кожна пара спіралей має опір 1 Ом. На нижній пластині змонтовано контакти, з'єднані з спіралями опору, контактний важіль, який можна обертати навколо його осі, два упори для важеля і дві клемми для вмикання реостата в коло. Опір реостата змінюють, пересуваючи важіль по контактах.

9. Магазин опорів демонстраційний. Цей прилад має: вертикальну панель на підставці (рис. 9). На верхній частині панелі укріплено 5 металевих пластинок, кінці яких зігнуто так, що два суміжні кінці утворюють розімкнуте півкільце, яке править за гніздо для штепселя. Між собою

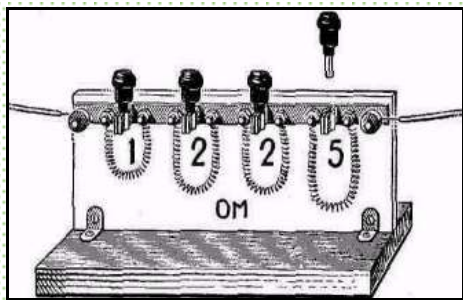


Рис. 9

пластинки сполучені підвішеними до них спіралями опором в 1; 2; 2 і 5 Ом. Вставлений у гніздо штепсель закорочує пластинки. Користуючись цим магазином опорів, можна регулювати опір від 1 до 10 Ом через 1 Ом, виймаючи відповідні штепселі. Граничний її струм для опорів 1 і 2 Ом – 2 А; для опору 5 Ом – 1 А.

10. Набір опорів (рис. 10).

Він складається з трьох опорів (1, 2 і 4 Ом), кожен з яких складається з пластмасової колодки з двома клемами, у заглибині якої лежить спіраль опору, сполучена з клемами. Набір призначений для фронтальних лабораторних робіт. Він дуже зручний при складанні електричного кола, визначенні величини опору, вивченні закону Ома, послідовного і паралельного сполучення провідників. У радіотехніці поширені і так звані “постійні опори” (дротяні, недротяні, керамічні та ін.), які зображені на рис. 11.

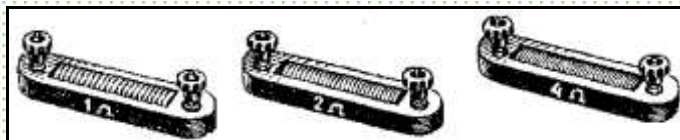


Рис. 10

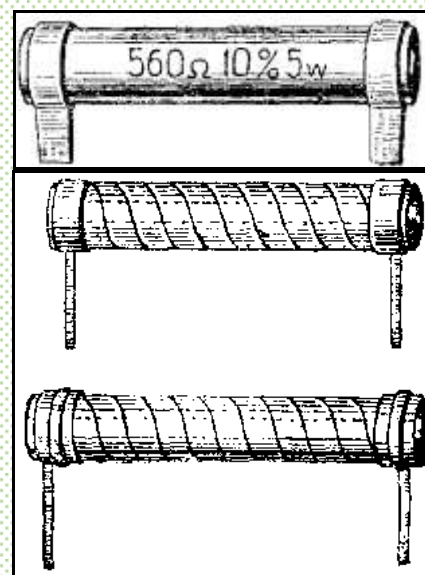


Рис. 11

11. Електрорушійна сила і внутрішній опір джерела струму. Збирають електричне коло рис. 12. В якості джерела вмикають ванну з цинковим і мідним електродами і електролітом. До амперметра підбирають шунт силою струму 1А, а до вольтметра – додатковий опір напругою 1 В. При розімкненому колі вольтметр дає деякі покази. Змінюють положення електродів в ванні, тобто зближують їх і змінюють глибину їх занурення в електроліт. При цьому покази вольтметра не змінюються. Роблять висновок, що ця напруга може служити характеристикою джерела струму, яка залежить тільки від того, які електроди і який електроліт застосовані в даному джерелі струму. Цю характеристику прийнято називати електрорушійною силою джерела. Електрорушійна сила – це енергетична характеристика поля, що створюється джерелом. Вольтметр, підключений до клем джерела струму при розімкненому електричному колі, вимірює саме ЕРС.

Після цього замикають зовнішні кола і спостерігають за показами вольтметра і амперметра. Вольтметр в цьому випадку показує напругу, а амперметр – силу струму в колі.

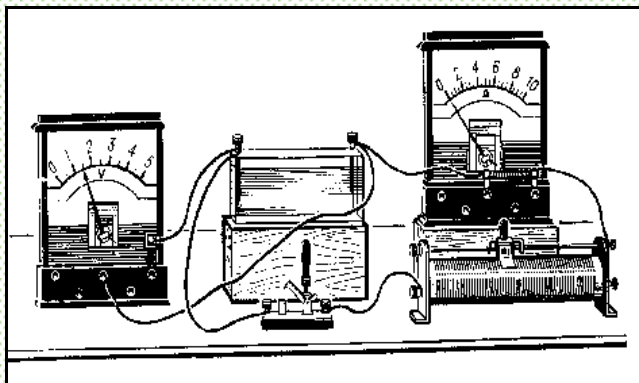


Рис. 12

Не змінюючи навантаження у внутрішньому колі змінюють відстань між електродами, змінюють глибину їх занурення в електроліт. При цьому змінюється як сила струму, так і напруга. Тут в основному слід звернути увагу на зміну сили струму. При збільшенні відстані між електродами сила струму зменшується. Чому так відбувається?

Ймовірно, тому що змінюється опір на ділянці всередині джерела. Те саме відбувається і при зменшенні заглиблення електродів в електроліт. Отже, сила струму в колі залежить не тільки від зовнішнього опору R , але і від внутрішнього опору r . Характер залежності сили струму від ЕРС і опору кола визначається законом, що отримав назву закону Ома для повного кола.

12. Закон Ома для ділянки кола. Установку складають за схемою рис. 13, не замикаючи кола. Амперметр використовують з шунтом і шкалою на 3 А, вольтметр – з додатковим опором і шкалою на 5 В. Як змінний опір r_1 ділянки кола взято магазин опорів; r_2 – реостат з повзунком (6–10 Ом), за допомогою якого регулюють напругу на ділянці кола; E – батарея лужних акумуляторів з чотирьох банок (5 В). Для демонстрування залежності величини струму від напруги при сталому опорі на ділянці кола (на магазині опорів) установлюють опір 2 Ом, вмикають усю батарею акумуляторів і вводять такий опір реостата, щоб вольтметр показував, наприклад, 2 В. Амперметр при цьому показує 1 А. Результати досліду записують у таблицю. Після цього вмикають дві банки батареї акумуляторів: вольтметр показує 1 В, амперметр – 17,5 А. Вносять ці дані в таблицю. Нарешті, вмикають одну банку акумулятора і записують нові результати: напруга – 17,5 В, струм – 17,25 А. Аналізують результати приходять до висновку: величина струму прямо пропорційна напрузі. Залежність між

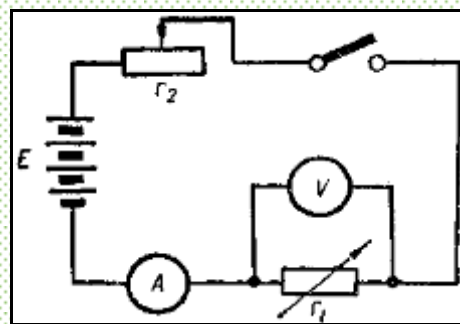


Рис. 13

струмом і опором при сталій напрузі демонструють так. Установлюють опір ділянці кола 4 Ом, вмикають усю батарею акумуляторів і опір реостата регулюють так, щоб напруга була, наприклад, 2 В; струм при цьому буде 17,5 А. Потім зменшують опір у два рази (2 Ом) і, відрегулювавши знову реостатом напругу, спостерігають, що струм дорівнює 1 А, тобто збільшився вдвоє. Після цього повторюють дослід з опором 1 Ом і констатують, що струм дорівнює 2 А. Усі результати записують у таблицю, аналізують їх, роблять висновок, що струм обернено пропорційний опором, і записують формулу закону Ома для ділянки кола. Користуючись знайденими результатами, слід показати, що відношення напруги на ділянці кола до величини струму є величина стала і дорівнює опором ділянки.

13. Закон Ома для всього кола. Складають електричне коло з увімкнених послідовно універсального гальванометра з шунтом на 1 А, реостата з повзунком, рубильника і елемента Грене. Усі сполучення виконують короткими і товстими проводами. Увівши невеликий опір реостата і опустивши в розчин цинковий електрод, замикають коло і записують показ амперметра (струм 17,5 А – п'ять поділок шкали). Збільшуючи зовнішній опір, спостерігають зменшення струму і навпаки. При незмінному зовнішньому опором змінюють внутрішній опір джерела струму, змінюючи глибину занурення цинкового електрода в розчин, і спостерігають, як при цьому змінюється величина струму (ЕРС елемента не залежить від його розмірів та форми і при зміні глибини занурення електрода не змінюється; це треба показати).

Залежність величини струму від ЕРС джерела можна було б продемонструвати, узявши інший елемент з таким самим внутрішнім опором, як і перший, але з більшою ЕРС. Проте оскільки безпосередньо здійснити це важко, то поступають так. При невеликому зовнішньому опором і при зануреному до половини цинковому електроді одного елемента Грене записують величину струму в колі. Потім другий елемент сполучають послідовно з першим і спостерігають, що величина струму збільшилась у двічі.

Контрольні запитання

1. Дослідіть та охарактеризуйте способи сполучення провідників.
2. Наведіть фізичний зміст поняття «опір речовини»?
3. Що називають питомим опором і в яких одиницях його вимірюють у фізиці та техніці?

4. *Опишіть будову різних видів резисторів та реостатів.*
5. *Дослідіть призначення шунтів та додаткових опорів.*
6. *Де в техніці використовують сплави з великим питомим опором?*
7. *Сформулюйте означення та головні властивості надпровідників, висловіть критичні зауваження стосовно головних технічних труднощів використання надпровідників на практиці.*
8. *Доведіть, чому опір амперметра має бути малий, а вольтметра – великий.*
9. *Встановіть, як побудовані і як діють амперметр та вольтметр, що використовуються в роботі?*
10. *Доведіть, чому для вимірювання опорів необхідне джерело струму.*
11. *Обґрунтуйте, що називають сторонніми силами? Електрорушійною силою?*
12. *Встановіть фізичний зміст понять: електрорушійна сила, напруга, спад напруги, внутрішній опір?*
13. *Перерахуйте складові частини процесу визначення електрорушійної сили та внутрішнього опору джерела струму.*
14. *Як визначити розподіл напруги на різних ділянках електричного кола?*
15. *Виділіть головні ланки, необхідні для визначення питомого опору провідника.*

ЕЛЕКТРИЧНИЙ СТРУМ В РІДИНАХ

Мета роботи: ознайомитись з методикою і технікою проведення основних дослідів при вивченні електричних струмів в рідинах.

ТЕХНОЛОГІЯ І ТЕХНІКА ВИКОНАННЯ ЕКСПЕРИМЕНТІВ

1. Електропровідність дистильованої води. Показати, що дистильована вода практично не проводить електричного струму. Для цього складають коло, яке зображене на *рисунку 1*. В посудину наливають дистильовану воду. Замкнувши коло, бачимо, що лампочка не світиться. З'єднавши електроди розрядником, переконуються в тому, що в колі є напруга і з'єднувальні провідники справні. Так як нитка лампи не розжарюється, роблять висновок, що дистильована вода є діелектриком.

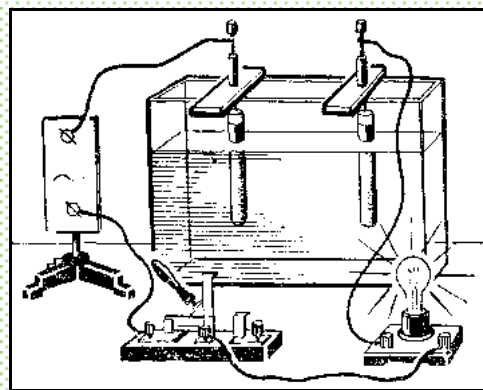


Рис. 1

2. Вивчення законів опору рідких провідників. Для демонстрування законів опору рідких провідників можна використовувати установку (*рис. 1*) але можна виготовити й нескладний, але дуже зручний прилад (*рис. 2*), який можна використовувати як рідинний реостат, а також для дослідів з електролізу. Для цього на дерев'яній дощечці встановлюють металеві стояки. На одному з них встановлюють металеве кільце для скляної посудини таким чином, щоб його можна було пересувати вздовж стояка і закріплювати на потрібному рівні. На двох інших стояках закріплюють вугляні стержні так, щоб їх можна було пересувати вздовж стояків і, крім того, наближати або віддаляти один від одного. Вугляні стержні і кільце на стояках підставки закріплюють муфточками. На підставці приладу встановлюють дві клеми і з'єднують їх унизу під підставками зі стояками.

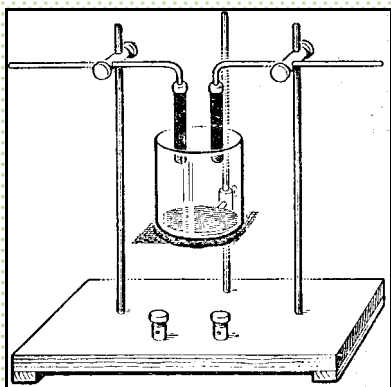


Рис. 2

Залежність опору від концентрації розчину демонструють так. На кільце приладу кладуть азбестову сітку, ставлять на неї широку хімічну

склянку або кристалізатор з тонкого скла, наливають дистильованої води і занурюють у неї на деякій відстані один від одного вугляні стержні. Прилад через лампочку і ключ сполучають з джерелом струму. Після цього, перемішуючи воду, вводять у неї на кінчику скляної палички декілька крупинок солі, щоб нитка лампочки тільки трохи розжарилася. Поступово збільшуючи кількість солі в розчині, підсилюють розжарення лампочки, що свідчить про зменшення опору розчину із збільшенням концентрації солі.

Залежність опору розчинів від довжини і поперечного перерізу стовпа рідини демонструють аналогічно. Утворюють таку концентрацію розчину, щоб нитка лампочки розжарилася до червоного. Змінюючи відстань між вугляними стержнями при незмінному їх зануренні, а після цього глибину занурення при незмінній відстані між ними, спостерігають зміну розжарення лампочки і роблять відповідні висновки про зміну опору.

Залежність опору рідких провідників від температури демонструють так. У воду додають стільки солі, щоб нитка лампочки ледве помітно розжарилася. Потім розчин нагрівають, звертаючи увагу на збільшення розжарення лампочки, що є наслідком зменшення опору розчину. Замість електричної лампочки, яка є індикатором струму, можна використати амперметр.

3. Електролітична дисоціація. Іонна провідність. Саморобний прилад для демонстрування законів опору електролітів (див. *рис. 2*) через лампочку і ключ під'єднують до джерела струму. У чашку насипають кухонної солі. Кінці вугляних стержнів приладу занурюють у сіль і, замкнувши ключ, спостерігають, що лампочка не горить. Сполучивши вугляні стержні кусочком ізольованого дроту, показують, що стержні перебувають під напругою, про що свідчить розжарення лампочки. Роблять висновок: суха кухонна сіль не проводить струму. Повторюють дослід із сухим цукром-піском, а потім з дистильованою водою, наливши її в хімічну склянку і показують, що вони також не проводять струму. Вводять у воду невелику кількість солі і, розмішавши паличкою, звертають увагу на розжарення лампочки, що свідчить про наявність у колі струму. Молекули солі у водному розчині розпадаються на іони, і розчин проводить струм. Розчиняти сіль потрібно в невеликій кількості, щоб нитка лампочки тільки трохи розжарилася. Поступово збільшуючи кількість солі в розчині, підсилюють розжарення лампочки до нормального. Дослід повторюють з розчином цукру-піску, причому можна насипати його відразу в достатній кількості. Лампочка не розжарюється, бо молекули цукру при розчиненні не розпадаються на іони, а тому розчин

струму не проводить. Нарешті, показують, що концентрована сірчана кислота струму не проводить, а водний її розчин є провідником.

4. Наявність іонів у розчині електроліту.

