

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
**КРИВОРІЗЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ПЕДАГОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**  
**Фізико-математичний факультет**  
**Кафедра фізики та методики її навчання**

«Допущено до захисту»

Завідувач кафедри

\_\_\_\_\_ Коновал О.А. \_\_\_\_\_  
(підпис) (прізвище, ініціали)

Реєстраційний номер № \_\_\_\_\_

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2019 р.

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2019 р.

**МОДЕРНІЗАЦІЯ ФІЗИЧНОГО ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ПРОВЕДЕННЯ  
ФРОНТАЛЬНИХ ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ НА ОСНОВІ ВИКОРИСТАННЯ  
СУЧАСНИХ ТЕХНОЛОГІЙ**

Магістерська робота студента  
фізико-математичного факультету  
групи ФІ-м – 14  
Освітньо-кваліфікаційний рівень:  
другий рівень вищої освіти  
Спеціальність:  
014.08 Середня освіта (Фізика)  
Додаткова спеціальність:  
014.09 Середня освіта (Інформатика)  
Бакая Артема Володимировича

Керівник: професор кафедри фізики та  
методики її навчання, доктор технічних  
наук  
Здешиц Валерій Максимович

Оцінка:  
Національна шкала \_\_\_\_\_  
Шкала ECTS \_\_\_\_\_ Кількість балів \_\_\_\_\_

Члени комісії

\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

Бакай А. В. Модернізація фізичного обладнання для проведення фронтальних лабораторних робіт на основі використання сучасних технологій: магістерська робота студента фізико-математичного факультету групи ФІ-м-14 / А. В. Бакай ; наук. керівник В. М. Здещиц. – Кривий Ріг, 2019. – с. 95

**Анотація.** З метою вдосконалення фізичного обладнання розглянуто методику проведення лабораторних робіт, встановлено ефективність проведення фронтальних лабораторних робіт та розроблено мініатюрні установки з механіки та електрики.

**Формування проблеми.** Основний недолік навчального процесу при проведенні лабораторних занять з фізики полягає в тому, що лекції, які читаються відповідно до програми поступально, крок за кроком, не знаходять одночасного практичного підтвердження у фізичних лабораторіях. Перепоною тому є фінансова неможливість придбати навчальним закладом велику партію однакових традиційних лабораторних установок для проведення лабораторних робіт за даною темою. Тому впровадження бюджетних мініатюрних установок є альтернативою проведення лабораторних робіт, які проводяться традиційним способом.

**Матеріали та методи:** Робота носить теоретичний та прикладний характер. Поставлена проблема розв'язувалася за допомогою розроблених дослідницьких установок, параметри процесів в яких були теоретично обґрунтовані. Методологічно дослідження базувалися на відомих законах фізики, а її основні науково-практичні результати отримані з використанням відео та фотореєстрації, цифрових технологій обробки результатів багаточисельних експериментів.

**Результати.** Розроблена теорія та створені мініатюрні лабораторні установки для розв'язання дилеми Тарзана, машина Атвуда зі змінною масою. Розроблено чотири мініатюрні лабораторні установки, а також інструкції для проведення фронтальних лабораторних робіт з електрики, які відповідають запропонованій концепції.

**Висновки.** Компактність, мобільність, багатофункціональність, дешевизна та довговічність конструкцій, – саме ці головні ознаки мають розроблені мініатюрні установки, які надають можливість кожному студенту та школяру одночасно провести лабораторну роботу на задану тему. Перевагою розроблених мініатюрних установок є можливість виконання дослідницьких робіт для індивідуального навчання.

**Ключові слова:** фронтальні лабораторні роботи, дилема Тарзана, машина Атвуда зі змінною масою, мініатюрні установки з електрики.

## ЗМІСТ

ВСТУП .....	5
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ НАУКОВО-МЕТОДИЧНОЇ ЛІТЕРАТУРИ .....	7
1.1. Аналіз науково-методичної літератури.....	7
1.2. Концепція проведення фронтальних лабораторних робіт з фізики ...	12
Висновки до розділу 1 .....	16
РОЗДІЛ 2. ВДОСКОНАЛЕННЯ ТА РОЗРОБКА ПРИСТРОЇВ ДЛЯ ДЕМОНСТРАЦІЇ ФРОНТАЛЬНИХ ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ З МЕХАНІКИ .....	18
2.1. Розробка лабораторної роботи «Вивчення кінематичних законів».....	18
2.2. Розробка лабораторної роботи «Машина Атвуда з постійною масою вантажів».....	29
2.3. Розробка лабораторної роботи «Машина Атвуда зі змінною масою вантажів».....	35
2.3.1. Результати експериментів .....	40
Висновки до розділу 2 .....	43
РОЗДІЛ 3. ВДОСКОНАЛЕННЯ ТА РОЗРОБКА ПРИСТРОЇВ ДЛЯ ПРОВЕДЕННЯ ФРОНТАЛЬНИХ ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ З ЕЛЕКТРИКИ	45
3.1. Розробка лабораторної роботи «Вивчення процесів зарядки і розрядки конденсатора» .....	45
3.1.1. Приклад виконаної роботи.....	47
3.2. Розробка лабораторної роботи «Дослідження корисної потужності та К.К.Д. джерела струму».....	52
3.2.1. Приклад виконаної роботи .....	54
3.3. Розробка лабораторної роботи «Визначення температури розжарення вольфрамової нитки електричної лампи».....	55
3.3.1. Приклад виконаної роботи.....	57

3.4. Розробка Лабораторна робота «Дослідження напівпровідникового діоду» .....	57
3.4.1. Приклад виконаної роботи.....	60
Висновки до розділу 3 .....	61
ВИСНОВКИ.....	62
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	64
ДОДАТКИ.....	68
Додаток А.....	68
Додаток Б .....	77
Додаток В.....	84
Додаток Г .....	90

## ВСТУП

Дистанційна підготовка фахівців з вищою освітою - найближча перспектива сучасної форми організації навчального процесу. Навчання будується на використанні інформаційних технологій. З цією метою розробляються спеціальні навчальні комплекси, що включають електронний підручник - конспект лекцій з набором комп'ютерних демонстрацій, електронний задачник з методичними вказівками до розв'язування задач, а також лабораторні роботи, які виконуються на комп'ютері.

**Актуальність роботи:** методика навчання фізики в середніх школах суттєво змінилася і ці зміни не в кращий бік. Епоха яскравих демонстрацій фізичних явищ йде у набуття: їх замінили комп'ютерними муляжами, презентаціями, що не викликає у учнів зацікавлення у вивченні фізики – науки природничої та живої. Під гаслом комп'ютеризації навчального процесу порушується зв'язок людини з природними явищами та відбувається жага до спостережень. Насамперед, це зумовлено браком наочності та демонстраційного забезпечення у вчителя. Тому вкрай актуальною є розробка пристроїв, які забезпечують яскраву демонстрацію фізичних явищ та їх законів, підкріпленою методичними поясненнями.

**Мета роботи** – вдосконалення, розробка та теоретичне обґрунтування і впровадження у вищих навчальних закладах та у середніх загальноосвітніх навчальних закладах недорогих комплектів лабораторних установок, що забезпечують проведення лабораторних робіт із заданої теми фронтально.

### **Завдання роботи:**

1. Проаналізувати в науково-методичній літературі:

а) стан і тенденції розвитку методики виконання лабораторних робіт з курсу загальної фізики у вищих педагогічних навчальних закладах в умовах кредитно-модульного навчання та у середніх загальноосвітніх навчальних закладах за умов неперервної освіти;

б) перспективи розкриття фізичних явищ і фундаментальних законів фізики на засадах сучасних наукових знань.

2. Науково обґрунтувати і побудувати засади розкриття явищ і фундаментальних законів фізики при проектуванні лабораторних приладів та розробити їх конструкції.

3. Обґрунтувати і розробити науково-методичну систему (зміст, структуру і методику) навчання на лабораторних заняттях за допомогою розробленого лабораторного обладнання:

а) у вищій школі в умовах кредитно-модульного навчання;

б) у середній загальноосвітній школі за умов неперервної освіти.

4. Підготувати відповідні навчальні посібники з проведення лабораторних занять для вищих та середніх навчальних закладів та розробити методичні рекомендації до них.

5. Впровадити в навчальний процес пропоновану науково-методичну концепцію фронтального проведення лабораторних занять з фізики у вищих та середніх навчальних закладах.

**Об'єкт дослідження** – процес вивчення загальної фізики у вищих педагогічних навчальних закладах в умовах кредитно-модульного навчання та у середніх загальноосвітніх навчальних закладах за умов неперервної освіти.

**Предмет дослідження** – лабораторні дослідницькі установки для вивчення загальної фізики на засадах розвитку сучасної техніки та науки у вищих навчальних закладах в умовах кредитно-модульної системи навчання та у середніх загальноосвітніх навчальних закладах за умов неперервної освіти.

## РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ НАУКОВО-МЕТОДИЧНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

### 1.1. Аналіз науково-методичної літератури

Навчання фізики в загальноосвітніх навчальних закладах має специфічні особливості щодо дотримання дидактичних принципів, оскільки крім теоретичної і практичної частини курсу фізики, зокрема, включає в себе експериментальну частину. Відповідно учні повинні не тільки оволодіти певною сумою знань, але й одержати уявлення про методи фізичних досліджень. Ознайомлення з методами і прийомами наукового дослідження сприяє більшій самостійності при виконанні експериментальних завдань, більш глибокому міцному засвоєнню знань [20].

Основою вивчення фізики є навчальний експеримент саме він підводить учнів до сприйняття фізичних методів досліджень, виховує практичні вміння та навички. Формування системи знань, умінь і навичок і є навчання фізики. Будь-яка система складається з декількох елементів, а саме навчальний експеримент можна поділити на три складові:

1. Експериментатор та його діяльність.
2. Об'єкт чи предмет експериментального дослідження.
3. Засіб експериментального дослідження (інструменти, прилади, експериментальні установки і т.д.)

Враховуючи ці три елементи можна виділити що перший є суб'єктивною стороною експерименту, а інші два є об'єктивною.

Використання приладів дозволяє розширити природну обмеженість органів почуттів людини, що відбивають зовнішній світ у порівняно вузькому діапазоні явищ і властивостей, обумовлених пристосуванням організму до середовища. Щоб дати учням глибокі і міцні знання, сформувати в них важливі практичні вміння і навички, необхідна координація у використанні різних видів начального експерименту. Існує чимало різних класифікацій фізичного експерименту [21]. Розглянемо класифікацію за організованою

ознакою. За цією ознакою виокремлюємо наступні види шкільного фізичного експерименту:

1. Демонстрування фізичних явищ, процесів та засобів унаочнення вчителем.
2. Позакласні дослід
3. Віртуальні дослід
4. Фізичний практикум
5. Експериментальні задачі
6. Фронтальні лабораторні роботи

Ці види фізичного експерименту мають загальну мету навчання фізики і належать до загальної структури курсу фізики, але окремо кожен навчальний експеримент має вузьке цільове призначення, тому проаналізуємо зміст і кожен вид фізичного експерименту для виділення переваг.

Демонстрація фізичних явищ і процесів здійснюється за допомогою дослідів, які виконують спрямовані на засвоєння якісних знань. У цьому випадку вчитель виступає перед всім класом і проводить експеримент, також керує відчуттями та сприйманням учнів природних явищ і спираючись на це - формує поняття, конкретні закони та переконання. Для даного виду експерименту характерна така особливість, що інформація передається за допомогою зорових і слухових відчуттів. Тобто, видимість проведення експерименту є однією з важливіших вимог до дослідів. Щоб ефект від демонстрації був більш ефективним необхідно сильніша дія дослідів на органи чуттів це можливо забезпечити емоційним супроводом експерименту, що призведе до кращого запам'ятовування. Експерименти проводяться на обладнанні фізичних кабінетів, але деякі експерименти можливо показати тільки за допомогою кіно (досліди Лебедева, Мілікена, Резерфорда).

Позакласні дослід – некласні дослід, які учні виконують вдома або спостерігають в своєму оточенні щодня. Домашні експерименти та спостереження - найпростіший самостійні дослідження, які учні виконують в домашніх умовах, без методичних вказівок учителя. Для того, щоб такі



експерименти були ефективними, потрібно підтримувати в учнів інтерес до предмету та активізувати його перед домашнім експериментом.

Віртуальний експеримент – може в деякій мірі замінити реальну фізичну лабораторію. Їх використовують рідко, оскільки вони слабо формують практичні навички учнів. Учні ж люблять уроки з використанням віртуальних лабораторій, бо вони пришвидшують протікання процесу чи сповільнюють його, збільшують чи зменшують масштаб, показують фізичні процеси «зсередини», дають їм змогу легко та швидко перевірити свої припущення.

Фізичним практикумом називають таку форму проведення лабораторних робіт, при якій усі ланки учнів отримують різні завдання ускладненого змісту. Основою фізичного практикуму є дослідницький метод. Проводиться практикум після вивчення певного розділу курсу фізики або частіше всього наприкінці навчального року. Його завдання охоплюють велику тему курсу і вимагають для свого виконання складної фізичної апаратури та експериментальних установок. У практикумі фізичні закони перевіряються експериментально. Учні не тільки спостерігають, але і набувають умінь працювати з приладами і вимірювальною технікою, оформляти та аналізувати результати роботи [16].

Фізичний практикум – за змістом, вимогами до проведення та педагогічними проблемами багато в чому подібний до фронтальних експериментів. Фактично, основною їхньою відмінністю є розтягненість в часі фізичного практикуму.

Над удосконаленням методики шкільного фізичного експерименту в загальноосвітній школі присвячені праці П.С. Атаманчука, Л.І Анциферова, В.О. Булова, С.П. Величка, О.Ф. Кабардіна, Є.В. Коршака, Б.Ю. Миргородського, М.Я. Молоткова, М.М. Шахмаєва, та інші [1,14].

Експериментальними називають такі задачі, в яких експеримент служить засобом визначення величин, необхідних для розв'язання, дає відповідь на поставлене в задачі питання або є засобом перевірки зроблених відповідно до умов обчислень. Варто зазначити, що вони відрізняються від фронтальних

спостережень по фізиці і не замінюють їх. Головна мета роботи, перш за все, дослідження та нагромадження учнями експериментальних явищ, а в процесі розв'язання експериментальних задач ці навички використовуються і розвиваються, спостереження та вимірювання завжди виконуються для конкретних проявів фізичних закономірностей, а не з'ясування чи підтвердження останніх, як це має місце в лабораторних роботах. [20].

Фронтальна лабораторна робота – це лабораторна робота, яку виконують учні (індивідуально або кілька учнів за роботою). Вони працюють за приладом чи установкою цілий урок або пару. Виконання лабораторних робіт складається з декількох етапів:

1. Самостійна домашня підготовка до лабораторної роботи, яка включає ознайомлення і чітке розуміння теми, мети, методики виконання, оволодіння в достатньому обсязі теоретичним матеріалом за темою роботи.
2. Допуск до лабораторної роботи, під час якого студент має уміти чітко формулювати мету і завдання. Знати, які прилади, матеріали, установки необхідні для виконання роботи, а також які вимірювання, яким чином і в якій послідовності слід здійснювати.
3. Виконання роботи і фіксування результатів вимірювання.
4. Оформлення результатів вимірювання, яке включає обчислення результатів вимірювань, будівництва графіків та написання висновків.
5. Захист лабораторної роботи, який узгодження отриманих результатів та підтвердженням у бесіді з викладачем розуміння теми, теоретичних положень, фізичних термінів тощо.

Є два методи проведення лабораторних робіт: фронтальний та груповий. Фронтальний метод проведення роботи передбачає що всі студенти або учні працюють над однією роботою. Допуск до роботи виконується сумісно, а захист одночасно, а всі інші етапи виконуються індивідуально кожним.

При груповій формі проведення лабораторних робіт учні діляться на групи і потім виконують роботу. Кожна група виконую свою роботу. Допуск,

виконання та захист лабораторної роботи здійснюється учнями кожної групи окремо.

Переваги фронтального методу: ефективне використання аудиторного часу, позитивна емоційна атмосфера заняття, викликана груповою роботою, взаємна допомога при спільному виконанні роботи сприяє вчасному виправленню помилок і міцному засвоєнню начального матеріалу. Елементи суперництва між учнями стимулюють позитивну мотивацію. Оперативність процесу опитування і оцінювання при захисті лабораторних робіт. Загальний аналіз помилок при захисті роботи сприяє корекції та більш міцному засвоєнню теоретичних основ фізики.

Переваги групового методу: учень має можливість виконати кожен роботу, що сприяє індивідуалізації навчального процесу та формування відповідальності за виконану роботу.

Недоліки фронтального методу: можливість не виконання деяких етапів роботи це зв'язане низьким рівнем мотивації учнів у навчанні.

Недоліки групового методу: нечітке розуміння певних елементів виконання лабораторної роботи через обмеженість часу для спілкування із вчителем на етапі допуску до лабораторної роботи, неможливість отримати власних консультацій викладача та власного захисту лабораторних робіт через брак часу. Не паралельність викладення теоретичного матеріалу з лабораторним, що веде до самостійного опрацювання матеріалу.

В результаті отримуємо, що фронтальний метод виконання лабораторних робіт є більш ефективним в порівнянні з груповим. Максимальна ефективність фронтального методу проведення лабораторних робіт буде досягатися за таких умов:

1. Наявність приладу або установки кожному учневі або студенту.
2. Забезпечення необхідного методичного матеріалу.
3. Отримання різних відповідей при виконанні однієї роботи, це необхідно для уникнення списування робіт.

Для цього потрібно розробити нову концепцію.

## 1.2. Концепція проведення фронтальних лабораторних робіт з фізики

При вивченні курсу фізики заміна реального фізичного експерименту його моделюванням на комп'ютері [14], на наш погляд [12], не може дати бажаного результату стосовно ефективності засвоєння, приводить до погіршення розуміння та уявлення про найпростіші і разом з тим найбільш загальні закономірності явищ природи, властивості і будову матерії та закони її руху.

Основний недолік навчального процесу при проведенні лабораторних занять з фізики полягає в тому, що лекції, які читаються відповідно до програми поступально, крок за кроком, не знаходять одночасного практичного підтвердження у фізичних лабораторіях. Експериментальні установки, що відповідають темі лекції, є в наявності навчального закладу, найчастіше, в одному екземплярі. Тому при проведенні лабораторних робіт групі студентів здебільшого пропонується досліджувати явище без відповідної теоретичної підготовки, що негативним чином впливає на якість освіти.

Основною перешкодою в процесі придбання студентами практичного досвіду роботи з реальними фізичними об'єктами і вимірювальними приладами є відсутність потрібної кількості дослідницьких установок. Придбання навчальними закладами великих партій традиційних лабораторних установок неможливо через їх моральну застарілість та фінансову неспроможність ВНЗ, а тим більше шкіл. Розміщення й обслуговування такої кількості приладів і установок у межах відведених кафедр фізики площ є проблемою.

В даній роботі описана концепція проведення фронтальних лабораторних занять з фізики, що ґрунтується на мініатюризації лабораторних установок на основі використання сучасних цифрових технологій.

Суть концепції полягає в наданні кожному студенту можливості виконання лабораторної роботи з теми, яка вивчається на даний час за робочою програмою. Основою нового підходу є мініатюризація лабораторних установок до розмірів, що дозволяють розмістити їх у потрібній кількості в

жорсткому чемоданчику – кейсі; кожний кейс повинен містити 20-30 лабораторних (дослідницьких) робіт на одну тему. Кількість кейсів повинна відповідати кількості тем, передбачених навчальним процесом, або хоча б темам з найбільш важливих розділів фізики. При наявності в експериментальних установках автономних джерел живлення виключається необхідність утримування і обслуговування лабораторних аудиторій, що, відповідно, здешевлює навчання і дозволяє проводити заняття в аудиторіях довільного типу. Мобільність лабораторних установок дозволить проводити навчання студентів як в аудиторіях кафедри фізики, так і у філіях навчальних закладів, на підготовчих курсах, курсах підвищення кваліфікації, а також дистанційно. Мініатюрність дасть можливість створювати комплекти лабораторних робіт "Молодого фізика" і комплекти для пересилання студентам, що мають обмеження в пересуванні.