Наявність у розчині електроліту позитивно і негативно заряджених іонів можна показати на такому досліді (рис. 3). Запаяну трубку з платиновими електродами, заповнену розчином йодистого ка-

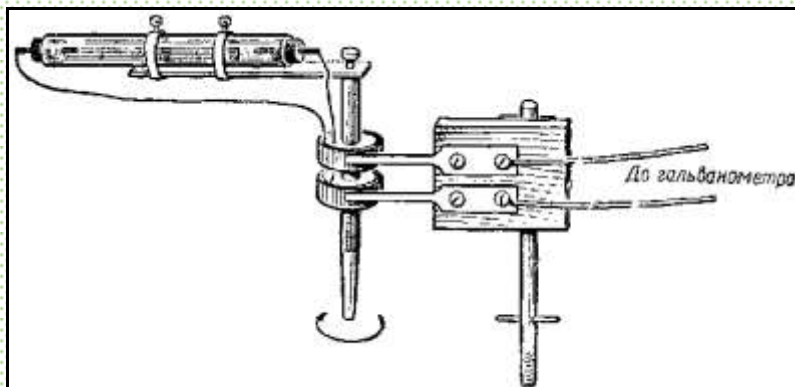


Рис. 3

лію, закріплюють по радіусу на обертовому диску. За допомогою спеціального пристрою електроди трубки сполучені з чутливим вольтметром. При швидкому обертанні диска стрілка вольтметра відхилиться, що свідчить про появу біля електродів різнойменних зарядів. При цьому виявляється, що кінець трубки, розташований біля краю диска, заряджається негативно, а розташований біля центра диска – позитивно. Очевидно, що негативно заряджені іони йоду, як важчі, відкидаються на більшу відстань від осі обертання, ніж легші іони калію, заряджені позитивно. Через те в тому кінці трубки, який міститься біля краю диска, утворюється більше іонів йоду, ніж калію, і розташований там електрод заряджається негативно. Навпаки, на кінці трубки, що міститься біля центра диска, утворюється більше іонів калію, і електрод має позитивний заряд. Цей дослід є добрим доказом існування в розчинах електролітів різнойменно заряджених іонів.

5. Рух іонів в електричному полі. Одним з найпростіших дослідів, що демонструють рух іонів, є такий. Смужку фільтрувального паперу просочують розчином кухонної солі з добавкою кількох краплин розчину фе-

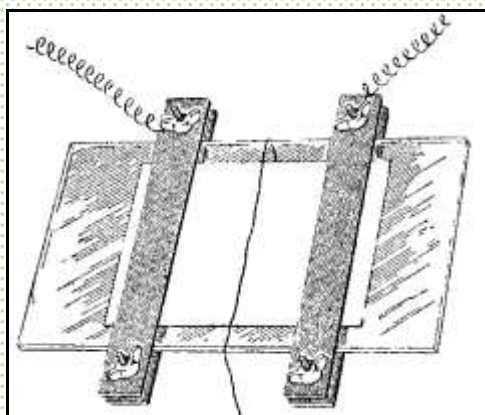


Рис. 4

нолфталеїну, і кладуть на скляну пластинку. На краях паперу розміщують електроди і прикріплюють їх затискачами до пластинки на відстані 6–8 см один від одного (рис. 4). Пластинку підвішують на штативі в похилому положенні, електроди через ключ сполучають з джерелом постійного струму. Після цього посередині між елект-

родами поперек смужки паперу кладуть темну штопальну нитку, просочену розчином їдкого натрію або калію, так, щоб її кінці звисали з пластинки; внаслідок взаємодії іонів гідроксиду (ОН) з фенолфталеїном папір під ниткою забарвиться в малиновий колір. Після цього замикають ключ і спостерігають рух іонів гідроксиду до анода. Малинова смуга переміщатиметься в бік анода.

6. Електроліз розчину мідного купоросу. У кришці склянки закріплюють вугляний стержень і мідну пластинку. Наливши в склянку насиченого розчину мідного купоросу і звернувши увагу на те, що мідна пластинка має тьмяний відтінок, а вугляний стержень зовсім чистий і чорний на колір, вставляють електроди в розчин. Після цього електроди сполучають з джерелом постійного струму, звертаючи увагу на те, що вугляний електрод сполучається з негативним полюсом батареї. Через кілька хвилин електроди виймають і показують, що вугляний електрод покритися шаром міді. Звертають увагу на міцність шару міді, на його колір, порівнюють яскравість кольору цієї міді з бурим і брудним, кольором окисленої міді мідного електрода. Потім змінюють полярність електродів і через кілька хвилин показують, що вугляний електрод став зовсім чистий, а мідь з нього перейшла на мідний електрод, на якому чітко видно межу відкладеної чистої рафінованої міді.

7. Якісна демонстрація залежності маси речовини, яка виділилась на катоді від сили струму і часу його протікання. Для досліду готують розчин сульфату міді. Наливають розчин в скляний посуд. Один вугільний електрод закріплюють в спеціальний тримач і опускають його в розчин. Другий електрод разом зі з'єднувальними провідниками підвішують до коромисла терезів і зрівноважують їх. Електрод при цьому також занурений в розчин (рис. 5). Складають електричне коло. Підвішений до коромисла терезів електрод з'єднують з від'ємним полюсом батареї акумуляторів. Цей дослід показується сам факт відкладання металу на катоді, а саме головне дозволяє якісно продемонструвати залежність маси, яка виділилась на катоді речовини від сили струму і часу його протікання. Засікають час і включають зібране коло, реостатом встановлюють силу струму приблизно 1-2 А. Такий великий

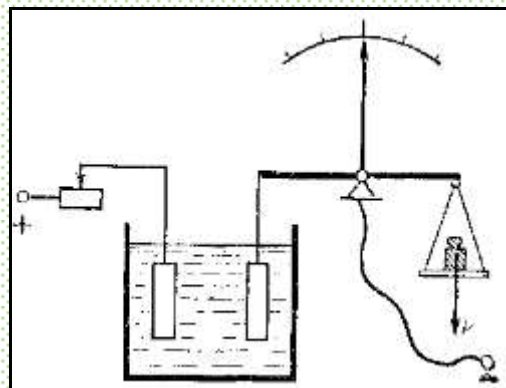


Рис. 5

струм необхідний для того, щоб скоротити час демонстрації. По мірі виділення міді на катоді рівновага терезів порушується. Через кілька хвилин вимикають коло і зрівноважують терези. Маса виділеної речовини дорівнює масі додаткових важків.

8. Вимірювання електрохімічного еквівалента міді та значення елементарного заряду. Електрохімічний еквівалент визначається з першого закону електролізу. За цим законом маса речовини, що виділяється при електролізі, пропорційна зарядові, який пройшов через електроліт, тобто

$$m = kq, \quad (1)$$

де k – електрохімічний еквівалент. На практиці заряд визначають за силою струму і часом його проходження через електроліт. Оскільки $q = It$, то формула (1) матиме вигляд: $m = kIt$, звідки

$$k = m/It. \quad (2)$$

Величина, обернена електрохімічному еквіваленту $1/k = It/m$, є зарядом, який переносить 1 кг речовини. Заряд, що переносить 1 моль для одновалентної ($n = 1$) речовини, буде в A разів більший від цього виразу, якщо A – атомна маса речовини. Як відомо, в одному молі речовини число атомів дорівнює числу Авогадро N_A , тому заряд одного іона буде: $q = ItA/(mN_A)$, а формула обчислення значення елементарного заряду для n валентної речовини матиме вигляд:

$$e = ItA/(mN_{An}). \quad (3)$$

Для вимірювання електрохімічного еквівалента міді складають електричне коло за схемою, поданою на *рис. 6*. Для досліду необхідно використати розчин мідного купоросу. Після того як перевірили схему, замкнути ключем електричне коло і встановити силу струму порядку 1,8 А. Потім розімкнути коло, вийняти катод. Добре очистити його і зважити. Поставити катодну пластинку на місце, встановивши її строго паралельно анодній пластинці. Замкнути електричне коло і одно-

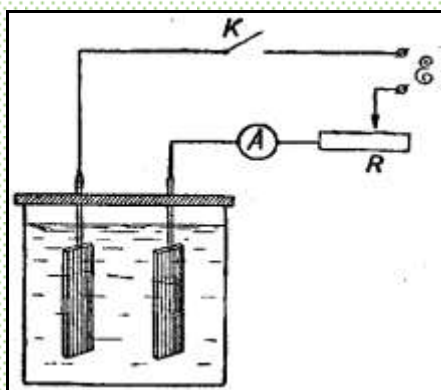


Рис. 6

одночасно запустити секундомір. Під час досліду стежити, щоб сила струму залишалася незмінною. Через 15 хв. припинити пропускання струму, обережно промити пластинку проточною водою, висушити і зважити. Результати вимірювань сили струму, часу проходження струму через електроліт і масу пластинки до і

після пропускання струму записати в зошит. Обчислити значення електрохімічного еквівалента міді. Обчислити значення елементарного заряду.

9. Вимірювання заряду іона водню. У розчині сірчаної кислоти внаслідок дисоціації утворюються іони H^+ і SO_4^- . При електролізі розчину сірчаної кислоти виділяється водень і кисень. Це явище використовують для вимірювання заряду іона водню. Для вимірювання заряду іона водню використовують формулу:

$$q = ItA / mN_A \quad (1)$$

Масу водню, що виділяється при проходженні струму, можна знайти, вимірявши об'єм водню, його тиск і температуру, використавши рівняння Менделєєва-Клапейрона: $pV = (m/\mu)RT$. Звідки

$$m = pV / \mu RT \quad (2)$$

Підставивши (2) у (1) і врахувавши, що $\mu = 2$, одержимо:

$$q = ItRT / 2pVN_A \quad (3)$$

Тиск водню визначають за формулою: $p = p_{am} + p_z - p_n$ (4), де p_{am} – атмосферний тиск, p_z – гідростатичний тиск, зумовлений різницею рівнів електроліту h ($p_z = \rho gh$, де ρ – густина електроліту), p_n – тиск насиченої водяної пари. Розрахункова формула для знаходження заряду іона водню така:

$$q = ItR(273^\circ C + t^\circ) / (2VN_A(p_{am} + \rho gh - p_n)) \quad (5)$$

Прилад для електролізу розчину сірчаної кислоти зображено на *рис. 7*. Він представляє собою три сполучені трубки для збирання газів, що виділяються при електролізі. Вони проградуйовані в міліметрах при $20^\circ C$ і мають зверху краники. У нижній частині цих трубок впаяні в скло електроди. Електрод, до якого приєднується плюс джерела, виготовленого із платини, щоб кисень, що виділяється біля цього електрода, не діяв на метал електрода. Третя трубка має зверху резервуар, куди переходить розчин, витіснений газом при електролізі. З'єднати послідовно прилад для електролізу, амперметр, реостат і джерело струму. Плюс джерела струму приєднати до електрода з платини. Увімкнути струм і за допомогою реостата встановити силу струму 0,5-1А. Спостерігати виділення бульбашок газу. Вимкнути струм. Зачекати, доки припиниться виділення бульбашок газу, закрити кран і увімкнути струм, одночасно пустивши в хід секундомір. Стежачи за ходом експерименту і підтриму-

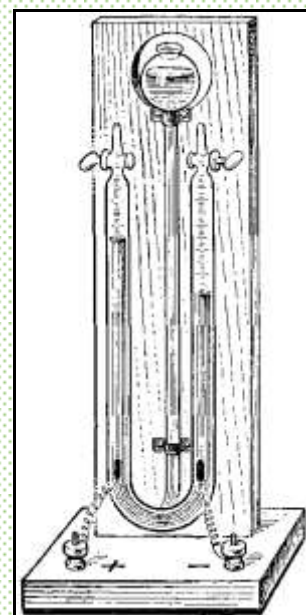


Рис. 7

ючи незмінну силу струму, зняти покази амперметра. Виміряти температуру повітря в кімнаті, атмосферний тиск, густину електроліту, визначити за графіком залежності тиску насиченої водяної пари від температури p_n . Коли вся проградуйована частина трубки заповниться воднем, вимкнути струм і одночасно зупинити секундомір. Зняти покази секундоміра, виміряти різницю рівнів електроліту в трубках і об'єм водню в трубці. Після закінчення вимірювань повільно по черзі відкрити крани, щоб випустити зібрані гази. Обчислити значення заряду іона водню. Значення сталих R , N_A , g взяти з такою кількістю значущих цифр, щоб похибки не впливали на похибку результату посереднього вимірювання.

10. Принцип дії акумулятора. У кришці закріплюють дві свинцеві пластинки з прикріпленими до них дротинами, перед цим переконавшись, що обидві вони однакового сірого кольору. У посудину наливають розчин сірчаної кислоти, опускають у нього електроди і, замкнувши їх на лампочку, показують, що вона не розжарюється. Після цього електроди приєднують до батареї акумуляторів і тримають їх під струмом близько 1 хв. Позначають, який з електродів під час досліду сполучений з позитивним полюсом акумулятора. Від'єднавши прилад від акумулятора і замикаючи на лампочки, спостерігають, що лампочка горить яскраво. Вийнявши пластинки з розчину, показують, що анодна пластинка стала коричневого кольору, а катодна – світло-сірого.

Контрольні запитання

1. Поясніть зміст поняття «електрична дисоціація».
2. Висловіть свої критичні зауваження стосовно наступного: під час проходження струму крізь розчин електроліту речовина переноситься, а при проходженні по металевому провіднику не переноситься.
3. Відтворіть головний зміст закону Фарадея для електролізу.
4. Поясніть, як визначити елементарний електричний заряд, використовуючи закони електролізу?
5. Встановіть природу електропровідності електролітів і газів. Висловіть свої думки з приводу того, що тут є спільного і чим ці типи електропровідності відрізняються.
6. Обґрунтуйте практичні застосування електролізу, які ви знаєте. Які з них можна досить просто продемонструвати на уроках?

7. Поясніть, за яких умов можна застосувати закон Ома до проходження струму через електроліти і газу.
8. Накресліть графіки залежності сили струму в електролітах і газах від прикладеної напруги. Поясніть особливості цих графіків.
9. Виділіть головне у наступному твердженні: чим відрізняється явище дисоціації молекул в електролітах від іонізації газових молекул?
10. Виділіть головні чинники, від як залежить опір електролітів від температури, встановіть, чим пояснюється така залежність.
11. Розкажіть, що називається електрохімічним еквівалентом речовини.
12. Розбийте на складові частини процеси, які відбуваються в розчині на електродах під час електролізу.
13. Встановіть, яка різниця між носіями струму в електролітах і в газах.
14. Відтворіть головну причину наступного твердження: навколо електроліту, всередині якого є заряджені іони, не можна виявити електричного поля.
15. Висловіть свої думки з приводу того, яку величину в цій роботі слід вимірювати з найбільшою точністю.

ЕЛЕКТРИЧНИЙ СТРУМ В ГАЗАХ

Мета роботи: відпрацювати основні демонстрації при вивченні явища проходження електричного струму в газах, закріпити вміння працювати з обладнанням.

ТЕХНОЛОГІЯ І ТЕХНІКА ВИКОНАННЯ ЕКСПЕРИМЕНТІВ

1. Іонізуюча дія полум'я. Для демонстрування іонізуючої дії полум'я заряджають два електрометри однойменними зарядами і розсувають на відстань 1-2 м. До одного з приладів підносять запалений сірник, свічку або спиртівку і спостерігають швидке його розрядження. Якщо прибрати полум'я, розрядження припиняється і відновлюється лише при наближенні іонізатора. Другий контрольний електрометр зберігає свій заряд.

2. Іонізуюча дія високої напруги. Для демонстрування іонізуючої дії високої напруги і ролі форми вістря на борнах високовольтного перетворювача встановлюють два електроди у вигляді дисків. Розсуваючи електроди, добиваються такого стану, щоб іскра між дисками не проскакувала. Потім один із дискових електродів замінюють на електрод у формі вістря так, щоб відстань між ними залишилась незмінною і знову вмикають індуктор. При цьому спостерігають пробій повітряного проміжку між електродами.

3. Рекомбінація іонів. Процес іонізації завжди супроводжується оберненим йому процесом рекомбінації, тобто утворенням нейтральних атомів і молекул. Ці процеси відбуваються паралельно і, залежно від того, який з них переважає, провідність газу зростає або зменшується. Для демонстрування явища рекомбінації і відносно короткого часу існування іонів можна провести такий дослід. Основною частиною установки (рис. 1) є циліндрична металева труба. У верхній і нижній частинах труби по одній твірній циліндра просвердлюють два отвори, в які вставляють ебонітові пробки. Крізь пробки в трубу пропускають металеві стержні, що правлять за вловлювачі іонів. Кінці вловлювачів, що міс-

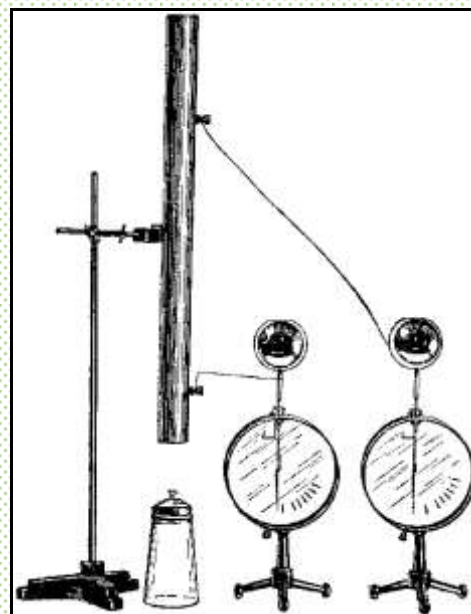


Рис. 1

тяться в трубі, згинають у вигляді букви Г і спрямовують уздовж осі труби. Трубу закріплюють у лапці штатива вертикально. До зовнішніх кінців вловлювачів приєднують кондуктори електрометрів. Електрометри заряджають однойменно так, щоб кути відхилення їх стрілок були однаковими. Після цього до нижнього отвору труби підносять запалену спиртівку. Продукти згоряння і нагріте повітря, яке містить іони, піднімаються по трубі вгору. Іони, осідаючи на вловлювачах, нейтралізують заряди електрометрів, і кут відхилення їх стрілок зменшується. Електрометр, під'єднаний до нижнього вловлювача, розряджається значно швидше, ніж той, що з'єднаний з верхнім вловлювачем. Це свідчить про те, що кількість іонів у нижній частині труби значно більша, ніж у верхній. Зменшення кількості іонів уздовж висоти труби пояснюється їх рекомбінацією.

4. Розрядження заряджених тіл вільними зарядами. Для демонстрування того, що наявність вільних електричних зарядів у електричному полі заряджених тіл спричинює їх розрядження, складають установку за *рис. 2*. Пластини розсувного конденсатора встановлюють на відстані 3–5 см і сполучають провідниками з електрометрами. У простір між пластинами опускають маятник – легеньку бузинову кульку, яка підвішена до капронової нитки довжиною 40–50 см. Пластини і сполучені з ними електрометри заряджають різнойменно. Кулька маятника, коливаючись між зарядженими пластинами, переносить з пластини на пластину заряди, різнойменні з знаком пластин, і тим самим розряджає електрометри.

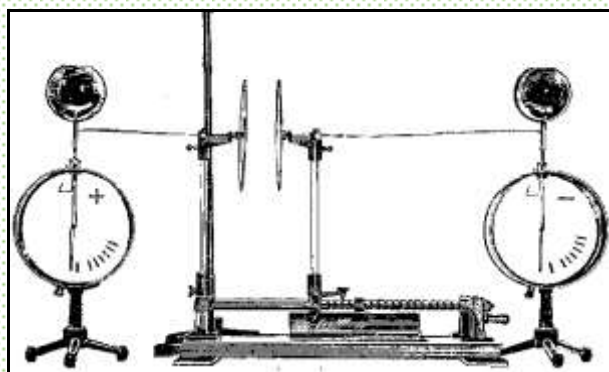


Рис. 2

5. Тихий розряд з електродів у формі вістря. Один з розведених кондукторів електрофорної машини заземлюють, а до другого прикріплюють загострену дротину. Поблизу від цього вістря встановлюють заряджений електрометр з кульовим кондуктором. Знак заряду електрометра повинен бути протилежним знаку заряду вістря машини. При приведенні в дію машини

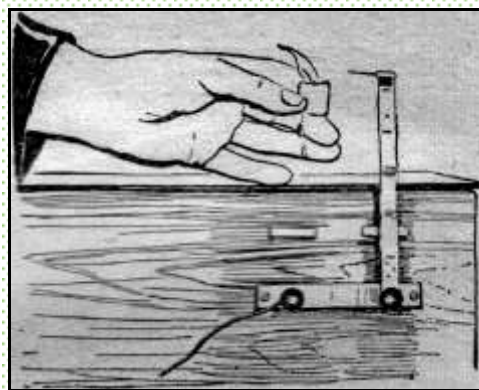


Рис. 3

спостерігають розрядження електрометра. Поверхнева густина електричних зарядів найбільша на загострених місцях зарядженого провідника, внаслідок чого повітря біля вістря іонізується. Утворювані іони, рухаючись, створюють «вітер», який називають електричним. Демонструють наявність “електричного вітру”, підносячи до вістря зовнішнього конуса кондуктора, сполученого з кондуктором працюючої електростатичної машини, полум'я свічки. «Вітер» відхиляє полум'я і гасить його. При використанні високовольтного генератора можна під його кондуктор затиснути алюмінієву пластинку, у зігнутий кінець якої затиснута швацька голка (рис. 3). Другий кондуктор генератора треба заземлити.

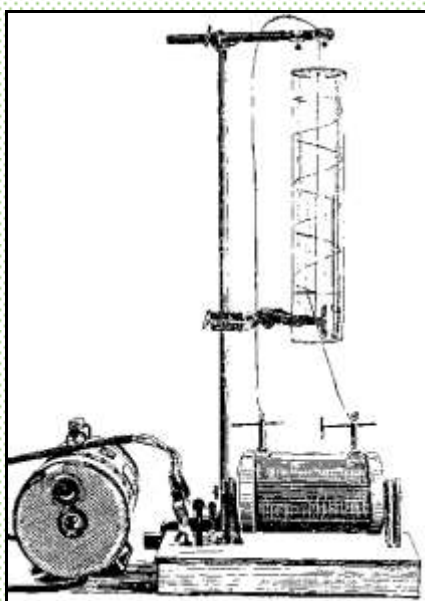


Рис. 4

6. Використання коронного розряду.

Цей дослід ілюструє принцип роботи електрофільтра. Крізь гумову пробку пропускають дві тонкі дротини так, щоб вони при закриванні банки пробкою не доходили до дна на 3–4 см. Зовнішні кінці дротин сполучають з розведеними кондукторами електрофорної машини або іншим джерелом високої напруги. Відкривши колбу, наповнюють її димом і знову закривають. Треба деякий час почекати, щоб впевнитись, що дим не зникає. Після цього приводять у дію машину і спостерігають швидке зникання диму. Дослід треба виконати два рази. Дію електрофільтра можна спостерігати за допомогою саморобної моделі (рис. 4).

7. Знімання фотографії коронного розряду. Характер коронного розряду легко показати в “зафіксованому” вигляді за допомогою такого досліду. Листок фотопаперу кладуть на скляну пластинку емульсією вгору. Кондуктори електрофорної машини опускають униз так, щоб вони доторкалися кульками до емульсії на відстані 4–6 см. Приводять машину в дію. Конденсатори машини краще вимкнути. Через 8–12 сек. фотопапір проявляють і фіксують звичайним способом. Утворена картина є фотографією коронного розряду (рис. 5).

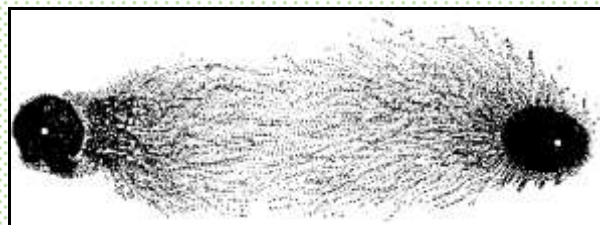


Рис. 5

8. Теплова дія іскри. На підйомний столик кладуть металеву коробочку, сполучену провідником з кондуктором електрофорної машини. Провідник від другого кондуктора закріплюють над коробочкою так, щоб його кінець був на відстані 5–7 мм від рівня ефіру або бензину, налитого в неї. Приводять в рух машину і спостерігають запалювання рідини в момент проскакування іскри.

9. Механічна дія іскри. В іскровий проміжок електрофорної машини або іншого джерела, що дає іскру довжиною 5–7 см, вносять аркуш чорного паперу (від конвертів для фотопаперу). Коли через папір станеться кілька розрядів, його затискують між двома скляними пластинками і демонструють отвори, пробиті в ньому іскрою у проекції на екран. Корисно ще до досліду показати таким самим способом, що отворів у папері немає.

10. Хімічна дія іскри. Під дією інтенсивної електричної іскри в повітрі утворюються двоокис NO_2 . Щоб продемонструвати це явище, виготовляють прилад для добування цієї сполуки. У двогорлу хімічну склянку через гумові пробки вводять два дріт'яні електроди (рис. 6). На електроди подають максимальну напругу від індуктора ІВ-100. Діставши потужну, але коротку іскру всередині банки, вмикають індуктор на неперервну роботу протягом 4–5 хв. У склянці з'являється бурий дим, який і є двоокисом азоту.

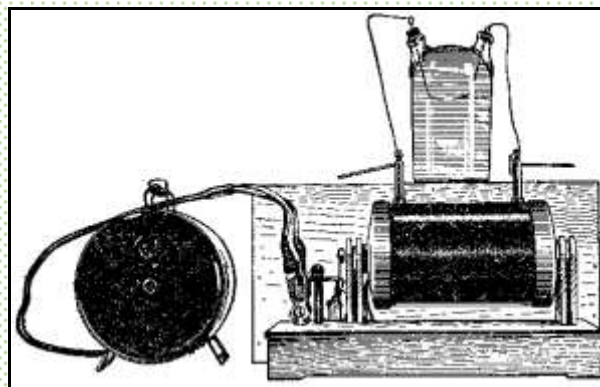


Рис. 6

11. Демонстрування електричної дуги. Для демонстрування того, що дуговий розряд може виникнути між металевими електродами, виконують такий дослід. На борни індуктора ІВ-100 встановлюють електроди спеціальної форми (рис. 7). Їх виготовляють з мідного або алюмінієвого дроту товщиною 2–3 мм. Відстань між електродами в нижній частині іскрового проміжку 10–15 мм. При вмиканні індуктора виникає дуговий розряд, який піднімається вгору, поступово розтягуючись; після згасання першої дуги утво-

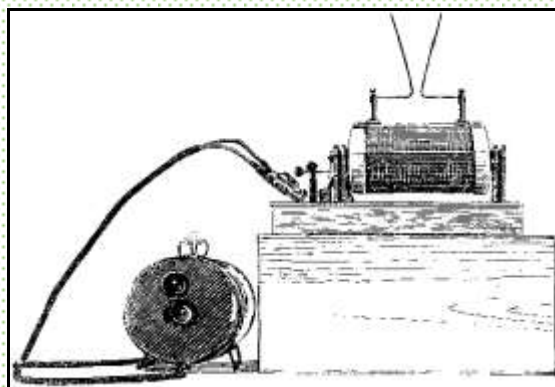


Рис. 7

рюється друга, яка поводить себе гак само, і т. д. Причиною піднімання розряду є вплив магнітного поля струму, що протікає по електродах, на струм самого розряду (дуги). Слід зазначити, що такого виду розрядники широко застосовуються для гасіння дуги, яка виникає в моменти розми-кання потужних електричних кіл.

12. Електрична дуга під водою. Для демонстрування електричної дуги під водою складають установку за рис. 8. Посудина для води повинна бути широка, а вода забарвлена. Один з електродів дуги, добре ізолюваний від штатива, опускають у воду на глибину 3–5 см. Другий електрод тримають у руці, узявшись за гумову трубку, надіту на його кінець. Вмикають струм у коло дуги і запалюють її звичайним способом. Величина струму не повинна бути занадто великою.

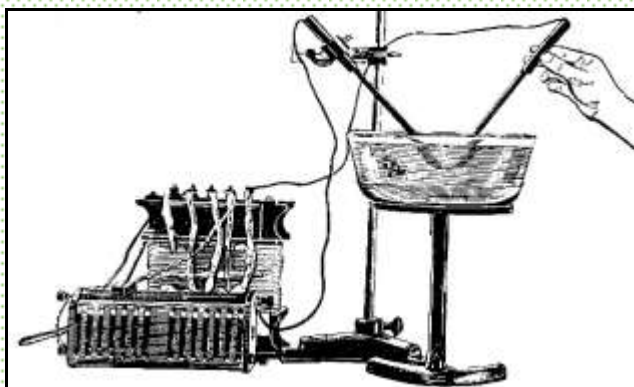


Рис. 8

13. Застосування тліючого розряду. Тліючий розряд застосовується в неонових лампах і газорозрядних трубках. Дію неонові лампи показують спочатку в колі постійного струму, потім у колі змінного струму (рис. 9). При виникненні тліючого розряду така лампа світиться. Під час

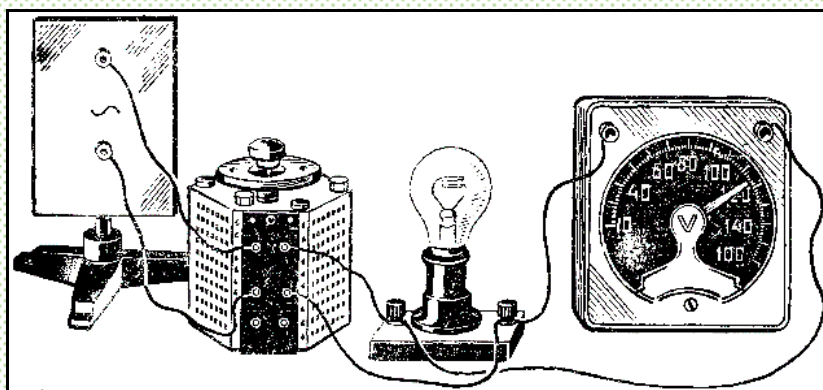


Рис. 9

проходження постійного струму світіння буде лише навколо одного електрода (анода), а при змінному струмі – навколо обох електродів. Напруга, при якій відбувається запалення лампи, називається напругою за-

палювання. Неонові лампи мають різне призначення та за конструкцією відрізняються одна від одної. Поряд з неоновими лампами показують гейслерові трубки. Це допомагає пояснити принцип дії світлових реклам з газорозрядними трубками.

Контрольні запитання

1. *Опишіть процес проходження електричного струму в газах.*
2. *Обґрунтуйте, що є носіями електричного струму в газах.*
3. *Що таке газовий розряд? Яких видів він буває?*
4. *Поясніть, за яких умов несамотійний розряд у газах перетворюється на самотійний.*
5. *Назвіть основні типи самотійного розряду, виділіть умови для їх проходження та їх головні відмінності.*
6. *Встановіть зміст понять «іонізація» та «рекомбінація».*
7. *Висловіть свої ідеї щодо того, що спільного та відмінного у таких явищ, як дисоціація молекул в електролітах та іонізація молекул в газах.*
8. *Встановіть, що називають плазмою?*
9. *Обґрунтуйте, чому втрати електроенергії на корону різко зростають при поганій погоді: великих туманах, дощах, снігопадах.*
10. *Як Ви думаєте, чи проходить електричний струм через тіла птахів, які сидять на оголених дротах ліній електропередач?*
11. *Охарактеризуйте наявність вільних зарядів в газах за нормальних умов, встановіть значення цього фактору для проходження самотійного розряду.*
12. *Поясніть, як вірно налаштувати дослід для спостереження дугового розряду.*
13. *Використовуючи матеріал даної роботи, опишіть можливі дії електричної іскри.*
14. *Обґрунтуйте, як зняти фотографію коронного розряду.*
15. *Змодельуйте демонстрацію китичного розряду.*

ЕЛЕКТРИЧНИЙ СТРУМ У ВАКУУМІ ТА РОЗРІДЖЕНИХ ГАЗАХ

Мета роботи: ознайомитись з методикою і технікою проведення дослідів при вивченні явища проходження електричного струму у вакуумі.