Мета дослідження – теоретичне обґрунтування, вдосконалення, розробка і впровадження у вищих педагогічних навчальних закладах в умовах кредитно-модульного навчання та у середніх загальноосвітніх навчальних закладах недорогих комплектів лабораторних установок, що забезпечують проведення лабораторних робіт із заданої теми фронтально.

Для реалізації поставлених завдань визначені наступні основні етапи:

1. Проаналізувати в науково-методичній літературі:

а) стан і тенденції розвитку методики виконання лабораторних робіт з курсу загальної фізики у вищих педагогічних навчальних закладах в умовах кредитно-модульного навчання та у середніх загальноосвітніх навчальних закладах за умов неперервної освіти;

б) перспективи розкриття фізичних явищ і фундаментальних законів фізики на засадах сучасних наукових знань.

2. Науково обґрунтувати і побудувати засади розкриття явищ і фундаментальних законів фізики при проектуванні лабораторних приладів та розробити їх конструкції.

3. Обґрунтувати і розробити науково-методичну систему (зміст, структуру і методику) навчання на лабораторних заняттях за допомогою розробленого лабораторного обладнання:

- а) у вищій школі в умовах кредитно-модульного навчання;
- б) у середній загальноосвітній школі за умов неперервної освіти.

4. Підготувати відповідні навчальні посібники з проведення лабораторних занять для вищих та середніх навчальних закладів та розробити методичні рекомендації до них.

5. Впровадити в навчальний процес пропоновану науково-методичну концепцію фронтального проведення лабораторних занять з фізики у вищих та середніх навчальних закладах.

Для реалізації цього проекту мініатюризація установок повинна вестися з використанням сучасних досягнень науки, техніки й технології, а вимірювальні блоки уніфіковані на основі оптоелектроніки, яка бурхливо розвивається.

Сучасні волоконно-оптичні датчики дозволяють вимірювати майже все: тиск, температуру, відстань, положення в просторі, швидкість обертання, швидкість лінійного переміщення, прискорення, коливання, масу, звукові хвилі, рівень рідини, деформацію, коефіцієнт заломлення, електричне поле, електричний струм, магнітне поле, концентрацію газу, дозу радіаційного опромінення і т.д.

Проведений аналіз лабораторних практикумів з фізики [14] і досягнень сучасних технологій дає підставу стверджувати, що є можливість мініатюризації переважної більшості лабораторних стендів і розв'язку у такий спосіб поставленого завдання: набуття майбутнім фахівцем з фізики практичних навичок роботи із сучасними приладами й установками при одночасному теоретичному (лекційному) супроводі.

Принциповими положеннями при розробці конструкцій лабораторних установок є: 1) мініатюрність, 2) багатофункціональність, 3) дешевизна, 4) довговічність конструкцій.

Багатофункціональність передбачає три рівні виконання лабораторної роботи на одній установці. Перший – початковий – розрахований на учнів молодших класів. Тому його завдання обмежується переконливою демонстрацією фізичного явища.

Другий рівень розрахований на учнів технікумів, 10-11 класів і передбачає виконання вимірювань, де це потрібно, за допомогою мультиметрів, дозиметрів, фотометрів і сучасних вимірювальних приладів тиску, температури, маси, сили, часу, тощо.

Третій рівень розрахований на використання школярами й студентами комп'ютерних технологій, причому не тільки для обробки результатів вимірювань, а і для проведення безпосередніх вимірювань параметрів фізичного явища за допомогою комп'ютерного осцилографу.

Розглянемо розроблені функціональні і принципові схеми дослідницьких установок, а також методики проведення фронтальних лабораторних робіт з загальної фізики.

## Висновки до розділу 1

Основою вивчення фізики є навчальний експеримент, який складається з таких видів:

1. Демонстрування фізичних явищ, процесів та засобів унаочнення вчителем.
2. Позакласні дослідження
3. Віртуальні дослідження
4. Фізичний практикум
5. Експериментальні задачі
6. Фронтальні лабораторні роботи

Є два методи проведення лабораторних робіт: фронтальний та груповий.

Фронтальний метод проведення роботи передбачає що всі студенти або учні працюють над однією роботою. Допуск до роботи виконується сумісно, а захист одночасно, а всі інші етапи виконуються індивідуально кожним.

При груповій формі проведення лабораторних робіт учні діляться на групи і потім виконують роботу. Кожна група виконує свою роботу. Допуск, виконання та захист лабораторної роботи здійснюється учнями кожної групи окремо.

Порівнюючи переваги та недоліки цих методів отримуємо, що фронтальний метод виконання лабораторних робіт є більш ефективним в порівнянні з груповим. Максимальна ефективність фронтального методу проведення лабораторних робіт буде досягтися за таких умов:

1. Наявність приладу або установки кожному учневі або студенту.
2. Забезпечення необхідного методичного матеріалу.
3. Отримання різних відповідей при виконанні однієї роботи, це необхідно для уникнення списування робіт.



Концепція проведення фронтальних лабораторних занять з фізики ґрунтується на мініатюризації лабораторних установок на основі використання сучасних цифрових технологій.

Суть концепції полягає в наданні кожному студентові можливості виконання лабораторної роботи з теми, яка вивчається на даний час за робочою програмою. Основою нового підходу є мініатюризація лабораторних установок до розмірів, що дозволяють розмістити їх у потрібній кількості в жорсткому чемоданчику – кейсі; кожен кейс повинен містити 20-30 лабораторних (дослідницьких) робіт на одну тему. Кількість кейсів повинна відповідати кількості тем, передбачених навчальним процесом, або хоча б темам з найбільш важливих розділів фізики.

## РОЗДІЛ 2. ВДОСКОНАЛЕННЯ ТА РОЗРОБКА ПРИСТРОЇВ ДЛЯ ДЕМОНСТРАЦІЇ ФРОНТАЛЬНИХ ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ З МЕХАНІКИ

### 2.1. Розробка лабораторної роботи «Вивчення кінематичних законів»

Для вивчення законів кінематики пропонується постановка такої проблеми як дилема Тарзана. Ми називаємо завдання "дилемою", якщо є присутніми принаймні два конкуруючі чинники. З одного боку, чим раніше Тарзан відпускає ліану, тим більшу швидкість він матиме. З іншого боку, чим довше він тримається, тим далі він буде від стартового краю яру і тим більший початковий кут запуску матиме після того, як відпустить ліану. Питання полягає в тому, при якому куті відриву  $\theta$  його горизонтальний шлях буде максимальний? Інтуїтивно це кут  $45^\circ$ , оскільки це оптимальний кут для запуску снаряда на максимальну дальність з рівня землі за відсутності опору повітря. А що ж отримаємо в реальному експерименті? Ці співпадають висновки теорії з практикою?

Уточнимо умови завдання: ліана завдовжки  $L$  залишається в натягнутому стані протягом всього часу стрибка; вона не має маси, і її кінець спочатку знаходиться на висоті  $H$  над землею. Нехай Тарзан - це точкове тіло масою  $M$  і він хапає ліану за самий її кінець. Припустимо, що вектор початкової швидкості Тарзана  $v$  лежить в горизонтальному напрямі. Ми визначаємо максимальну горизонтальну відстань від початкового положення ліани до кінця стрибка  $S$ . Тертям і опором повітря на перших етапах розгляду завдання нехтуємо.

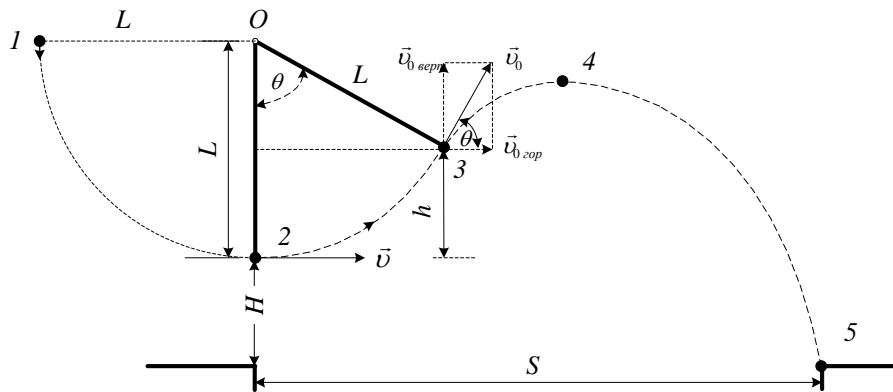


Рис. 2.1. Траєкторія польоту Тарзана

Розглядаючи на першому етапі простіше завдання щодо дальності польоту матеріальної точки, кинуті під кутом  $\theta$  з поверхні землі з початковою швидкістю  $v_0$ , ми отримаємо:

$$S = \frac{v_0^2 \sin 2\theta}{g}. \quad (2.1.)$$

На другому етапі визначимо відстань  $S$ , яку пройде тіло (знову-таки кинуте з початковою швидкістю  $v_0$  під кутом  $\theta$  до горизонту), що запускається з висоти  $H$  над поверхнею землі. Це двовимірне кінематичне завдання, яке описується квадратним рівнянням:

$$H + v_0 \sin \theta \cdot t - \frac{gt^2}{2} = 0, \quad (2.2.)$$

з якого знаходимо час польоту

$$t = \frac{v_0 \sin \theta + \sqrt{(v_0 \sin \theta)^2 + 2gH}}{g}, \quad (2.3.)$$

і пройдену горизонтальну відстань:

$$S = v_0 \cos \theta \cdot t = \frac{v_0 \cos \theta}{g} \left( v_0 \sin \theta + \sqrt{(v_0 \sin \theta)^2 + 2gH} \right). \quad (2.4.)$$

Коли  $H \rightarrow 0$ , рівняння (2.4.) зводиться до рівняння (2.1.). Використовуючи Excel студенти можуть легко розрахувати траєкторію руху матеріальної точки

для різних  $H$ . На графіках 1, 2 (рис. 2.2.) видно, що при збільшенні висоти  $H$  з 0 м до 2 м (зріст Тарзана), оптимальний кут кидання становить  $40^\circ$ , а не  $45^\circ$ , тобто залежить від  $H$ .