ТЕХНОЛОГІЯ І ТЕХНІКА ВИКОНАННЯ ЕКСПЕРИМЕНТІВ

1. Проходження електричного струму у розрідженому повітрі. Дослід з розрядною трубкою є основним при вивченні проходження електричного струму через розріджені гази. Для демонстрування розряду в газах при низькому тиску складають установку за *рис. 1*. Дослід виконують так. Спочатку утворюють стійку іскру довжиною 40-80 мм між електродами індуктора. Потім сполучають борни індуктора з електродами трубки і, увімкнувши його, демонструють іскру. Пояснюють, що в трубці іскра не виникає, бо відстань між її електродами більша, ніж між електродами індуктора, і напруга індуктора недостатня для іскрового пробою цієї відстані. Відкачують повітря з трубки і спостерігають, що при певному розрідженні (близько 40-45 мм рт. ст.) розряд між електродами індуктора припиняється, а починається розряд усередині трубки у вигляді дуже рухливого шнура червоно-фіолетового кольору. Продовжуючи відкачувати з трубки повітря, демонструють зміну зовнішнього вигляду розряду в ній залежно від тиску. Дуже бажано довести розрідження в трубці до такого, коли свічення повітряного стовпа в ній припиняється (близько 0,01 мм рт. ст.). Цього можна досягти за допомогою ротаційного масляного насоса. При такому розрідженні вже помітно початок розшарування світлого стовпа на так звані «страти», їх можна бачити, якщо дивитись поперек трубки. У процесі відкачування слід звертати увагу на різний характер свічення біля анода і катода. Для цього перемикач індуктора періодично кілька разів повертають на 180° , змінюючи полярність електродів трубки. Коли буде досягнуто максимального для насоса розрідження, слід затиснути шланг затискачем і зняти його кінець з розрядного штуцера насоса. Обережно відкручуючи затискач, щоб повітря

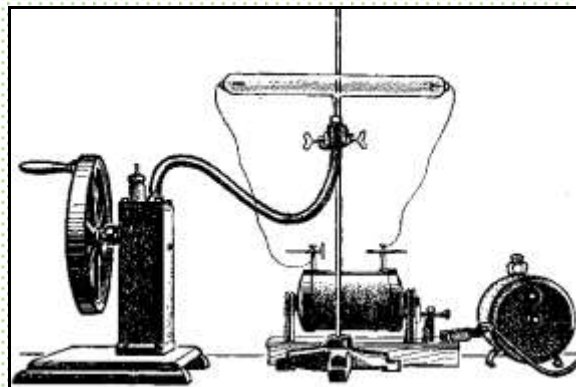


Рис. 1

натікало в трубку дуже повільно, демонструють зворотну зміну вигляду розряду при підвищенні тиску. Дослід виконують у затемненому приміщенні. Корисно показати, що шнур розряду – це потік заряджених частинок. Для цього треба піднести до трубки дуже сильний підковоподібний магніт. При цьому шнур вигинатиметься по-різному, залежно від напрямку магнітного поля і полярності електродів трубки.

2. Шкала пустот. У зв'язку з тим, що в навчальних закладах в основному є лише насоси Комовського, які дають розрідження порядку 5-3 мм рт. ст., показати розряд у газах при нижчому тиску можна тільки за допомогою шкали пустот (шкали Кросса). Вона є набором з шести

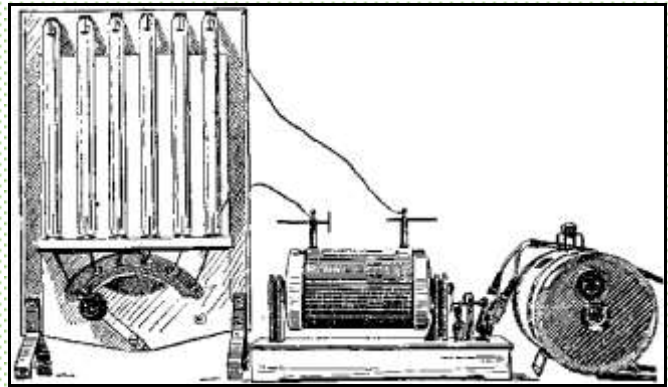


Рис. 2

(іноді з п'яти) трубок з двома електродами, змонтованих на спільному сто-яку (рис. 2). Кожна з трубок шкали містить розріджене повітря при різних тисках. Вмикаючи за допомогою перемикача, розташованого нижче трубок шкали, ту або іншу трубку, демонструють вигляд розряду залежно від тиску. Звичайно до набору входять трубки з такими розрідженнями:

- № 1 Тиск 8–10 мм. рт. ст. Свічення заповнює всю трубку і має малиново-жовтий колір. Біля катода воно має голубий відтінок. Виразно видно початок утворення страт, якщо дивитися поперек трубки.
- № 2. Тиск 3–4 мм рт. ст. Свічення біля анода має червонувато-жовтий колір, біля катода – голубий. Видно фарадеїв темний простір.
- № 4. Тиск 0,4–0,8 мм рт. ст. Темний катодний простір розширюється, катодне свічення стає більш яскравим, анодне свічення стає рожево-жовтим, чітко видні страти навіть при спостереженні збоку.
- №5 Тиск 0,2–0,1 мм рт. ст. Катодний темний простір поширюється майже на всю трубку, біля катода видно голубе свічення, віддалене від свічення на самому катоді (фіолетово-червоного кольору) темним проміжком. Страти розширюються і стають блідими.
- № 6 Тиск 0,02–0,01 мм рт. ст. Анодне свічення зникає, простір біля катода світиться дуже слабким голубим світлом стінки трубки проти катода світяться зеленуватим або голубуватим світлом.

3. Свічення гейслерових трубок. Щоб показати використання анодного свічення в розрідженому газі, використовують трубки Гейслера. Тиск газу в таких трубках – 1-4 мм рт. ст. Кілька трубок, заповнених різними газами, сполучають короткими дротинками послідовно і підвішують на ізоляційному штативі (рис. 3). Вмикають індуктор і демонструють їх свічення. Колір свічення різних газів при тиску 2–8 мм. рт. ст.: аргон – темно-червоний; гелій – червоно-оранжевий з фіолетовим відтінком; неон – червоно-оранжевий з жовтуватим відтінком; азот – жовтий; кисень – жовтий з рожевою серединою; водень – рожевий; пара ртуті – зеленуватий; повітря – малиново-жовтуватий.

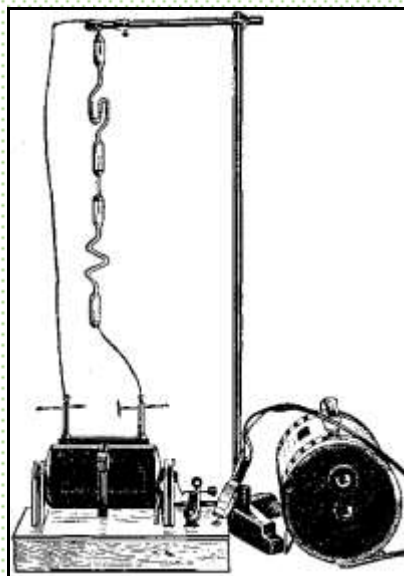


Рис. 3

4. Свічення безелектродних трубок. Дуже цікаву і ефектну картину дає свічення безелектродних трубок у високочастотному електромагнітному полі. Трубки для демонстрування цього явища не мають ніяких електродів і містять газ при тиску 8–15 мм. рт. ст. Щоб продемонструвати явище, трубки розташовують у просторі поблизу верхнього кінця вторинної обмотки високочастотного трансформатора, тримаючи їх просто в руці (рис. 4). До комплекту безелектродних трубок входять три трубки: пряма, зигзагоподібна і у вигляді кільця з ручкою.

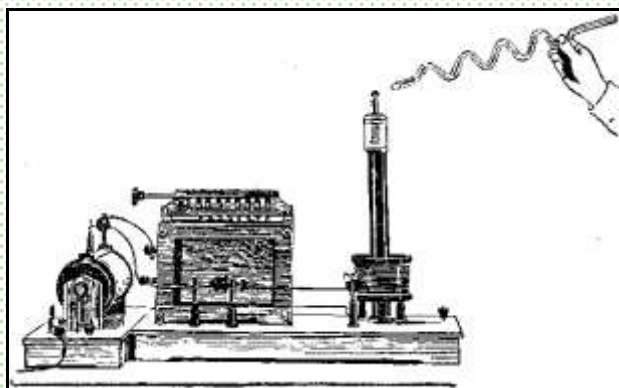


Рис. 4

5. Люмінесцентна лампа. Люмінесцентна лампа, або лампа денного світла (рис. 5), є скляною трубкою, на торцях якої є вольфрамові нитки розжарювання (катоди), покриті оксидами. Внутрішня поверхня трубки покрита люмінофором. Всередині трубки є аргон та пари ртуті при тискові порядку 0,01 мм. рт. ст. Коли нитка розжарювання нагрівається, вона випускає електрони. Якщо до трубки прикласти напругу, то виникне розряд. Розряд в парах ртуті та аргону супроводжується ультрафіолетовим випромінюванням. Ці промені викликають свічення люмінофора, яке ми бачимо.

Самі ж ультрафіолетові промені поглинаються склом трубки. Спектр люмінофорного світла близький до спектру денного світла. Нитки розжарювання лампи з'єднані між собою послідовно, але струм через них повинен проходити дуже не довгий час (максимально 2–3 с), в іншому випадку нитки погорять. Для автоматичного замикання та розмикання струму, що проходить через нитки розжарювання лампи, застосовують спеціальний пристрій, який отримав назву стартера. Схема вмикання лампи денного світла приведена на *рис. 6*.

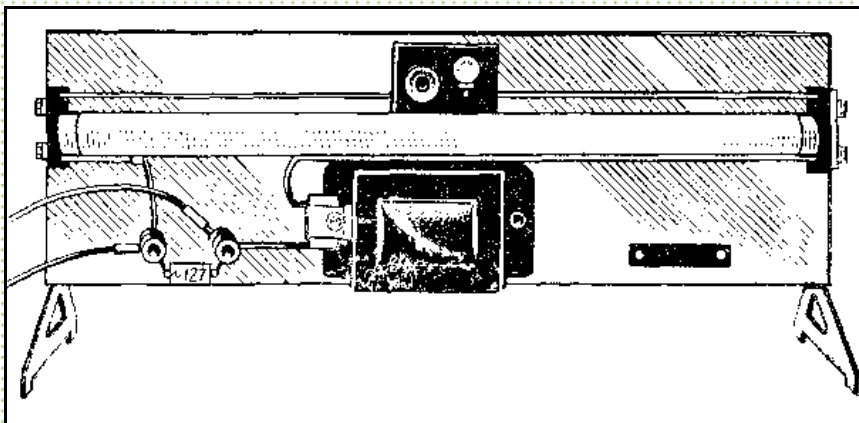


Рис. 5

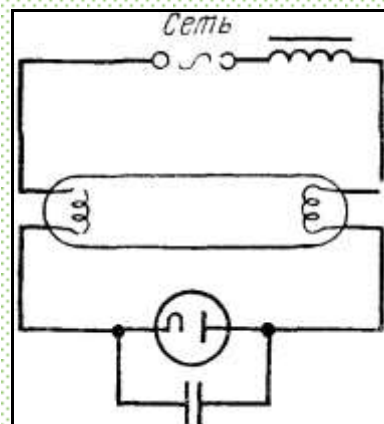


Рис. 6

6. Демонстрування явища термоелектронної емісії. Балон звичайної лампи розжарення потужністю 15–40 Вт старанно миють, висушують, а потім наполовину обгортають або обклеюють станіолем. Станіоль провідником сполучають з електрометром (*рис. 7*). Електрометр заряджають позитивним зарядом. Вмикають електричну лампочку і спостерігають розрядження електрометра. Роблять висновки.

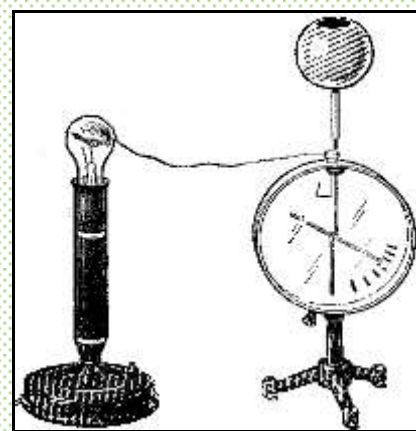


Рис. 7

7. Будова та принцип дії вакуумного діода. Розглядають будову демонстраційного вакуумного діода. Для наочності лампу можна спроектувати на екран. На рисунку 24.8, а зображений зовнішній вигляд діода, на *рисунку 8, б* – установка діода в проекційному апараті. Електроди – катод 1 і анод 2 – знаходяться в скляному балоні 3, який має форму циліндра. В балоні високий вакуум, порядку 10^{-6} мм рт. ст. В лампі катод прямого розжарення. Це тонкий вольфрамовий дріт, скручений в спіраль. Кінці нитки розжарення приварені до двох опор 4, які виведенні на зовні і приєднанні до

гвинтових затискачів 5 на цоколі, закріпленому на опорному стержні. Анод діода – плоский диск із тугоплавкого матеріалу. Відстань між катодом і анодом близько 10 мм. Під'єднаний анод до виводу зверху балона з гвинтовим затискачем.

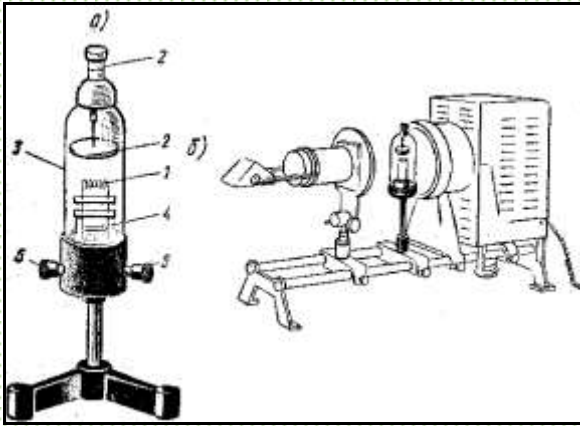


Рис. 8

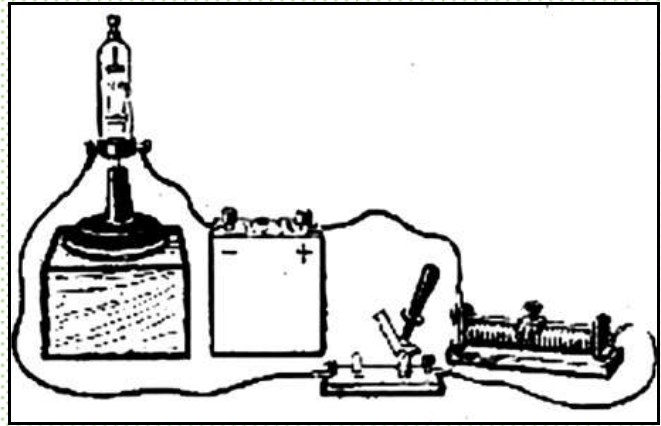


Рис. 9

Для живлення демонстраційного діода потрібно подати напругу 6,3 В і забезпечити, щоб сила струму в колі була 1,5 – 2 А. Для цього збирають коло з батареї акумуляторів, реостата (10 Ом, 2 А), ключа і нитки розжарення лампи. При вмиканні кола за допомогою реостата доводять катод до яскраво-червоного світіння. Силу струму в колі розжарення не вимірюють. На *рисунку 9* зображена установка для демонстрації розжарення катода.

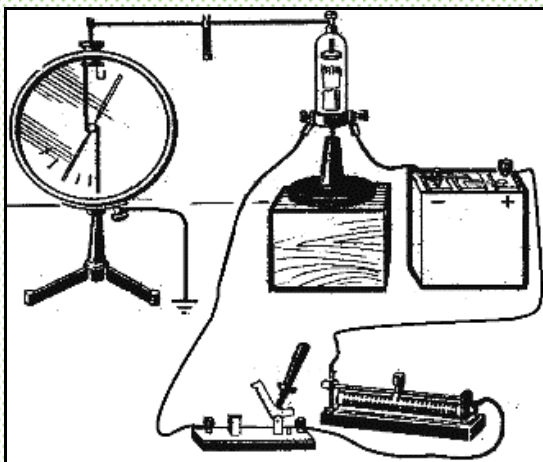


Рис. 10

Установка для демонстрації термоелектронної емісії у вакуумному діоді зображена на *рисунку 10*. Заряджають додатнім зарядом електрометр. Деякий час спостерігають, що електрометр зберігає заряд. Далі вмикають коло розжарення і помічають, що при нагріванні нитки електрометр швидко розряджається. Пояснюють дане явище тим що розжарена нитка випускає електрони, які під дією електричного поля

всередині лампи рухаються до цієї пластини і нейтралізують її заряд. Повторюють дослід, зарядивши електрометр негативно. Тепер при вмиканні розжарення лампи електрометр не розряджається. Дана демонстрація підтверджує, що частинки, які випромінює нитка розжарення, мають негативний заряд.

8. Одностороння провідність діода. Збирають установку за *рис. 11*. Для розжарення катода користуються змінним струмом (6,3 В). Це дає можливість підкреслити, що емісія електронів не залежить від того, яким способом розжарювати катод.

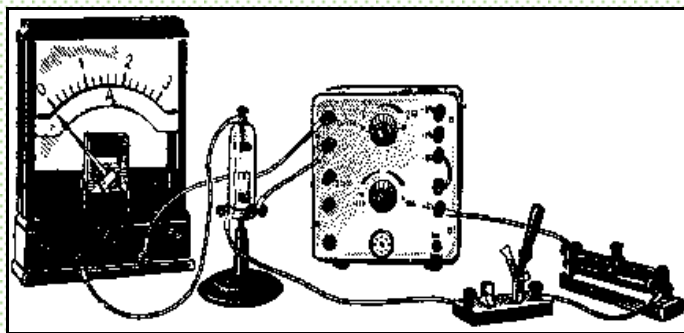


Рис. 11

Спочатку, не вмикаючи коло розжарення, подають напругу в анодний ланцюг лампи і звертають увагу учнів на те, що гальванометр не відзначає струму. Високий вакуум є хорошим ізолятором. Потім замикають коло розжарення і спостерігають появу струму в анодному колі при розжареному катоді. Поступово збільшують розжарення нитки і спостерігають збільшення анодного струму внаслідок збільшення термоелектронної емісії. Після цього перемикають полюси джерела струму в анодному колі, тобто до анода приєднують негативний полюс випрямляча, а до катода – позитивний. Звертають увагу, що тепер при будь-якому розжаренні нитки катода струм в анодному ланцюзі відсутній.

9. Зняття вольт-амперної характеристики вакуумного діода. Перед виконанням досліду збирають установку (*рис. 12*). Замикають коло і за допомогою реостата доводять розжарення діода до яскраво-червоного свічення (*рис. 13*). При цьому ручку потенціометра ставлять в таке положення, щоб стрілка вольтметра знаходилася на нулі. Потім, не змінюючи розжарення катода, збільшують напругу в анодному ланцюзі до 10 В і за допомогою гальванометра фіксують величину анодного струму. Збільшують анодну напругу ще на 10 В і знову відзначають величину струму. Продовжуючи дослід, доводять напругу до 80 – 100 В. За отриманими даними будують графік зміни струму в анодному колі залежно від зміни напруги. Самостійно проаналізуйте одержаний графік.

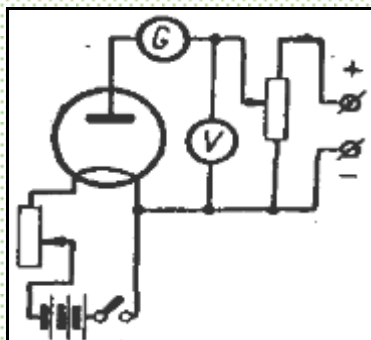


Рис. 12

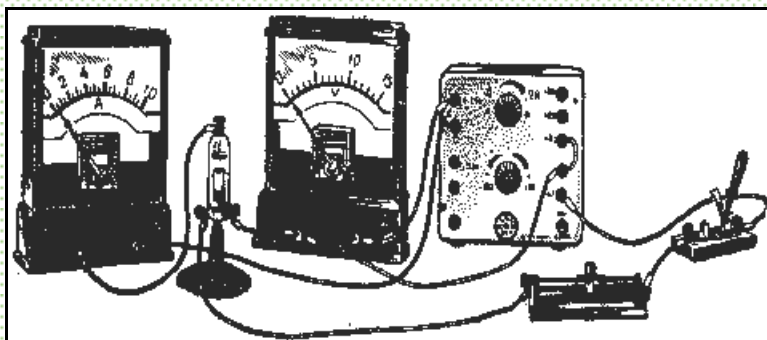


Рис. 13

10. Будова та принципу дії електронно-променевої трубки. За допомогою макета розглядають будову електронно-променевої трубки (рис. 14, 15). Відмічають, що в електронно-променевої трубки з електростатичним управлінням є дві пари пластин, що відхиляються, розміщених під прямим кутом одна до другої. Між пластинами створюють електричне поле, яке і діє на пролітаючі електрони. Електрони в полі рухаються по параболам, а вийшовши за межі поля, продовжують прямолінійний рух за інерцією. Далі розглядають відхиляючі пластини трубки. Можна підвести живлення до трубки і спостерігати на екрані крапку, яка світиться. Після цього на першу пару пластин (горизонтального відхилення) подають напругу 200-250 В від випрямляча. Пляма на екрані при цьому зміщується по горизонталі на 5-6 см. Змінюють полярність і переконуються, що промінь відхиляється в інший бік. Далі аналогічні досліди проводять з вертикальними пластинами.

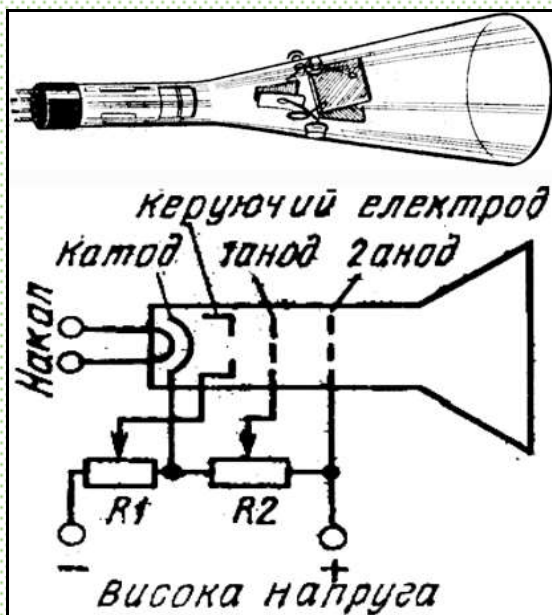


Рис. 14

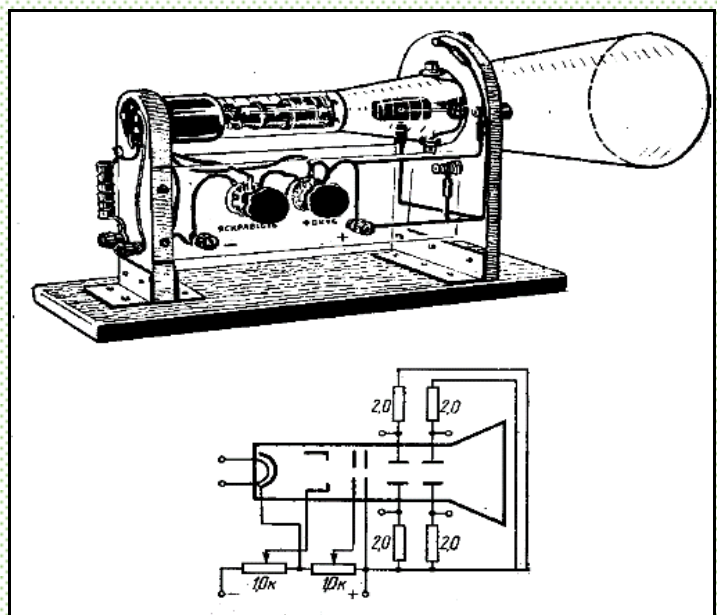


Рис. 15

11. Катодні промені (Через шкідливість досліду рекомендуємо його опис лише для теоретичного ознайомлення!). Проводячи досліди з проходження електричного струму в розріджених газах виявили свічення скла розрядної трубки за анодом. На світлому фоні скла, що світиться була видна тінь від аноду (рис. 16), так ніби свічення скла викликається якимось невидимим випромінюванням, яке прямолінійно поширюється від катода до анода. Це невидиме випромінювання назвали катодними променями. Щоб продемонструвати свічення скла під дією катодних променів, в лабораторії складали таку саму установку, як для досліду з шкалою пус-

тот, і переконались, що в трубці № 6 свічення газу не спостерігалось, але світиться скло трубки, особливо ті її частини, які містяться проти катода. Явище, що спостерігається називається катодолюмінесценція. Свічення різних речовин під дією катодних променів можна продемонструвати за допомогою спеціальної трубки, в яку вміщено різні мінерали (рис. 17). Під час виконання досліду перемикач індуктора слід кілька разів повернути на 180° щоб підсвітити мінерали з двох боків. Свічення деяких речовин під дією катодних променів використовують у приладах, які мають екрани, покриті цими речовинами. Світний слід променів на екрані дає можливість зробити їх «видимими» і полегшує вивчення їх властивостей. Катодні промені легко затримати, поставивши на їх шляху непрозорі екрани.

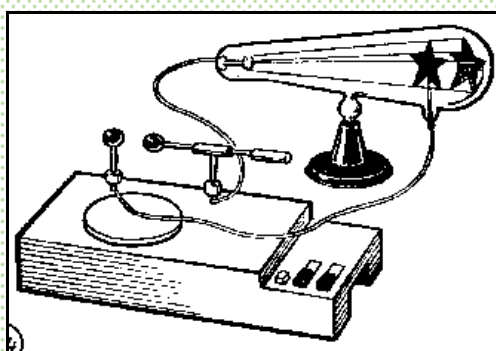


Рис. 16

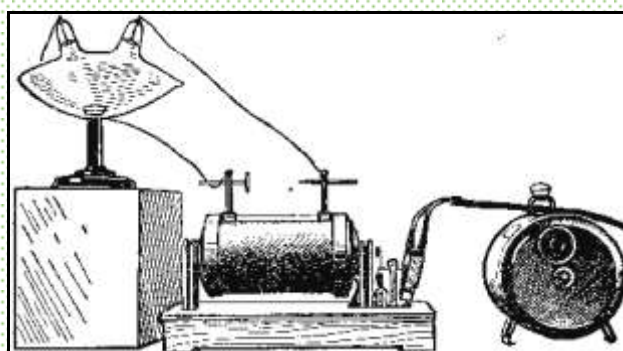


Рис. 17

12. Прямолінійність поширення катодних променів (Через шкідливість досліду рекомендуємо його опис лише для теоретичного ознайомлення!). За допомогою цього досліду довели, що джерелом катодних променів є електрод, сполучений з від'ємним полюсом джерела струму, катодні промені поширюються прямолінійно, проникна здатність катодних променів невелика. Для проведення досліду складали установку за рис. 18 (без магніту). Так можна спостерігати свічення скляного екрана трубки під дією катодних променів. Потім зірку встановлювали вертикально і демонстрували її тінь на склі трубки. Оскільки тіньове зображення зірки точно повторює її форму, то зробили висновок про прямолінійність поширення катодних променів, а це означає, що джерелом катодних променів може бути лише той електрод, який розташований

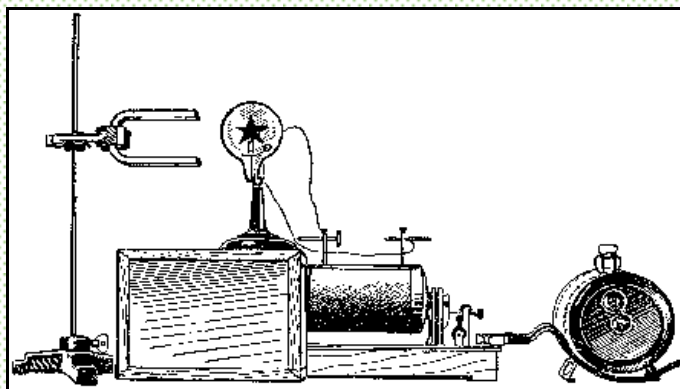


Рис. 18

проти зірки (катод), бо анод трубки міститься в нижній її частині. Крім того, виникнення тіні від зірки свідчить, що матеріал, з якого вона виготовлена, непрозорий для катодних променів.

13. Механічна дія катодних променів (*Через шкідливість досліду рекомендуємо його опис лише для теоретичного ознайомлення!*).

Щоб довести, що катодні промені є потік частинок, які мають певну масу, виконали дослід (рис. 19). Трубка з млинком або, як її називають, «метелик» є вакуумна трубка, яка має легкий млинок, установлений так, що

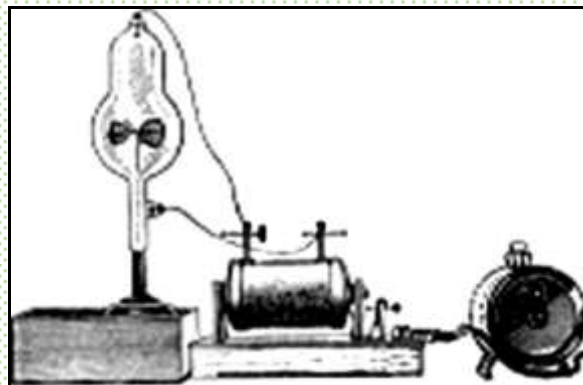


Рис. 19

він може обертатися з малим тертям навколо вертикальної осі (на вістрі голки). Крила млинка повернуті на невеликий кут відносно напрямку поширення катодних променів. Під їх дією млинок починає обертатися, весь час прискорюючи свій рух. Обертання млинка і є доказом того, що катодні промені мають масу. Можна прийти до висновку, що катодні промені можна вважати потоком частинок, які мають певну масу.

Катодні промені також спричиняють **теплову дію** (Подумайте як це можна продемонструвати).

14. Визначення знаку заряду частинок, з яких складаються катодні промені (*Через шкідливість досліду рекомендуємо його опис лише для теоретичного ознайомлення!*).

Щоб визначити знак заряду катодних променів за допомогою рентгенівської трубки, знімають провідник, що сполучає анод трубки з антикатодом, потім анод і катод трубки сполучили з відповідними борнами індуктора, а антикатод – з електрометром (рис. 20). Після цього вмикають індуктор на короткий час і спостерігають, що стрілка електрометра швидко відхиляється. Від'єднавши трубку, досліджують знак заряду електрометра, який завжди буде від'ємним. З

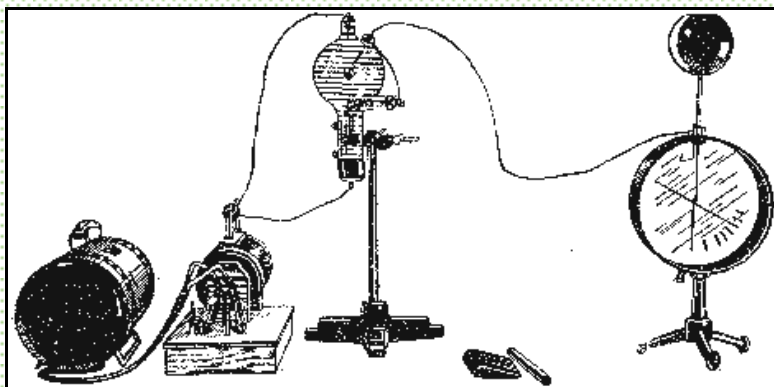


Рис. 20

цього роблять відповідний висновок про знак заряду частинок, що утворюють катодні промені. Якщо є трьохелектродна катодна трубка, дослід можна виконати аналогічно: потік катодних променів повинен падати на електрод, сполучений з електрометром.

Контрольні запитання

1. Виділіть основні характеристики розряджених газів та виділіть головні особливості проходження струму в них.
2. Як можна продемонструвати проходження струму у розрядженому повітрі?
3. Поясніть, що таке шкала пустот та як її спостерігати.
4. Опишіть процес свічення Гейслерових трубок.
5. Обґрунтуйте, як протікає дослід для свічення безелектродних трубок.
6. Опишіть будову та принцип дії лампи денного світла.
7. Поясніть механізм проходження електричного струму у вакуумі.
8. Обґрунтуйте, з якою метою в електронно-променевих трубках та електронних лампах створюють вакуум?
9. Поясніть зміст поняття «термоелектронна емісія», встановіть, як її продемонструвати.
10. Висловіть свої припущення, чи справджується закон Ома для ділянки кола катод-анод електровакуумного діода?
11. Встановіть, чи пов'язаний струм насичення із струмом розжарення катода? Якщо так, то як цю залежність можна пояснити?
12. Встановіть, чи буде проходити струм у колі, якщо катод лампи нагрітий і анод лампи з'єднати через гальванометр з катодом без джерела струму. Чому?
13. Поясніть, чому із збільшенням напруги існує струм насичення (на відміну від провідників)?
14. Чи залежить внутрішній опір лампи від напруги розжарення?
15. Наведіть приклади використання явища проходження електричного струму у вакуумі та розряджених газах.

ЕЛЕКТРИЧНИЙ СТРУМ У НАПІВПРОВІДНИКАХ

Мета роботи: ознайомитись з набором напівпровідникових приладів та методикою і технікою проведення навчального експерименту при вивченні властивостей та застосувань напівпровідників.

ТЕХНОЛОГІЯ І ТЕХНІКА ВИКОНАННЯ ЕКСПЕРИМЕНТІВ

1. Одностороння провідність напівпровідникового діода. Односторонню провідність електронно-діркового переходу можна продемонструвати за допомогою установки (рис. 1). Діод вмикають у прохідному напрямку і підбирають величину опору з таким розрахунком, щоб стрілка гальванометра відхилилась приблизно до кінця шкали. Величина опору залежить від чутливості гальванометра і напруги джерела струму. Якщо застосовують саморобну панель з діодами, постійний опір зручно вмикати між клемми K4 і K5 (див. рис. 2). Демонструють, що при вмиканні діода в прохідному напрямі струм у колі відхиляє стрілку гальванометра приблизно до кінця шкали, а при зміні полярності прикладеної до діода напруги, тобто при вмиканні діода в непрохідному напрямі, струм у колі практично дорівнює нулю.