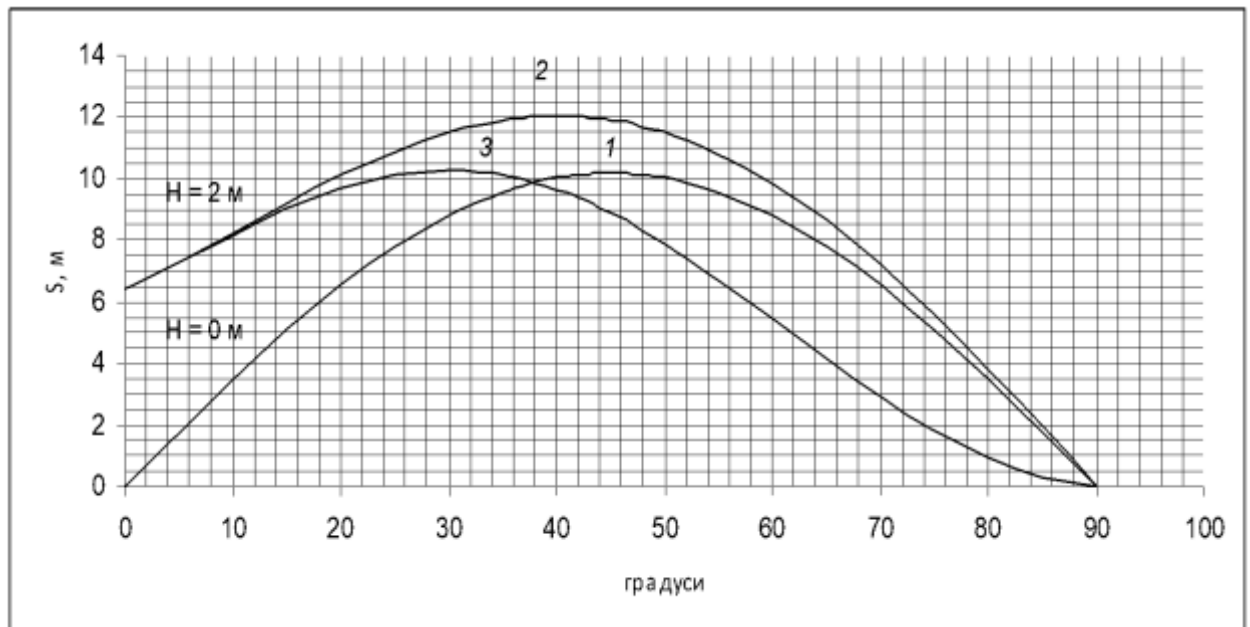


Рис. 2.2. Графіки залежності дальності польоту  $S$  від кута кидання  $\theta$  при швидкості  $v_0 = 10$  м/с

При дослідженні траєкторій виявляється, що "оптимальний кут  $\theta_{opt}$ " для кидка на максимальну відстань зменшується зі збільшенням висоти  $H$ , тобто з дуже високих скель для досягнення максимального ефекту слід кидати об'єкт взагалі по горизонталі ( $\theta_{opt} = 0$ ). Точніший результат виходить, якщо взяти першу похідну  $S'$  і прирівняти її до нуля:  $dS / d\theta = 0$ . Отримаємо кубічне рівняння:

$$6z^3 - 4(1-\eta)z^2 + (2+\eta^2)z - \eta = 0, \quad (2.5.)$$

де  $z = \sin^2\theta$ ,  $\eta = \frac{2gH}{v_0^2}$ , з аналітичним розв'язком, яке може бути отримане за формулою Кардано [32].

Тепер переходимо власне до розв'язку дилеми Тарзана, використовуючи закон збереження енергії для визначення швидкості відриву "Тарзана"  $v_0$  від ліани довжиною  $L$ , якщо його горизонтальна швидкість була  $v$  :

$$\frac{Mv^2}{2} = Mgh + \frac{Mv_0^2}{2} . \quad (2.6.)$$

Оскільки (див. рис. 2.1.)

$$h = L - L\cos\theta,$$

отримуємо формулу для визначення швидкості відриву "Тарзана":

$$v_0 = \sqrt{v^2 - 2gh} = \sqrt{v^2 - 2gL + 2gL\cos\theta} . \quad (2.7.)$$

При швидкості Тарзана  $v = 10$  м/с він може собі дозволити відчепитися від 5 метрової ліани при кутах  $\theta = 0 \div 90^\circ$ . Мінімальна швидкість, необхідна для досягнення певного кута  $\theta$  задається виразом :

$$v_{\min} = \sqrt{2gh} = \sqrt{2gL(1 - \cos\theta)} \quad (2.8.)$$

Критичний кут, при якому завдання втрачає фізичний сенс

$$\theta_c = \arccos\left(1 - \frac{v^2}{2gL}\right) . \quad (2.9.)$$

Підставимо рівняння (2.7.) в (2.4.), додавши  $L \sin\theta$ , і отримаємо залежність дальності стрибка від кута відриву  $\theta$  :

$$S = L \sin\theta + \frac{\cos\theta}{g} \sqrt{v^2 - 2gL + 2gL\cos\theta} \times \\ \times \left[ \left( \sqrt{v^2 - 2gL + 2gL\cos\theta} \right) \sin\theta + \sqrt{\left( v^2 - 2gL + 2gL\cos\theta \right) \sin^2\theta + 2g(H + L - L\cos\theta)} \right] \quad (2.10.)$$

Оцінимо вплив довжини лози  $L$  на довжину стрибка. При малих  $L$ , рівняння (2.10.) переходить в рівняння (2.4.), що свідчить про те, що довжина лози, як і слід було чекати, не грає ніякої ролі у визначенні  $S$ . Для великих  $L$

існує критичний кут, вище за який немає розв'язку задачі, оскільки один з підкорінних виразів стає негативним.

На графіку 3 (рис. 2.2.) побудованому за формулою (2.10.) видно, що оптимальний кут, при якому досягається максимальна дальність польоту, складає величину 30 градусів, а не  $45^{\circ}$ . Оскільки для багатьох учнів цей результат є несподіваним і найчастіше цю розбіжність вони пояснюють опором повітря, виникає необхідність на практиці підтвердити висновки теорії. В роботах [25-30] опір повітря не враховується, а достовірність формули (2.10.) в дослідах не підтверджена, тому метою даної фронтальної лабораторної роботи є теоретичне обґрунтування залежності дальності польоту тіла від кута і висоти кидання до горизонту, яка спостерігається на практиці, та обговорення результатів дослідження дилеми Тарзана на розробленому пристрою.

Для демонстрації явища та доведення нетривіальної тези, що оптимальний кут відриву Тарзана від ліани не є 45 градусів, були розроблені дослідні установки, за допомогою яких ця теза експериментально доводиться (рис. 2.3.). Для проведення фронтальної лабораторної роботи на задану тему були виготовлені лабораторні установки, які кріпляться на столі кожного учня (рис. 2.3, б).

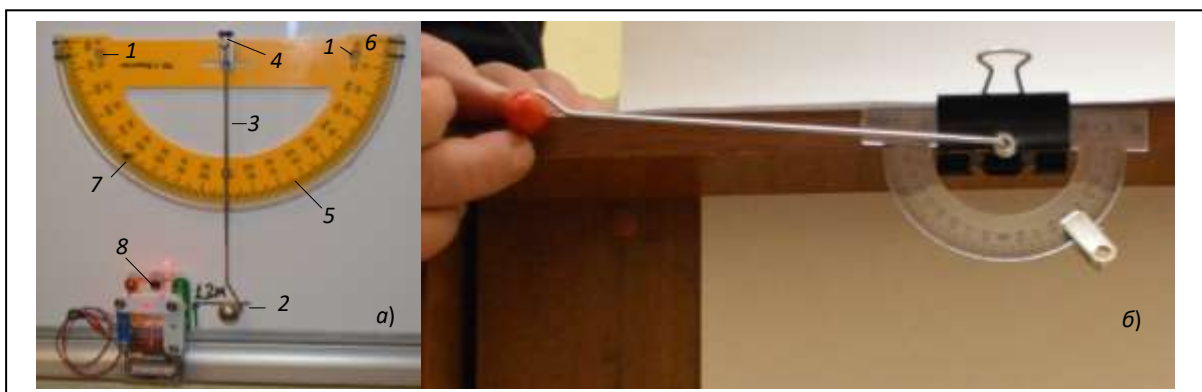


Рис. 2.3. Дослідні установки для розв'язання дилеми Тарзана

Розглянемо будову дослідних установок, які кріпляться до штатива, або дошки за допомогою присосок 1 на деякій висоті  $H$  від підлоги (рис. 2.3, а). Кулька 2 нанизана на гачок підвісу 3 довжиною  $L = 0,3$  м. Гачок перпендикулярний до спиці підвісу, який має можливість обертатися навколо осі 4, яка є центром транспортира 5. Отже, відлік стартового положення кульки фіксується по шкалі транспортира. Ціна поділки транспортира –  $1^\circ$ . Для надання швидкості кулька на підвісі відводиться ліворуч на кут  $90^\circ$  до упору 6 і відпускається. Спиця з кулькою спільно рухається до зустрічі з відбійником 7, за допомогою якого задається кут відриву кульки  $\theta$ . Після звільнення з гачка кулька рухається по дотичній до траєкторії зі швидкістю  $v_0$ .