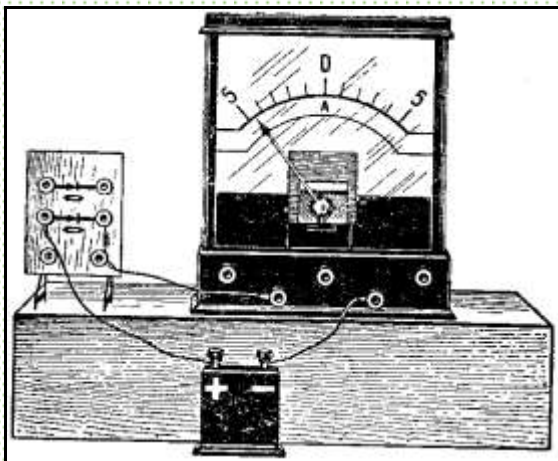


Рис. 1

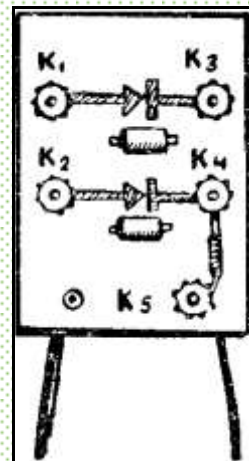


Рис. 2

2. Випрямлення змінного струму напівпровідниковим діодом. Після демонстрування односторонньої провідності напівпровідникового діода треба показати випрямлення діодом змінного струму. Щітки магнітоелектричної машини ставлять на кільця для одержання змінного струму. Спочатку складають коло за схемою рис. 3, повільно обертаючи якорь магнітоелектричної машини, демонструють коливання стрілки гальванометра

навколо нульового положення, що свідчить про наявність у колі змінного струму. Послідовно з опором у коло вмикають напівпровідниковий діод (рис. 4) і, обертаючи якір, помічають, що стрілка відхиляється в один бік. Це свідчить про випрямлення діодом змінного струму. Якщо перемкнути дроти, які підводять струм до діода, то напрям відхилення стрілки гальванометра змінюється на протилежний. При повільному обертанні якоря машини можна помітити невеликі коливання стрілки гальванометра навколо ненульового її положення, що доводить наявність пульсацій випрямленого струму.

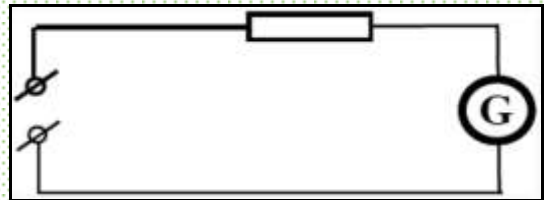


Рис. 3

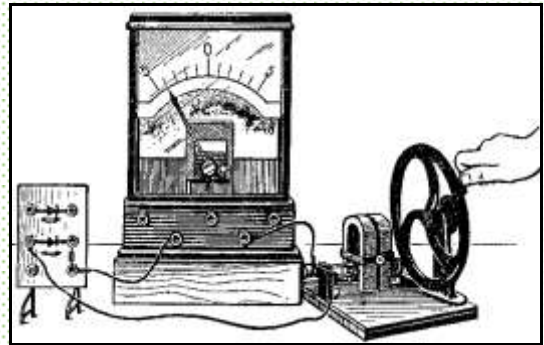


Рис. 4

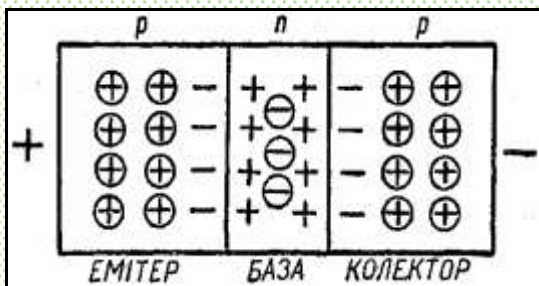


Рис. 5

3. Дія напівпровідникового термоелемента. Гальванометр з малим внутрішнім опором сполучають спочатку з кінцями бруска з електронною провідністю (середню і праву клеми демонстраційного термоелемента сполучають з клемми гальванометра). Обережно, щоб не розплавити олова, яким сполуч-

ну пластину припаяно до верхніх кінців брусків, нагрівають сполучну пластину і верхні кінці брусків не дуже гарячим паяльником (рис. 5). Спостерігають відхилення стрілки гальванометра. Знаючи, як залежить напрям відхилення стрілки від полярності прикладеної напруги, встановлюють, що холодний кінець бруска з електронною провідністю має негативний потенціал, а гарячий – позитивний.

Вмикають брусок з дірковою провідністю, для чого дріт, що був затиснутий під праву клему термоелемента, затискують під ліву його клему. Напрямок відхилення стрілки гальванометра змінюється на протилежний, отже, напруга на кінцях бруска з дірковою провідністю має протилежну полярність – холодний кінець бруска має позитивний потенціал, а гарячий – негативний.

4. Наявність двох р-п переходів у транзистора. Внутрішня будова транзистора показана на *рис. 6*. Кожний транзистор має два р-п переходи. Показати це можна, склавши електричні кола за схемою *рис. 7, а, б*. Спочатку демонструють наявність р-п переходу між емітером і базою транзистора П14 (П13, П15). Ці транзистори, як було сказано, належать до р-п-р типу, через що емітер і колектор будь-якого з цих транзисторів мають діркову, а база – електронну провідність (*рис. 6*). Емітер-базовий перехід має менший опір, бо емітер сполучено з плюсом джерела напруги, а базу – з його мінусом. Цей напрям для емітер-базового переходу є прохідним. Це демонструють, склавши коло за схемою *рис. 7, а*. Змінюючи опір R , добиваються відхилення стрілки гальванометра на всю шкалу при вмиканні емітер-базового переходу в прохідному напрямі. Спочатку демонструють, що емітер-базовий перехід добре проводить струм при під'єднанні до емітера плюса, а до бази мінуса джерела струму (*рис. 8*). Змінюють полярність під'єданого джерела і показують, що в цьому разі струм набагато менший. Звідси роблять висновок про наявність між емітером і базою транзистора р-п –переходу, для якого напрям від емітера до бази є прохідним.

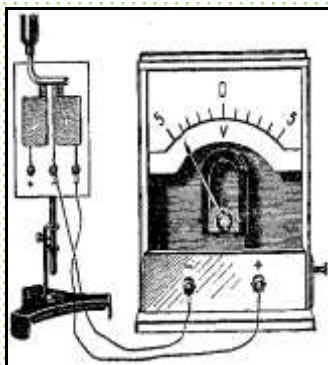


Рис. 6

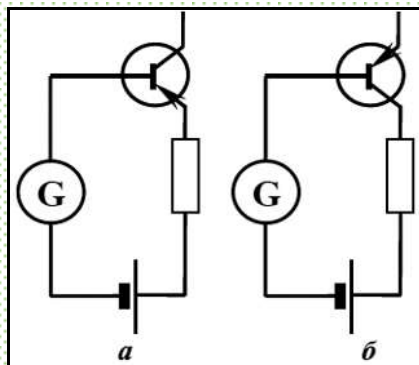


Рис. 7

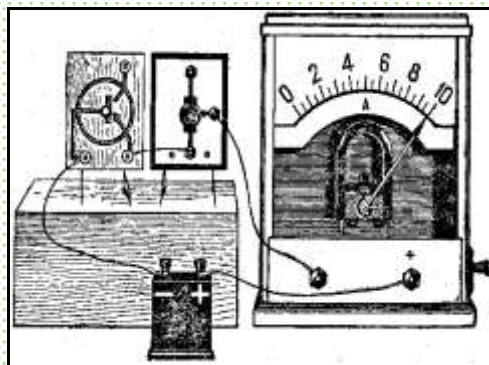


Рис. 8

Аналогічним способом, склавши коло за схемою *рис. 7, б*, демонструють наявність р-п – переходу між колектором і базою транзистора. Для цього переходу прохідним є напрям, при якому колектор сполучено з плюсом, а базу з мінусом джерела струму. При протилежній полярності прикладеної до колектор-базового переходу напруги він вмикається в заперітному напрямі і струм у колі буде дуже малий.

5. Керування колекторним струмом транзистора зміною струму його бази. Цей дослід дає можливість показати, те що незначні зміни струму бази транзистора зумовлюють набагато більші зміни колекторного струму при вмиканні транзистора за схемою із спільним емітером. Дослід методично цінний тим, що на його підставі можна пояснити використання транзистора для генерування електричних коливань і для їх підсилення.

Для досліду використовують установку (рис. 9), складену за схемою, поданою на рис. 10. До емітера і колектора, змонтованого на вертикальній панельці з клемами транзистора П14, під'єднують послідовно сполучені джерело постійного струму з напругою 3–5 В і демонстраційний гальванометр. Послідовно з емітер-базовим переходом транзистора вмикають гальванічний елемент, баластний опір $R_1=1,8$ кОм, змінний опір з номінальним значенням 33 кОм і вимикач. Плюси обох джерел струму сполучають з емітером. При цьому емітер-базовий перехід буде ввімкнено в прохідному напрямі. Демонструють, що при відсутності струму в емітер-базовому переході колекторний струм зовсім малий. Якщо, замкнувши вимикач, подати на емітер-базовий перехід напругу, то виникає струм бази, величина якого невелика, оскільки послідовно з емітер-базовим переходом увімкнений значний опір. Цей струм спричинює незначне відхилення стрілки гальванометра. Одночасно з цим колекторний струм набагато збільшується, що фіксується другим гальванометром. Змінюючи величину струму бази, спостерігають відповідні зміни струму колектора. Зміни величини струму бази невеликі, бо вони обмежені значним опором, увімкненим послідовно з емітер-базовим переходом, і спричиняють незначні зміни положення стрілки гальванометра Г1, а відповідні їм зміни колекторного струму, фіксовані гальванометром Г2, перевищують зміни струму бази в десятки разів.

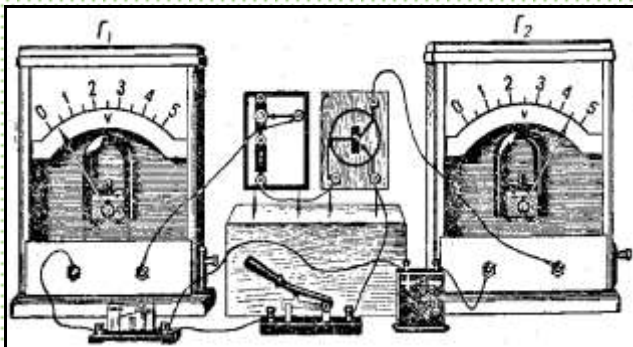


Рис. 9

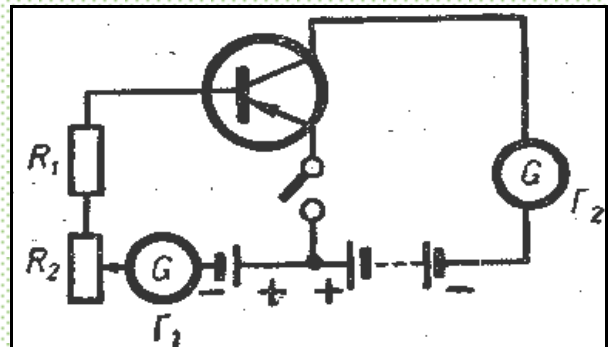


Рис. 10

Відношення зміни колекторного струму до відповідної зміни струму бази при сталій напрузі на колекторі називають коефіцієнтом підсилення транзистора за струмом. Звертають увагу на можливість використання транзистора, для підсилення як змінного, так і постійного струмів.

6. Зняття вольт амперної характеристики напівпровідникового діода. Напівпровідниковий діод це – напівпровідниковий прилад з одним р-п переходом, який має два відводи. Виготовляючи напівпровідникові діоди, здебільшого достають р-п переходи методом сплавлення. За основу

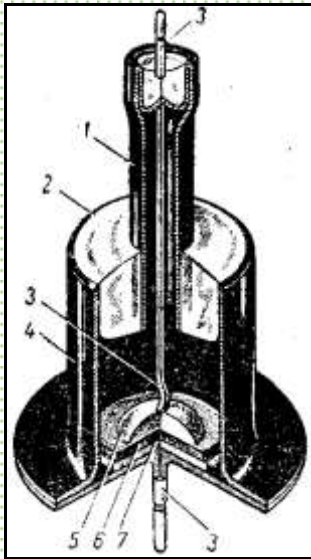


Рис. 11

беруть пластинку германію n-типу, на яку зверху кладуть шматочок індію. Після того пластинку германію разом із шматочком індію нагрівають у печі до 450-500°C. При цьому германій і індій сплавляються, і після охолодження утворюється тонкий шар германію, збагачений індієм, – германій р-типу, який у місці контакту з германієм n-типу утворює р-n перехід. До індію і до нижньої частини германію оловом припаюють контакти. На рис. 11 показано будову напівпровідникового діода Д7Ж. Діод треба вмирати в електричне коло відповідно до його полярності. Прямий (пропускний) напрям збігається з напрямом стрілки в умовному позначенні діода.

Основною характеристикою діодів є вольт амперна характеристика, яка показує залежність значення сили струму, що проходить через діод, від значення прикладеної до діода напруги. Електрична схема для зняття вольт амперної характеристики діода при прямому струмі показана на рис. 12, а, а при зворотному струмі на рис. 12, б. Схеми відрізняються тим, що міліамперметр увімкнено в різні ділянки кола. Це зроблено для того, щоб зменшити похибки вимірювання внаслідок неврахування опорів вольтметра і міліамперметра.

Визначити і записати в таблицю характеристики засобів вимірювань, що використовуються в роботі. Скласти електричне коло за схемою, зображеною на рис. 12, а. Повзунок реостата встановити в крайнє нижнє положення, вольтметр увімкнути на діапазон вимірювання 0-3 В, а міліамперметр – спочатку на 0-7,5 мА, а потім (із зростанням сили струму) на 0-15 мА і 0-30 мА. Після перевірки електричного кола, замкнути ключ. Змінювати реостатом напругу на діоді від 0 до 0,3 В. Через кожні 0,05 В знімати покази вольтметра і міліамперметра, результати вимірювань занести в таблицю.

Скласти електричне коло за схемою, поданою на рис. 12, б. Повзунок реостата встановити в крайнє положення, вольтметр увімкнути на діапазон вимірювання 0-15 В, а міліамперметр – на 0-1,5 мА.

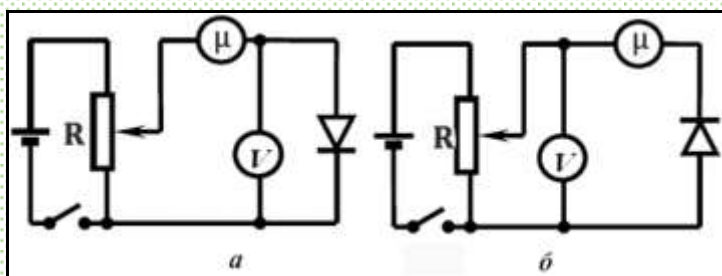


Рис. 12

Після перевірки замкнути ключ. Змінювати реостатом напругу на діоді від 0 до 7 В. Через кожні 0,5 В знімати по-

кази вольтметра і міліамперметра. Результати вимірювань записати в таблицю.

За результатами спільних вимірювань напруги на діоді і сили струму, що проходить через діод, побудувати графік залежності сили струму від прикладеної напруги (вольт амперну характеристику). Проаналізувати одержаний графік. Зробити висновки.

Вказівка. По вертикальній осі відкласти силу струму в діоді, а по горизонтальній – прикладену до нього напругу. Прямий струм і пряму напругу вважати додатними, а зворотний струм і зворотну напругу – від’ємними.

7. Робота транзистора в схемі електронного ключа.

На *рис. 13, а* наведена принципова схема, в якій транзистор р-п-р типу використовується для вмикання кола, умовно зображеного лампочкою. Як видно із схеми, джерело ввімкнене в коло база—емітер транзистора через резистор позитивним полюсом до бази. Це привело до

того, що напруга електричного поля і ширина області емітерного переходу збільшилась. Транзистор закритий: дірки не можуть пройти через електричне поле емітерного електронно-діркового переходу. Струму в колі емітер-колектор немає (*рис. 13, б*).

Якщо на ділянку база-емітер подати від’ємний імпульс напруги, то напруженість електричного поля та ширина області емітерного переходу зменшаться і, доки буде діяти від’ємний імпульс напруги, транзистор буде відкритий.

На *рис. 14* показано демонстраційну схему, за допомогою якої можна показати принцип роботи транзистора в схемі електронного ключа. Приєднавши до переходу база-емітер одиничний елемент ЕРС 1 В, демон-

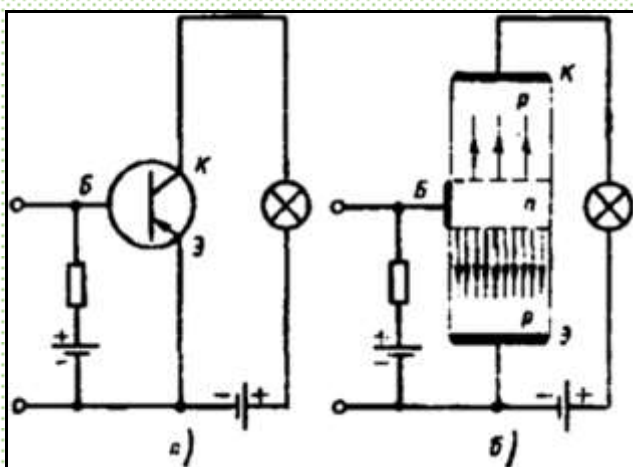


Рис. 13

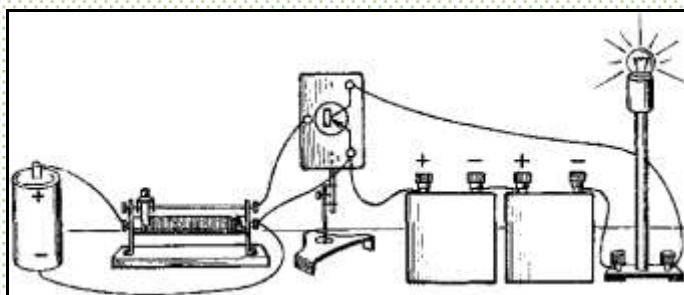


Рис. 14

струють, що лампа, розрахована на напругу 6,3 В, включена в коло колектора, яскраво засвітилася.

8. Робота транзистора в схемі підсилення. Існують три можливих способи підключення напівпровідникових тріодів для отримання ефекту підсилення: з спільною базою, з спільним емітером, з спільним колектором. Найбільш простою для розуміння є схема з спільним емітером (рис. 15). Для демонстрації ефекту підсилення збирають установку за схемою, яка зображена на рис. 16.

Змінюючи освітленість фотоелемента, впевнюються, що струм бази змінюється несуттєво, а струм в колі колектор-емітер дуже сильно. Опори R_1 та R_2 залежить від даних фотоелемента, що використовується.

Забравши з кола гальванометри, вмикають між колектором та емітером поляризоване реле РП-4 і демонструють роботу фотореле з попереднім підсиленням вхідного сигналу напівпровідниковим тріодом.

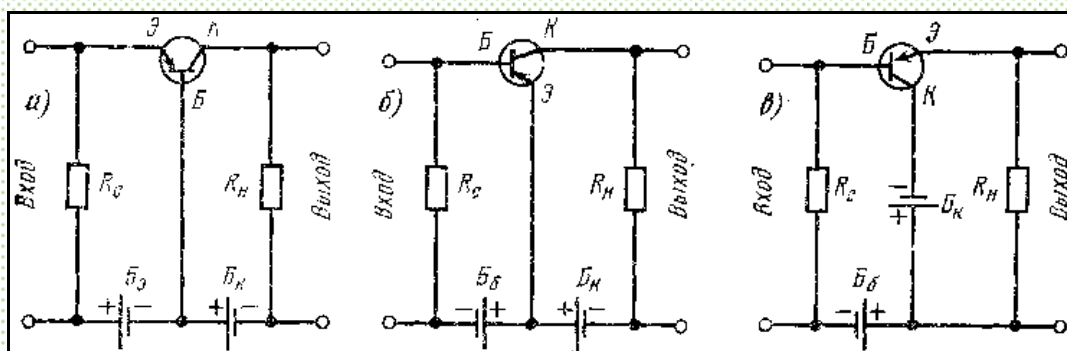


Рис. 15

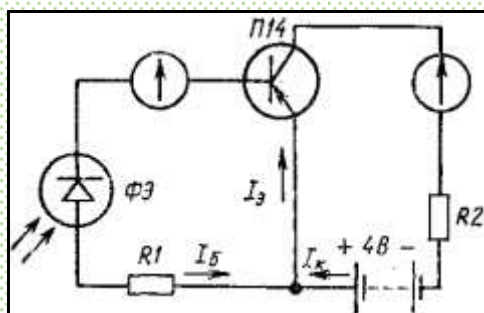


Рис. 16

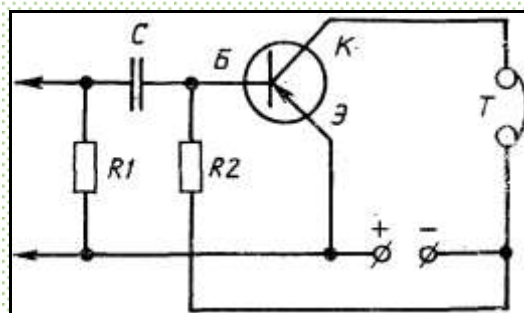


Рис. 17

Для закріплення і розвитку знань про напівпровідникові тріоди необхідно зібрати найпростіший підсилювач і показати його роботу. Найлегше можна пояснити роботу підсилювача з спільним емітером (рис. 17). Пояснивши схему підсилювача, підключають на його вхід демонстраційний детекторний приймач, а на вихід телефон. Налаштувавши приймач, чітко прослуховують передачу місцевої радіостанції. Відключивши підсилювач, підключають на вихід приймача телефон, але передачу не чути. Роблять

висновок, що напівпровідниковий підсилювач підсилює сигнали, які надаються детекторним приймачем.

Контрольні запитання

1. Дайте характеристику основних властивостей напівпровідникових речовин.
2. Обґрунтуйте, що таке $p-n$ – перехід, методи його одержання, основні його властивості.
3. Доведіть, яку домішку – донорну чи акцепторну – треба ввести, щоб дістати напівпровідник n -типу.
4. Поясніть, які носії заряду є основними, а які – неосновними в напівпровіднику з акцепторною домішкою?
5. Наведіть приклади застосування напівпровідникових фотоелементів.
6. Обґрунтуйте, як залежить ϵ_m $p-n$ – переходу від напруги, де цю залежність використовують у техніці?
7. Обґрунтуйте, чи збережеться одностороння провідність діода при високих температурах?
8. Змодельуйте, як показати залежність опору напівпровідників від температури? Покажіть дію термоелемента.
9. Як показати залежність опору напівпровідників від освітленості?
10. Обґрунтуйте, як показати роботу транзистора в схемі електронного ключа і в схемі підсилення?
11. Як можна показати механічну аналогію діркової провідності напівпровідників?
12. Доведіть, як можна показати можливість керування колекторним струмом транзистора.
13. Виділіть головні потреби, для яких використовують транзистори.
14. Опишіть процес зняття вольт-амперної характеристики діода.
15. Змодельуйте роботу транзистора в режимі ключа.

МАГНІТНЕ ПОЛЕ СТРУМУ

Мета роботи: оволодіти методикою і технікою шкільного фізичного експерименту, що проводиться при вивченні електромагнетизму.

ТЕХНОЛОГІЯ І ТЕХНІКА ВИКОНАННЯ ЕКСПЕРИМЕНТІВ

1. Взаємодія паралельних струмів. Складаємо установку за рис. 1. Провідник, по якому проходять досліджувані струми, є стрічкою з алюмінієвої фольги від паперового конденсатора завширшки 20–30 мм і довжиною не менше 1,2 м. Стрічку підвішують за верхній контакт так, щоб відстань між звисаючими її вітками була 15–20 мм. Потрібний натяг віток забезпечується їх вагою. Для демонстрування взаємодії паралельних струмів стрічки сполучають паралельно, для цього одну з клем джерела струму сполучають з верхнім контактом стрічки, а другу – з нижніми кінцями віток. Для досліду треба на мить замкнути ключ у колі. Щоб продемонструвати взаємодію антипаралельних струмів, стрічки сполучають послідовно, верхній контакт при цьому залишається вільним.

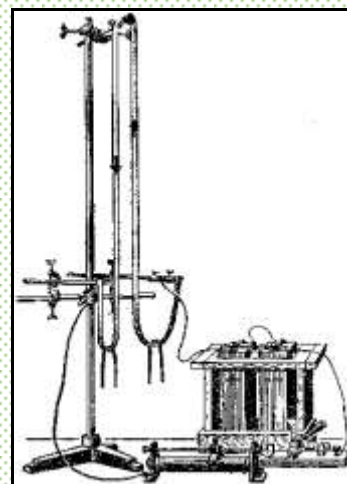
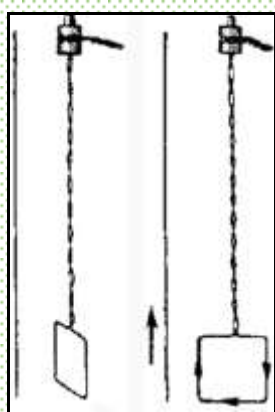


Рис. 1



а б

Рис. 2

2. Дія магнітного поля на контур із струмом. Підвісьте на тонких гнучких провідниках, сплєтених разом, маленьку плоску рамку, що складається з кількох витків дроту. На відстані, значно більшій за розміри рамки, розмістіть вертикальний дріт (рис. 2, а). Якщо пропустити електричний струм через провідник і рамку, то рамка повернеться і стане так, що дріт буде в площині рамки (рис. 2, б). Якщо напрям струму в провіднику змінити, рамка повернеться на 180°. Якщо між полюсами підковоподібного магніту підвісити на гнучких провідниках рамку із струмом, то вона повертатиметься доти,

поки її площина не встановиться перпендикулярно до лінії, яка з'єднує північний полюс магніту з південним (рис. 3). Отже, магнітне поле виявляє

орієнтуючу дію на рамку із струмом. Однорідне магнітне поле (поле, однакове в усіх точках простору), де розміщена рамка із струмом, чинить на рамку, як показує дослід, тільки орієнтуючу дію. У неоднорідному полі рамка, крім того, рухатиметься поступально, притягуючись до провідника із струмом або відштовхуючись від нього.

Дослід, який демонструє поведінку рамки з струмом у магнітному полі, можна поставити за допомогою іншого комплекту обладнання (рис. 4). Для цього беруть легку алюмінієву рамку, підвішують її в полі дугоподібного магніту на двох гнучких провідниках, які водночас є також струмопідводами. При пропусканні струму по рамці на кожну з її двох вертикальних сторін діє сила, напрям якої визначається за правилом лівої руки. Ці сили паралельні, але оскільки напрями струму в сторонах рамки протилежні, то вони мають протилежні напрями. Під їх дією рамка повертається доти, поки її площа не буде перпендикулярна до напрямку поля. У такому положенні рамки сили, прикладені до її сторін, лише розтягують рамку.

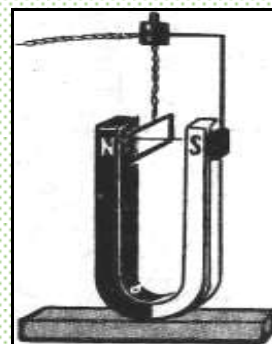


Рис. 3

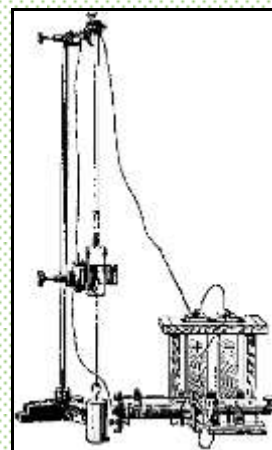


Рис. 4

3. Досліди з магнітною стрілкою. На рис. 5 і 6 показано досліди з магнітною стрілкою, які повторюють досліди з рамкою. У магнітному полі прямолінійного провідника із струмом магнітна стрілка встановлюється по дотичній до кола (рис. 6). Площина кола перпендикулярна до дроту, а його центр лежить на осі провідника.

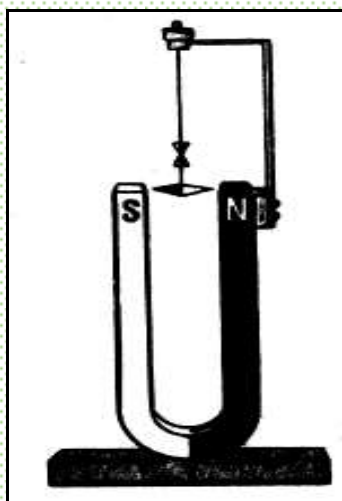


Рис. 5

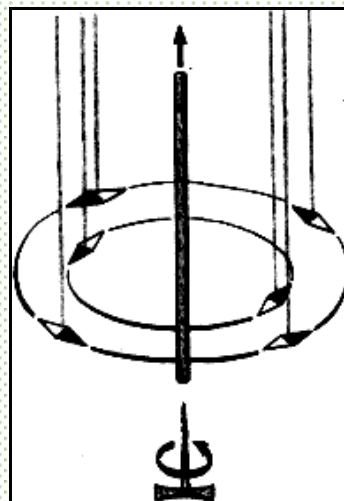


Рис. 6

4. Вимірювання момент сил, які діють на рамку із струмом.

Момент сил, які діють на рамку, можна виміряти. Для цього використовують прилад, подібний до крутильних терезів Кулона (рис. 7). На тонкій пружній дротинці замість коромисла із зарядженою кулькою підвішують контур із струмом. Щоб утримати контур під час замикання його кола в початковому положенні, дротинку треба закрутити на деякий кут. За кутом закручування дротинки визначають момент сил, які діють на рамку. Цей момент буде максимальний, якщо нормаль до рамки перпендикулярна до вектора B (рис. 7). Змінюючи силу струму в рамці і експериментуючи з рамками різної площі, можна встановити важливий факт: максимальний момент M сил, які діють на рамку із струмом з боку магнітного поля, пропорційний добутку сили струму на площу рамки. Цей дослідний факт можна використати для визначення модуля вектора магнітної індукції.

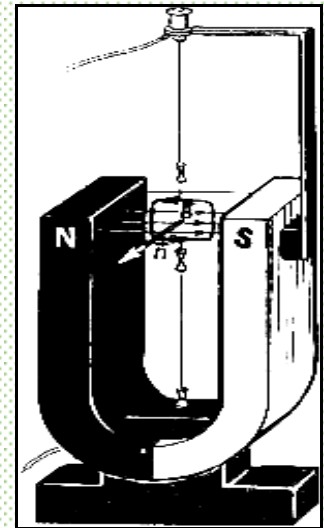
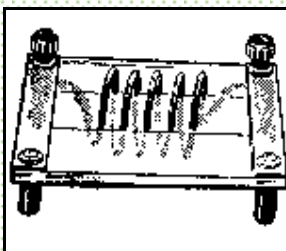
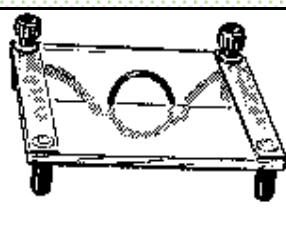


Рис. 7

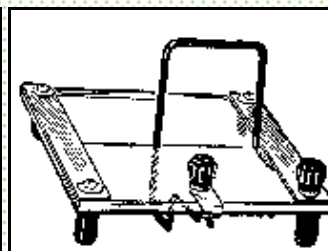
5. Спектр магнітного поля прямого струму. Для демонстрування прилад (рис. 8) встановлюють на конденсорну лінзу насадки для горизонтального проектування і під'єднують до джерела струму. Посипавши на столик приладу ошурками, вмикають струм і спостерігають спектр у процесі його утворення. Для поліпшення вигляду спектра корисно по столику приладу злегка постукати олівцем. Це полегшує встановлення ошурків уздовж силових ліній поля, бо при цьому зменшується тертя.



а



б



в

Рис. 8

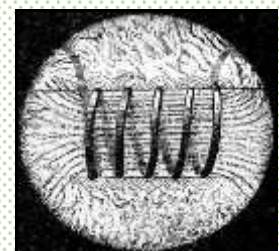


Рис. 9

6. Спектр магнітного поля соленоїда. Спектр магнітного поля соленоїди найкраще показати за допомогою приладу, (рис. 8, а). Вигляд такого спектра подано на рис. 9.

7. Властивості котушки з струмом. За допомогою цього досліду демонструють магнітну дію котушки з струмом. Для цього торці первинної

індукційної котушки заклеюють кружечками з тонкого паперу і, увімкнувши струм, підносять її (тримаючи вертикально) до залізних ошурків. Демонструють притягання ошурків. Потім вимикають струм і спостерігають відпадання ошурків. Дослід повторюють, підносячи котушку другим торцем. Спостерігають той самий ефект. Увімкнувши в коло котушки реостат і амперметр, змінюють струм у колі і демонструють, що магнітна дія котушки залежить від величини струму.