Величину горизонтальної швидкості  $v$  можна визначати трьома способами. Спосіб, який використовує тільки теоретичні викладки, полягає в використанні закону збереження енергії. Якщо кульку масою  $M$  підняти на висоту  $L$  (точка 1 на рис. 2.1.), то її потенціальна енергія збільшиться на:

$$\Delta E_{pot} = MgL. \quad (2.11.)$$

За законом збереження енергії вона перетвориться в нижній точці траєкторії 2 в кінетичну енергію

$$MgL = \frac{Mv^2}{2}. \quad (2.12.)$$

Тобто квадрат швидкості тіла у точці 2 буде дорівнювати:

$$v^2 = 2gL. \quad (2.13.)$$

Підставимо цей вираз в рівняння (2.10.) та отримаємо розрахункову формулу:

$$S = L \left[ \sin \theta + 2 \cos^2 \theta \cdot \left( \sin \theta + \sqrt{\frac{H+L}{L \cos \theta} - \cos^2 \theta} \right) \right]. \quad (2.14.)$$

Другий спосіб дозволяє експериментально визначити значення  $v$  шляхом вимірювання дальності польоту кульки  $S_0 = S(\theta = 0)$ , коли кут відриву  $\theta = 0$ . Тоді  $v^2 = S_0^2 g / 2H$  і формула (2.10.) буде виглядати так:

$$S = L \sin \theta \left\{ 1 + \frac{a \cdot \cos \theta}{g} \left[ 1 + \sqrt{1 + \frac{2g}{a \cdot \sin^2 \theta} [H + L(1 - \cos \theta)]} \right] \right\}. \quad (2.15.)$$

$$\text{де } a = g \left[ \frac{S_0^2}{2LH} - 2(1 - \cos \theta) \right].$$

Третій спосіб полягає в експериментальному визначенні швидкостей  $v_0$  і  $v$  за допомогою фотодатчика  $\delta$  (див. рис. 2.3, а). Принцип реєстрації швидкості полягає в визначенні часу перекриття  $\Delta t$  світлового потоку кулькою діаметром  $d$ . Тоді швидкість в даній точці траєкторії буде визначатися як  $v = d / \Delta t$ .

Реєстрація точки падіння ведеться візуально з використанням маркерів, а траєкторії руху – за допомогою смартфона в режимі slow motion з подальшою обробкою відео-сюжету комп'ютерною програмою “Tracker” (рис. 2.4.).

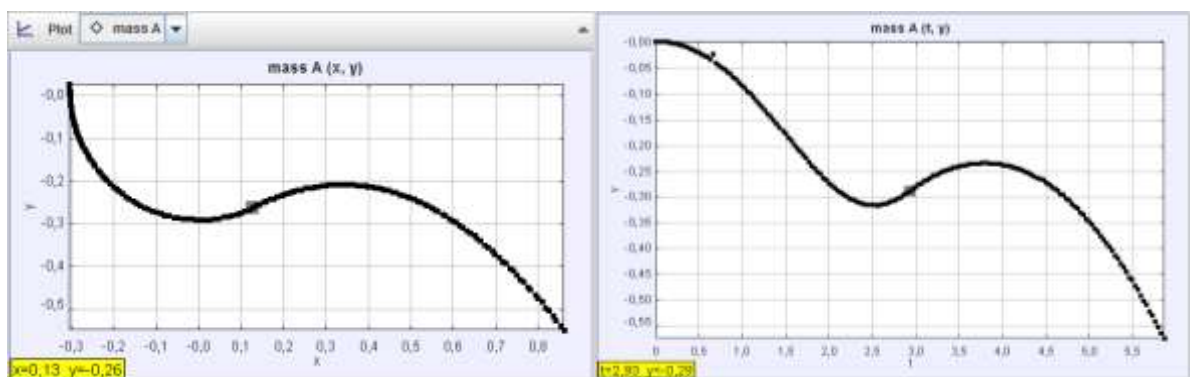


Рис. 2.4. Траєкторія польоту кульки: мітка на графіку – точка відриву кульки від спиці – ліани

Типові результати теоретичних та експериментальних досліджень наведено в табл. 2.1.



Таблиця 2.1.

**Результати дослідів ( $L = 0,3$  м,  $H = 1,2$  м,  $v = 2,5$  м/с)**

$\theta$ , градуси	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45
$S$ , м	1,237	1,32	1,37	1,41	1,425	1,43	1,38	1,3	1,23	1,12
$S_{\text{теор}} [10]$ , м	1,237	1,313	1,376	1,422	1,449	1,454	1,437	1,396	1,332	1,247

Як видно з даних табл. 2.1., існує деяка розбіжність у залежностях: максимальна дальність польоту настає при різних кутах відриву: в експериментах  $\theta_{\text{опт}} = 25^\circ$ ,  $S_{\text{max}} = 1,43$  м, а згідно рівнянню (2.10.)  $\theta_{\text{опт}}^{\text{теор}} = 23,5^\circ$ ,  $S_{\text{max}} = 1,455$  м. Чи може ця різниця бути пов'язана з опором повітря, сила якого в залежності від режиму течії газу може бути лінійно або квадратично пропорційна швидкості руху тіла? Розглянемо це питання.

У книзі Я.І. Перельмана "Цікава фізика" про вплив повітря розповідається так: "Покинувши ствол рушниці під кутом  $45^\circ$ , з початковою швидкістю 620 м/с, куля описала б дугу в 10 км заввишки; дальність польоту склала б майже 40 км. Насправді ж куля за вказаних умов описує порівняно невелику дугу і дальність її польоту складає 4 км. Такий результат протидії повітря!". В нашому випадку режим течії визначається числом Рейнольдса для сталеві кульки діаметром  $d = 2,5$  см, яка рухається з максимальної швидкістю  $v = S_0 \sqrt{\frac{g}{2H}} = 1,135 \sqrt{\frac{9,81}{2 \cdot 0,9}} = 2,5$  м/с в повітрі ( $\rho_n = 1,29$  кг/м<sup>3</sup>), коефіцієнт динамічної в'язкості якого для сталеві кульки дорівнює  $\eta = 1,7 \cdot 10^{-5}$  Па·с:

$$Re = d\rho_n v / \eta \approx 5000.$$

При малих значеннях  $Re$  домінує сила внутрішнього тертя. Якщо число Рейнольдса  $Re \ll 1$ , то течія ламінарна і залежність сили опору повітря від швидкості лінійна. При значеннях числа Рейнольдса  $1 < Re < 20000$ , домінує сила динамічного лобового опору. Ця область відповідає переходу від ламінарної до турбулентної течії при цьому коефіцієнт опору в області

$Re = 5000$  досягає свого мінімального стабільного значення, а залежність сили опору повітря – квадратична:

$$\vec{F}_C = -k|\vec{v}|\vec{v}, \quad k > 0. \quad (2.16.)$$

Другий закон Ньютона для цього випадку має вигляд

$$M \frac{d\vec{v}}{dt} = M\vec{g} - k|\vec{v}|\vec{v}, \quad \text{або} \quad \frac{d\vec{v}}{dt} = \vec{g} - \frac{k}{M}|\vec{v}|\vec{v}. \quad (2.17.)$$

У скалярному виді це рівняння має вигляд:

$$\begin{cases} \frac{dv_x}{dt} = -\frac{k}{M} \sqrt{v_x^2 + v_y^2} \cdot v_x \\ \frac{dv_y}{dt} = -g - \frac{k}{M} \sqrt{v_x^2 + v_y^2} \cdot v_y \end{cases} \quad (2.18.)$$

Це система нелінійних диференціальних рівнянь, яку не вдається розв'язати в явному виді, тому необхідно застосувати чисельне моделювання. Комп'ютер дозволяє досить швидко вирішити цю складну систему рівнянь, побудувати графік залежності (рис. 2.5.). Досліджуючи графік  $y = y(t)$  з'являється можливість довести, що з-за сили опору повітря час підйому тіла менше часу спуску на той же рівень. Окрім цього можна обчислити швидкість і її проекції на осі в даний момент часу, знайти нормальне і тангенціальне прискорення, радіус кривизни траєкторії, з'ясувати величину прискорення тіла тощо.

Таким чином, дане завдання, пов'язане з дилемою Тарзана, дозволяє сформуванню у студентів уявлення про можливість використання математичного пакету MathCAD при вивченні фізики. Студентам наочно показується, що комп'ютерне моделювання, проведення обчислювального експерименту є одним з сучасних методів дослідження фізичних явищ. Майбутні учителі фізики повинні мати уявлення про комп'ютерні моделі, чисельні методи вивчення різних об'єктів пізнання, вільно орієнтуватися в сучасних програмних продуктах.

Як видно з рис. 2.5. для розробленої установки впливом опору повітря на траєкторію руху кульки можна нехтувати. Тому остається дослідити роботу

пускового приладу: чи дійсно він працює як задано початковими умовами: маса ліани  $m = 0$ , маса кульки  $M \neq 0$ ?