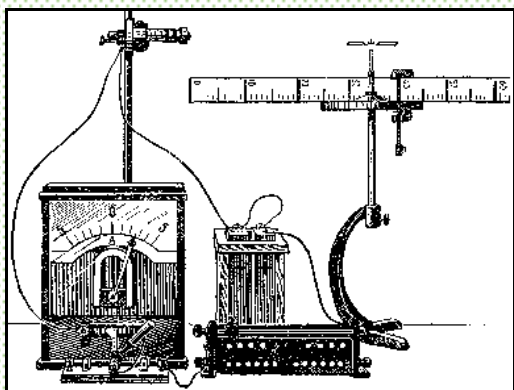


Рис. 10

Вплив величини струму, числа витків і наявності залізного сердечника в котушці на її магнітну дію демонструють на установці, (рис. 10). Первинну індукційну котушку затискають горизонтально в лапці штатива і вмикають в її коло амперметр та реостат. Демонстраційну магнітну стрілку розташовують поблизу торця котушки на такій відстані, щоб вона

майже не відхилялась при пропусканні слабкого струму в котушці. Цю віддаляють фіксують, поклавши на підйомний столик демонстраційний метр, нульову поділку якого суміщають з кінцем котушки. Осі котушки і стрілки повинні бути на одному рівні. Пересуваючи повзунок реостата, збільшують струм у котушці до помітного відхилення стрілки, а потім віддаляють стрілку на таку відстань від котушки, коли вона знову не встановиться в площині магнітного меридіана. Тоді знову збільшують струм у котушці і спостерігають повертання стрілки. Роблять висновок про залежність магнітної дії котушки від величини струму в ній і віддалі до котушки. Потім зменшують струм у котушці до такої величини, щоб стрілка встановилась у меридіані, а потім у котушку вставляють залізний сердечник. При цьому спостерігають різке підсилення магнітної дії котушки. Роблять висновок про вплив сердечника. Вийнявши сердечник з котушки, за допомогою реостата встановлюють у ній мінімальний струм, але такий, щоб його фіксував амперметр, і наближають стрілку до котушки до появи помітного її відхилення від меридіана. Вимикають струм і замінюють первинну котушку з малим числом витків вторинною з великим числом витків. При цьому звертають увагу на те, що при однаковій довжині обох котушок кожна з них має різне число витків на одиницю довжини. Увімкнувши струм в обмотку цієї котушки, встановлюють таку його величину, як і в досліді з первинною котушкою, і переконуються, що магнітна дія цієї котушки значно

сильніша. Роблять висновок про залежність магнітної дії котушки від кількості витків на одиницю довжини котушки. Після цього вводять поняття про число ампервитків і роблять загальний висновок.

8. Одночасне існування в колі постійного струму електричного та магнітного полів.

Для цього збирають коло (рис. 11), що складається з високовольтного випрямляча, гальванометра, спеціального електромагніта, обмотки якого розраховані на високу напругу, електрометра та електричного султана.

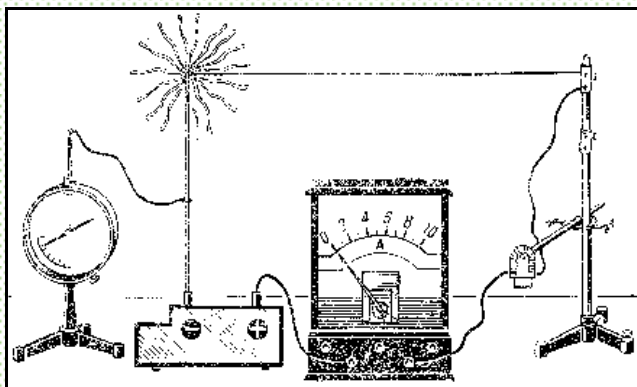


Рис. 11

Ввімкнувши високовольтний випрямляч, спостерігають відхилення стрілки електрометра і розходження листочків електричного султана, що свідчить про наявність електричного поля. Одночасно спостерігають відхилення стрілки гальванометра і дію електромагніта, який притягає лезо безпечної бритви, дрібні цвяхи і т.д., що свідчить про наявність магнітного поля. При вимкненні випрямляча листочки султана опадають, стрілки електрометра і гальванометра повертаються у вихідне положення, електромагніт перестає притягати металеві предмети. На основі досліду роблять висновок, що при проходженні електричного струму електричне та магнітне поле існують як дві сторони одного і того ж явища. Таке поле прийнято називати електромагнітним. Так як електромагнітне поле постійного струму постійне в часі, то його звичайно називають стаціонарним електромагнітним полем.

9. Магнітне поле постійного струму.

Збирають пристрій, (рис. 12). Замикаючи коло, спостерігають відхилення магнітної стрілки від початкового положення. Розімкнувши коло, екранують провідник фольгою з алюмінію (можна протягнути провідник в алюмінієвій трубці), яку з'єднують з землею, і повторюють дослід. Роблять висновок, що відхилення магнітної стрілки викликається не електричним полем.

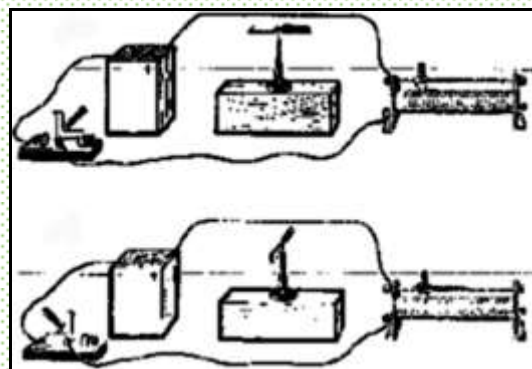


Рис. 12

10. Намагнічування електричним струмом. Предмет для намагнічування поміщають усередину котушки, сполученої з полюсами джерела постійного струму, і на короткий час вмикають струм. Майбутню полярність предмета можна передбачити, визначивши напрям магнітного поля котушки за допомогою магнітної стрілки або правила гвинта:

11. Розмагнічування струмом. Для розмагнічування користуються змінним струмом. До знижувальної обмотки трансформатора під'єднують котушку від універсального трансформатора. У колі цієї котушки повинен бути реостат. Спочатку демонструють предмет, який треба розмагнітити. Потім цей предмет вставляють у розмагнічувальну котушку і поступово зменшують у ній струм. Не вимикаючи струму, повільно виймають предмет з котушки і за допомогою магнітної стрілки демонструють, що він розмагнітився. Перед виконанням досліду слід показати, що предмет справді мав магнітні властивості.

12. Прилад Ампера. При виконанні досліду прилад затискають у муфті штатива горизонтально і його рейки сполучають з джерелом струму. Дугоподібний магніт встановлюють на підйомному столику (рис. 13). Рухомий провідник повинен спочатку перебувати в зоні однорідного поля магніту. Увімкнувши струм, демонструють рух провідника в полі магніту. Змінюючи напрям струму в провіднику і напрям магнітного поля, установлюють закономірності руху провідника і виводять правило лівої руки.

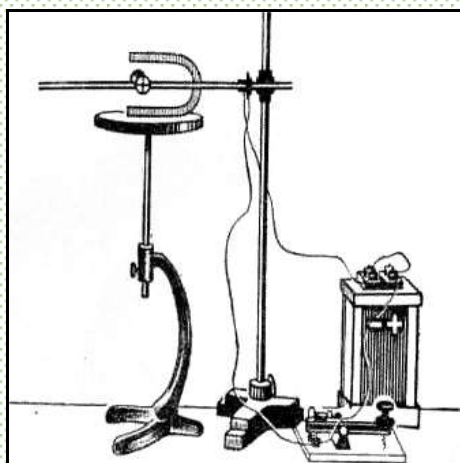


Рис. 13

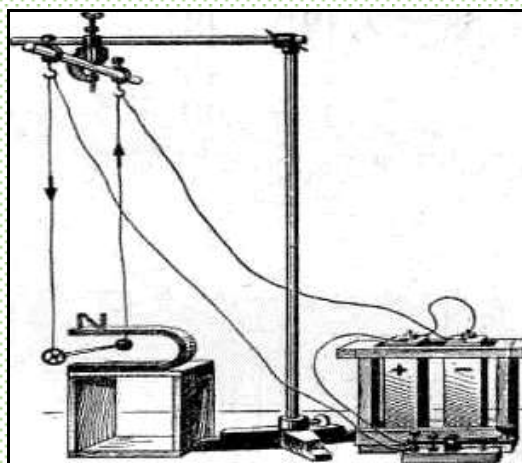


Рис. 14

Рух провідника в магнітному полі можна продемонструвати на установці, зображеній на рис. 14. Як рухомий провідник можна використати коток з приладу Ампера.

13. Рух електронів у магнітному полі. Для демонстрування руху електронів в магнітному полі можна зустріти пристрій, зображений на рис. 15, а. Пристрій складається з кільця Гельмгольца і кульової колби, наповненої неоном при низькому тиску. Всередині колби розміщений електричний прожектор, що випускає електрони. Під дією магнітного поля електрони рухаються по колу радіус якого визначається магнітною індукцією поля, що створюється кільцями Гельмгольца. Рухаючись в розрідженому газі, електрони іонізують його, і в затемненій аудиторії добре помітний “слід”, що залишають електрони (рис. 15, б). Змінюючи силу струму, що протікає по кільцям Гельмгольца, демонструють зміну радіусів, по яких рухаються електрони.

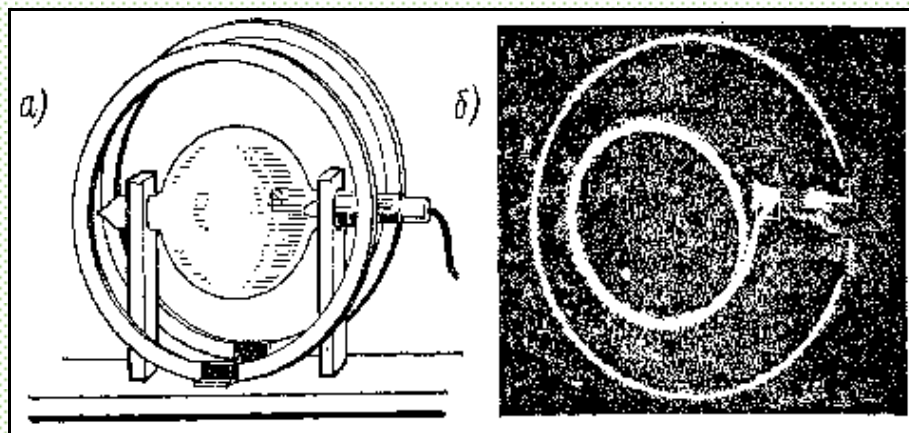


Рис. 15

Контрольні запитання

1. Що таке магнітне поле? Назвіть основні властивості магнітного поля? Чим відрізняється магнітне поле від електростатичного? Як це продемонструвати?
2. Як продемонструвати магнітну взаємодію струмів?
3. Як рухаються замкнутий контур із струмом і магнітна стрілка в однорідному магнітному полі? Як це показати експериментально?
4. Як показати вплив магнітного поля на магнітну стрілку? Які сили називають магнітними?
5. В чому суть досліду Ерстеда?
6. Що таке вектор індукції магнітного поля? Якими одиницями вимірюють індукцію магнітного поля?
7. Якими способами визначають напрям вектора магнітної індукції?

8. Як експериментально визначається модуль вектора магнітної індукції?
9. Що називається лініями магнітної індукції? Як їх продемонструвати для прямого провідника, колового провідника та соленоїда?
10. Які поля називаються вихровими?
11. Що називається потоком магнітної індукції?
12. Закон Ампера. Як його практично перевірити? Чому дорівнює модуль сили Ампера?
13. Продемонструйте, від чого і як залежить сила, що діє на провідник із струмом у магнітному полі? Від чого залежить її напрям? Як його можна визначити?
14. Що називають силою Ампера та силою Лоренца? Сформулюйте правило для визначення напрямку сили Ампера?
15. Сформулюйте правило для визначення напрямку сили Лоренца? Чому дорівнює модуль сили Лоренца?



РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА

1. Атаманчук П.С., Поведа Т.П., Семерня О.М. Дидактичне забезпечення семінарських занять з курсу «Методика навчання фізики» (загальні питання). 2-ге вид., допов. і перероб.). Кам'янець-Подільський: Кам'янець-Подільський національний університет імені Івана Огієнка, 2012. 395 с.
2. Атаманчук П.С., Ляшенко О.І., Мендерецький В.В., Ніколаєв О.М. Методика і техніка навчального фізичного експерименту в основній школі: підручник для студентів вищих навчальних закладів. Кам'янець-Подільський: Кам'янець-Подільський національний університет імені Івана Огієнка, 2010, 292 с.
3. Атаманчук П.С., Криськов А.А., Мендерецький В.В. Збірник задач з фізики / за ред. П.С. Атаманчука. Київ: Школяр, 1996. 304 с.
4. Панчук О.П. Фізика: навчально-методичний посібник для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти за освітньо-професійною програмою Комп'ютерні науки та інформаційні технології спеціальності 122 Комп'ютерні науки галузі знань 12 Інформаційні системи [Електронний ресурс]. Кам'янець-Подільський: Кам'янець-Подільський національний університет імені Івана Огієнка, 2023. 135 с..
5. Дущенко В.П., Кучерук І.М. Загальна фізика. Фізичні основи механіки. Молекулярна фізика і термодинаміка. Київ: Вища школа, 1987, 431 с.
6. Кучерук І.М., Горбачук І.Т. Загальна фізика. Електрика і магнетизм. Київ: Вища школа, 1990. 387 с.
7. Кучерук І.М., Дущенко В.П. Загальна фізика. Оптика. Квантова фізика. Київ: Вища школа, 1991. 463 с.
8. Заболотний В.Ф. Методика навчання фізики (загальні питання в схемах і таблицях з мультимедійними додатками). Вінниця: Едельвейс і К, 2009. 112 с.
9. Іваницький О. І. Сучасні технології навчання фізики в середній школі: монографія. Запоріжжя: Прем'єр, 2001. 266 с.
10. Луканець В.І. Збірник запитань і задач з фізики: навчальний посібник для учнів базової школи. Київ: Просвіт. 2015. 191 с.

11. Уроки фізики. 7-9 клас: посібник для студентів вищих педагогічних навчальних закладів / Бузько В.Л., Величко С.П., Сірик Е.П. Кіровоград: ПП «Ексклюзив-Систем», 2015. 212 с.
12. Божинова Ф.Я., Кирюхін М.М., Кирюхіна Є.А. Фізика. 7 кл.: [підручник]. Харків: Ранок, 2018. 192 с.
13. Божинова Ф.Я., Ненашев І.Ю., Кирюхін М.М. Фізика. 8 кл.: [підручник]. Харків: Ранок, 2018. 256 с.
14. Божинова Ф.Я., Кирюхін М.М., Кирюхіна О.О. Фізика. 9 кл.: [підручн. для загальноосвітн. навч. закладів]. Харків: Ранок, 2018. 224 с.
15. Рачковський О.М., Криськов Ц.А., Люба Т.С. Модульні лабораторні роботи з курсу загальної фізики, розділи: «Механіка», «Молекулярна фізика і термодинаміка», «Електрика і магнетизм». Кам'янець-Подільський національний університет імені Івана Огієнка, 2018. 69 с.
16. Шарко В.Д. Сучасний урок фізики. Херсон: Вид-во ХДУ, 2010. 350 с.

Міністерство освіти і науки України
Кам'янець-Подільський національний університет імені Івана Огієнка

Навчальне електронне видання

ПАНЧУК Олег Петрович

*кандидат педагогічних наук, доцент, доцент кафедри фізики
Кам'янець-Подільського національного університету імені Івана Огієнка*

ПРАКТИКУМ З НАВЧАЛЬНОГО ФІЗИЧНОГО ЕКСПЕРИМЕНТУ

НАВЧАЛЬНО-МЕТОДИЧНИЙ ПОСІБНИК

**для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти
за освітньо-професійною програмою Середня освіта (Фізика, інформатика),
спеціальності 014 Середня освіта (Фізика та астрономія)**

Електронне видання

Підписано 13.05.2025. Гарнітура «Cambria».
Об'єм даних 3,1 Мб. Обл.-вид. арк. 6,5. Зам. № 1175.

Видавець і виготовлювач Кам'янець-Подільський національний університет
імені Івана Огієнка, вул. Огієнка, 61, м. Кам'янець-Подільський, 32300

Свідчення про внесення до державного реєстру суб'єктів видавничої справи
серії ДК № 3382 від 05.02.2009 р.