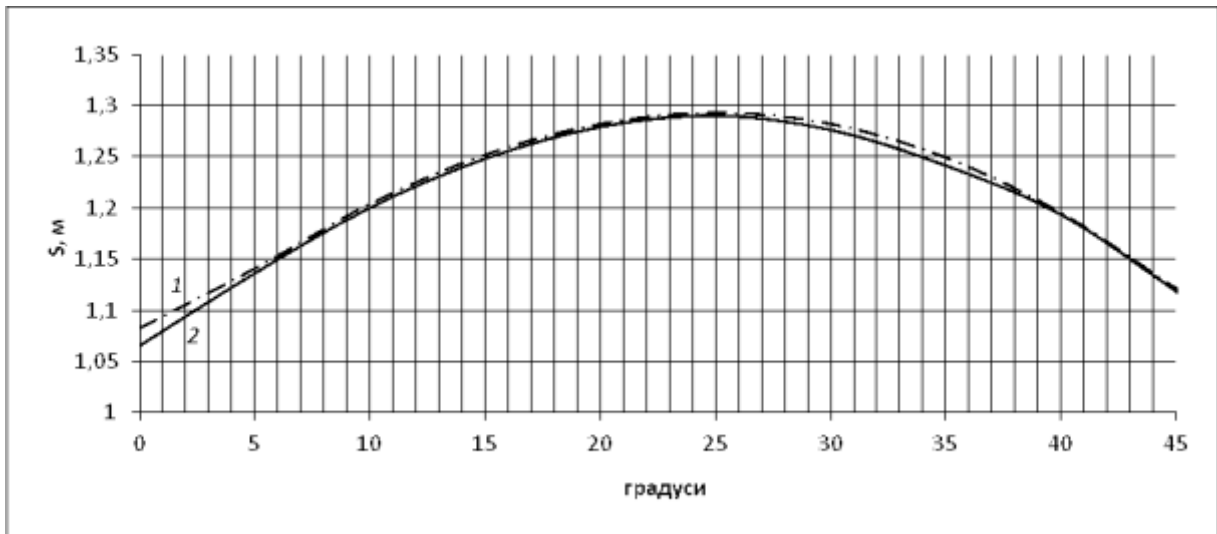


Рис. 2.5. Розрахунок залежності дальності польоту кульки від кута відриву: 1 – без врахування сили опору повітря, 2 – з врахуванням сили опору повітря

Ясно, що при виготовленні установки стрижень (ліана), на якому кріпиться кулька має масу  $m \neq 0$ , тому необхідно враховувати момент інерції стрижня і вносити поправку  $k = 1 + \frac{m}{2(3M + m)}$  в формулу (2.10.):

$$S = L \sin \theta + \frac{\cos \theta}{g} \sqrt{v^2 - 2gLk(1 - \cos \theta)} \times \left[ \left( \sqrt{v^2 - 2gLk(1 - \cos \theta)} \right) \sin \theta + \sqrt{\left( \sqrt{v^2 - 2gLk(1 - \cos \theta)} \right) \sin^2 \theta + 2g(H + L - L \cos \theta)} \right] \quad (2.19.)$$

Для порівняння на рис. 2.6. наведено графіки залежності дальності польоту кульки від кута відриву: 1 – експеримент, 2 – розрахунковий згідно формули (2.19.), коли  $k = 1,25$ , 3 - згідно формули (2.10.), коли  $k = 1$ .

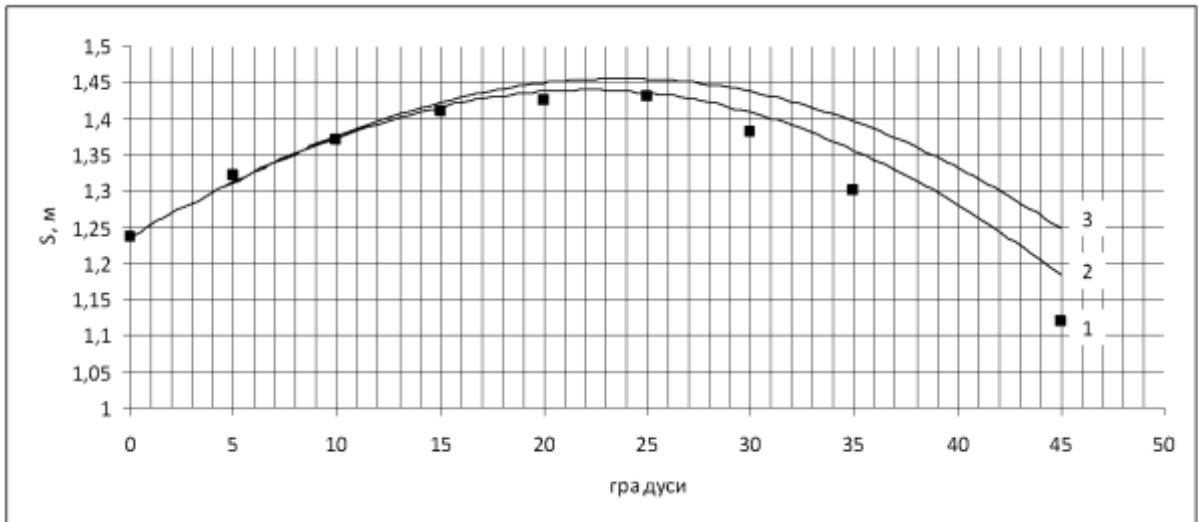


Рис. 2.6. Графіки залежності дальності польоту кульки від кута відриву

Як видно з графіка 2 формула (2.19.) вірно описує експериментальну залежність дальності польоту кульки  $S$  від кута відриву  $\theta$ . Максимальна дальність польоту складає  $S_{\max} = 1,439$  м при  $\theta = 22^\circ$ , що майже вдвічі менше  $45^\circ$ .

## 2.2. Розробка лабораторної роботи «Машини Атвуда з постійною масою вантажу»

Лабораторна установка (рис. 2.7.) складається з лінійки 1, блока 2, важків 3, 4 з'єднаних капроновою ниткою. Кожен з двох важків є циліндром з порожниною (рис. 2.8.) для насипання монет (масою  $m$  кожна), або води, піску. Циліндри мають отвори для витікання води або піску. Шкала з блоком прижмається до торця поверхні столу 6 прищипкою 5. Лінійка гнучка, тому вона може скручуватися в клубок і 10-15 таких пристроїв легко розміщується в одному кейсі. Це дозволяє проводити досліди фронтально: кожен учень має власну експериментальну установку.

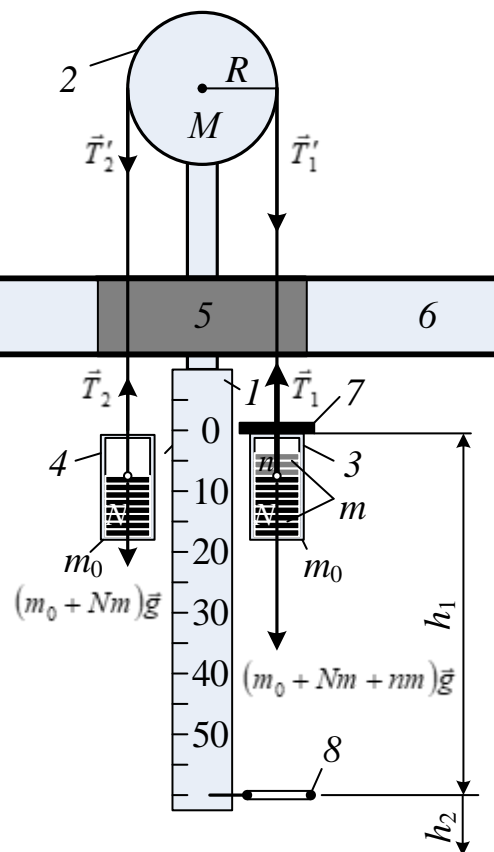


Рис. 2.7. Машина Атвуда

На вантаж 3 можна покласти додатковий вантаж у вигляді диску 7, діаметр якого дещо більший циліндра 3. При падінні з висоти  $h_1$  диск в момент проходження через кільце 8 залишається на кільці, а важки 3, 4 продовжують рух.

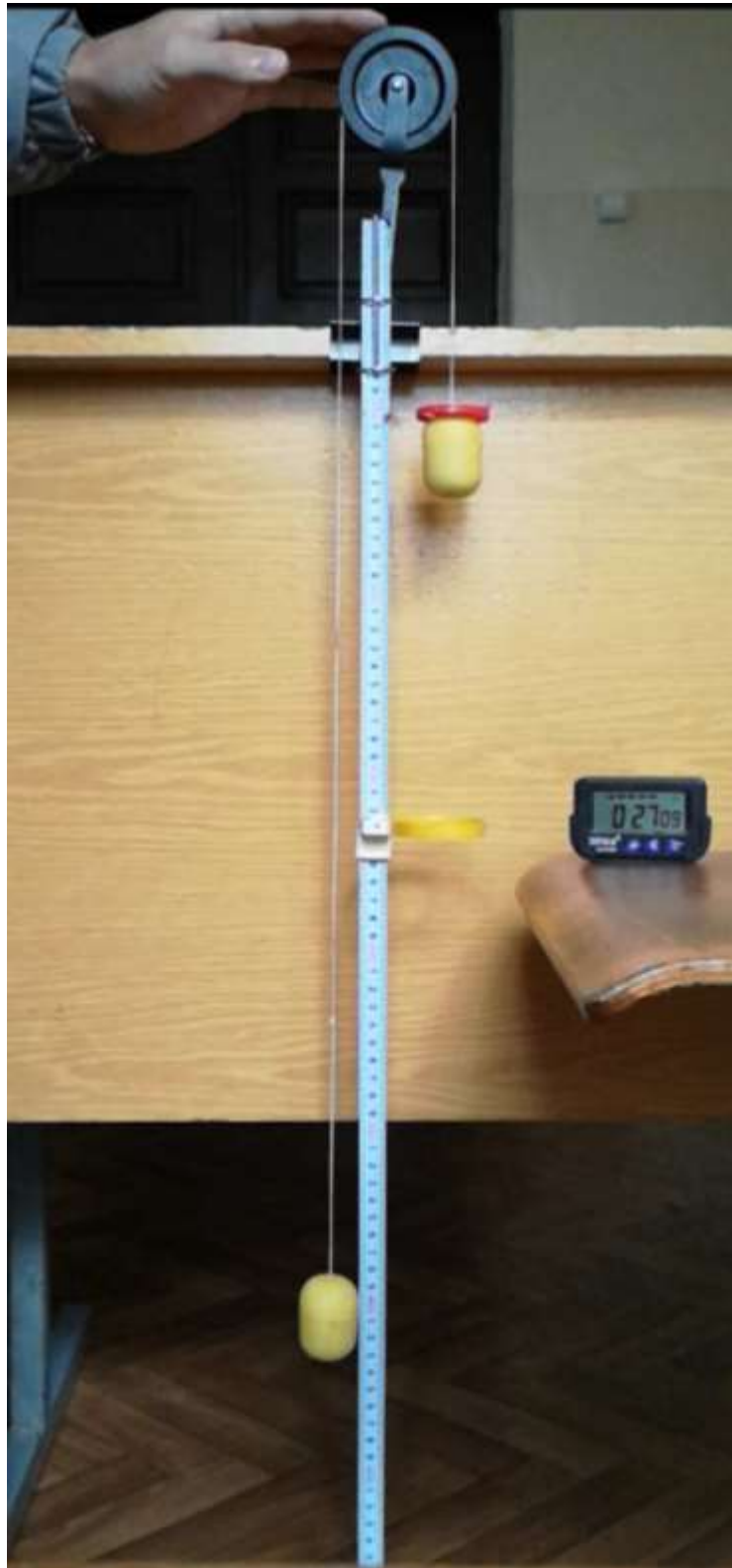


Рис. 2.8. Машина Атвуда для проведення фронтальних лабораторних робіт

Отже, ця установка є аналогом машини Атвуда, яка відрізняється тільки на два порядки меншою ціною, високою точністю вимірювання тривалості процесу, яку забезпечує смартфон, та мініатюрністю.

На першому етапі дослідів диск 7 не використовується. Якщо в кожному порожньому циліндрі, які мають масу  $m_0$ , насипати по  $N$  монет масою  $m$  кожна, то вантажі рухатися не будуть. Щоб почався рух потрібно, наприклад, в циліндр 4 насипати ще  $n$  монет. Тоді відношення прискорення руху до прискорення вільного падіння буде визначатися, як легко показати, формулою:

$$\eta = \frac{a}{g} = \frac{1}{1 + \frac{1}{n} \left[ \frac{M}{2m} + 2 \left( N + \frac{m_0}{m} \right) \right]}. \quad (2.20.)$$

Якщо масою шківів  $M$  і масою циліндрів  $m_0$  знехтувати, то формула (2.20.) набуває вигляду:

$$\eta = \frac{a}{g} = \frac{1}{1 + 2 \frac{N}{n}}. \quad (2.21.)$$

Залежність відношення  $\eta$  від відношення  $N/n$  наведено на графіку рис. 2.9.

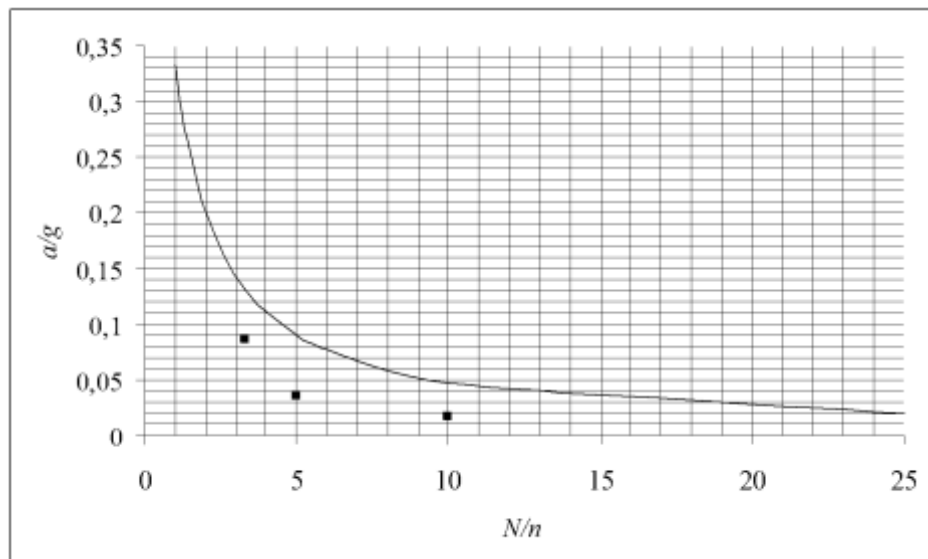


Рис. 2.9. Графік залежності  $a/g$  від відношення  $N/n$  за формулою (2.21.)

На рис. 2.9. точками наведено експериментальні дані. Видно, що нехтування масою шківів  $M$  і масою циліндрів  $m_0$  приводить до значної похибки при визначенні величини відношення  $a/g$ . Для досягнення узгодженості теоретичних і практичних розрахунків за допомогою електронних терезів були виміряні маси:  $m = 1,7$  г,  $m_0 = 4$  г,  $M = 9$  г (діаметр шківів 42 мм). З врахуванням цього формула (1) перетворилася на:

$$\eta = \frac{a}{g} = \frac{1}{1 + \frac{1}{n} \left[ \frac{9}{3,4} + 2 \left( N + \frac{4}{1,7} \right) \right]} = \frac{1}{1 + 2 \cdot \frac{N}{n} + \frac{7,35}{n}} \quad (2.22.)$$

Тобто, в знаменнику з'явився додатковий чинник  $\frac{7,35}{n}$ , максимальне значення якого є 7,35. Графіки за формулою (2.22.) наведено на рис. 2.10.

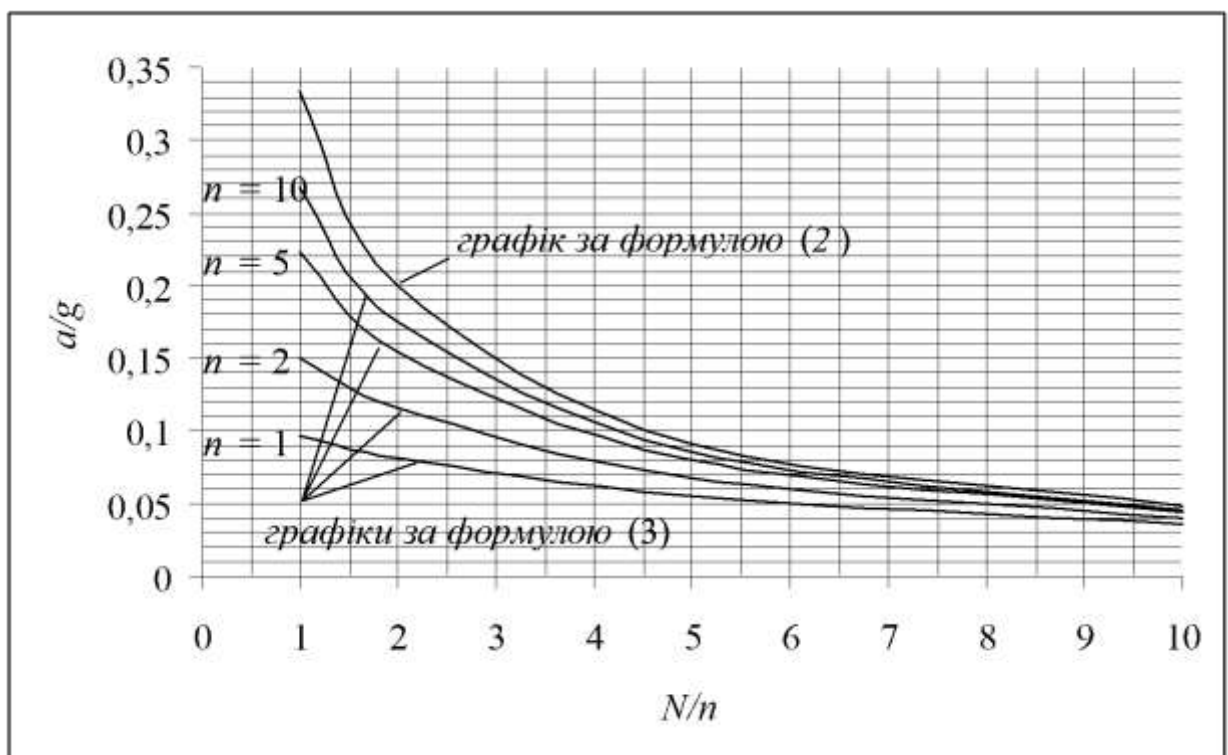


Рис. 2.10. Графіки залежності  $a/g$  від відношення  $N/n$  за формулою (2.22.)



Як видно, найбільш узгоджуються результати експериментів з теоретичними залежностями, коли  $n = 2$ , а також при збільшенні відношення  $N/n$ . Але при збільшенні кількості монет буде рости тиск на вісь шківів, тобто буде рости момент сил тертя. Тому були проведені вимірювання величини моменту сили тертя. З цією метою здійснювалась *компенсація* сили тертя. Для цього в порожнину циліндра  $3$  клалися  $N$  монет, починаючи з  $N = 1$ , а в циліндр  $4$   $N + n$  монету. Компенсація вважалася закінченою, якщо важки самовільно не приходять в рух, але після легенького поштовху правого важка вниз вони продовжують рухатись з наданою їм швидкістю. Результати досліджень наведені в табл. 2.2.

Таблиця 2.2.

**Результати досліджень залежності сили тертя від навантаження на вісь шківів**

$2N+n$ , г	62 г	136,6 г
$n$	1	2
$N$ (10 коп)	18	40

Отже, величина моменту сили тертя, яка виникає при навантаженні осі масою 62 г, дорівнює

$$M_{mp} = nm_k gR = 1,7 \cdot 10^{-3} \cdot 9,81 \cdot 21 \cdot 10^{-3} = 0,35 \text{ мН} \cdot \text{м},$$

де  $m_k$  – маса монети (табл. 2.3.).

Таблиця 2.3.

**Маса монет**

Номинал, коп	1	2	5	10	25	50	1 грн
Маса, г	1,5	1,8	4,3	1,7	2,9	4,2	7,1

Якщо тепер на правий важок покласти перегрузок масою  $m_1$ , то система почне рухатись з прискоренням  $a$ . На основі другого закону Ньютона, вважаючи маси важків однаковими і рівними  $m$ , а блок невагомим, одержимо:

$$\begin{cases} T - mg = ma, \\ (m + m_1) \cdot g - T = (m + m_1) \cdot a \end{cases}$$

звідки:

$$a = \frac{m_1 g}{2m + m_1} \quad (2.23.)$$

Якщо врахувати масу блоку (будемо вважати його однорідним диском), то система рівнянь, що описує рух важків, буде наступною:

$$\begin{cases} T_1 - mg = ma \\ (m + m_1) \cdot g - T_2 = (m + m_1) \cdot a \\ (T_2 - T_1) \cdot r = J \cdot \varepsilon \\ a = \varepsilon \cdot r \end{cases} \quad (2.24.)$$

В цій системі  $T_1, T_2$  – сили натягу нитки по різні сторони шківа,  $r$  – його радіус;  $J = \frac{1}{2} m_0 r^2$  – момент інерції шківа. Розв'язок цієї системи рівнянь дає для прискорення вираз:

$$a = \frac{m_1 g}{2m + m_1 + \frac{m_0}{2}} \quad (2.25.)$$

*Експеримент 2.* Характеристика шківа:  $\varnothing 64\text{мм}$ ,  $M = 24\text{ г}$ .

1. Компенсація: 18 монет по 10 копійок ліворуч, праворуч – 19 монет по 10 копійок

2. Праворуч закладено 20 монет по 10 копійок + червоне опорне кільце з 3-мя булавками ( $m_1 = 38\text{ г}$ ), ліворуч – 18 монет по 10 копійок ( $m_2 = 35\text{ г}$ ).

Залежність шляху падіння від часу наведено на рис. 2.11.

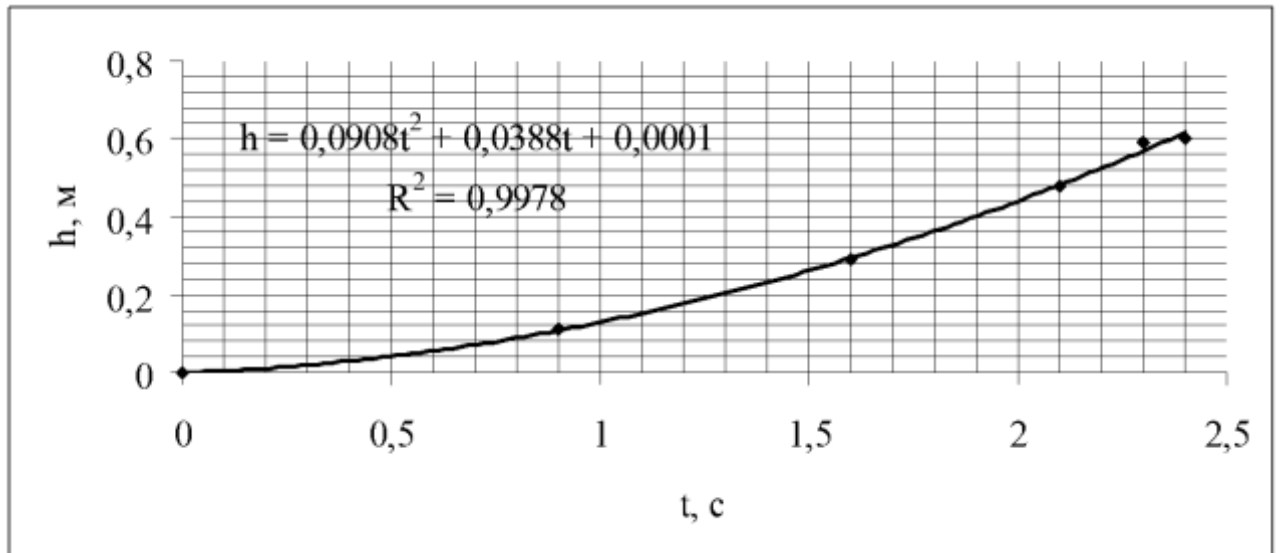


Рис. 2.11. Залежність шляху падіння від часу

Як видно з рис. 2.11. прискорення, з яким рухаються вантажі, становить  $0,182 \text{ м/с}^2$ .

Теоретичне значення без врахування компенсації

$$a_{\text{теор}} = \frac{m_1 - m_2}{0,5M + m_1 + m_2} \cdot g = \frac{(38 - 35) \cdot 9,81}{24/2 + 38 + 35} = 0,346 \text{ м/с}^2$$

майже удвічі більше експериментального значення. З урахуванням того, що одна монета номіналом 10 копійок служить компенсатором, тоді

$$a_{\text{теор}} = \frac{m_1 - m_2 - 1,7}{0,5M + m_1 + m_2 - 1,7} \cdot g = \frac{(36,3 - 35) \cdot 9,81}{83,3} = 0,153 \text{ м/с}^2,$$

що майже збігається з експериментальним результатом.

### 2.3. Розробка лабораторної роботи «Машини Атвуда зі змінною масою вантажу»

Сила, яка приводить в рух систему з двох вантажів в машині Атвуда - це різниця у вазі між  $m_1$  і  $m_2$ . Якщо вважати силу тертя  $F_{\text{тр}}$  в осі шківів величиною постійною, то рівняння руху для системи є

$$\left(m_1 + m_2 + \frac{I}{R^2}\right)a = (m_1 - m_2)g - F_{\text{тр}}, \quad (2.26.)$$

де  $I$  - момент інерції шківів.

Якщо ми візьмемо  $I \cong 0,5m_p R^2$  і визначимо ефективну масу  $M = m_1 + m_2 + 0,5m_p$ , то ми побачимо, що машина Атвуда аналогічна системі з масою  $M$ , на яку діє сила  $(m_1 - m_2)g - F_{\text{тр}}$ . Іншими словами

$$Ma = (m_1 - m_2)g - F_{\text{тр}}. \quad (2.27)$$

Тепер розглянемо машину Атвуда як систему з масою, що змінюється в часі контрольованим чином (рис. 2.12.).



Рис. 2.12. Установа Атвуда зі змінною масою вантажа для проведення фронтальних лабораторних робіт

Дослідження на установці Атвуда такого типу повинні ілюструвати другий закон Ньютона для систем зі змінною масою та залежність швидкості потоку від прискорення. Вивчення цих систем є цікавим завданням для студентів і розширює їхнє розуміння законів динаміки.

Другий закон Ньютона щодо одновимірного руху може бути записано як

$$\frac{dP}{dt} = F, \quad (2.28)$$

де  $P$  - загальний імпульс системи, а  $F$  - результуюча сила, що діє на неї.

Маса системи змінюється в часі, тому імпульс також змінюється. Розглянемо варіацію імпульсу між  $t$  і  $t + \Delta t$ . В момент  $t$  ефективна маса  $M$  системи рухається зі швидкістю  $v$ , а імпульс  $P = Mv$ . Після  $\Delta t$  система змінила масу  $\Delta M (< 0)$  та її швидкість змінилася на  $\Delta v$ . Якщо пісок залишає систему зі швидкістю  $u$  відносно контейнера загальний імпульс через  $t + \Delta t$  є

$$P(t + \Delta t) = (M + \Delta M)(v + \Delta v) - (v + u)\Delta M. \quad (2.29.)$$

Будемо вважати, що початкова відносна швидкість  $u$  піску, що залишає контейнер дорівнює нулю ( $u = 0$ ). Тоді зміна імпульсу буде:

$$\Delta P(t) = P(t + \Delta t) - P(t) = (M + \Delta M)(v + \Delta v) - v\Delta M - vM. \quad (2.30)$$

Тому в межі  $t \rightarrow 0$  маємо

$$\frac{dP}{dt} = M(t) \frac{dv}{dt}, \quad (2.31.)$$

який подібний до виразу для випадку коли маса константа, але з важливою різницею, що маса  $M(t)$  тепер змінюється в часі. Якщо дозволити змінюватися масі  $m_1$  у часі, то рівняння (2.27.) буде виглядати так:

$$M(t) a = (m_1(t) - m_2)g - F_{\text{тр}}. \quad (2.32.)$$

де  $M(t) = m_1(t) + m_2 + \frac{m_p}{2}$ .

Оскільки геометрія експериментальної установки – та сама, що використовувалося раніше з постійної масою вантажів, ми очікуємо, що тертя  $F$  не зміниться. Ми очікуємо також, що швидкість потоку буде змінюватись з прискоренням. Дійсно, якби контейнер був при вільному падінні жоден пісок не залишив би систему. Згідно з [32], потік буде змінюватися в залежності від прискорення як

$$c(a) = c_0 \left( 1 + \frac{a}{g} \right)^\alpha, \quad (2.33.)$$

де  $c$  - швидкість потоку ( $- dm / dt$ ) при прискоренні  $a$ , і  $c_0$  - потік, коли прискорення немає. Знак прискорення такий, що якщо система знаходиться у вільному падінні,  $a = -g$ . Залежність потоку від прискорення у рівнянні (2.33.) показує очікувану поведінку при  $a = 0$  і  $a = -g$ . За розмірним аналізом в роботі [32] зроблено висновок, що показник  $\alpha$  у рівнянні (2.33.) дорівнює  $\frac{1}{2}$ . Ми перевіримо цей висновок, використовуючи наші дані.

Якщо  $a \ll g$ , ми можемо використовувати наближення

$$c(a) \approx c_0 \left( 1 + \alpha \frac{a}{g} \right), \quad (2.34.)$$

Визначимо параметри так:

$$m_{1,0} = m_1(t=0), \quad m_{12,0} = m_{1,0} - m_2, \quad (2.35.)$$

$$M_0 = M(t=0) = m_{1,0} + m_2 + \frac{m_p}{2}, \quad (2.36.)$$

і в комбінації з рівняннями (2.32.) і (2.34.) отримаємо:

$$a(t) = \frac{dv}{dt} = \frac{(m_{12,0} - c_0 t)g - F_{\text{тр}}}{(M_0 - c_0 \lambda t)}, \quad (2.37.)$$

де

$$\lambda = \left( 1 - \alpha \left( 1 - \frac{a}{g} \right) \right). \quad (2.38.)$$

Параметр  $\lambda$  залежить лінійно від  $a$ , тому це не дає можливості інтегрувати рівняння (2.38.) простими методами. Однак, ми можемо апроксимувати  $a/g$  у рівнянні (2.38.) за середнім значенням, розрахованим за допомогою рівняння (2.32.) і замінити  $m_1$  середнім значенням,  $\langle m_1(t) \rangle \approx m_{1,0}/2$ , і не враховувати силу тертя. Тому використовуючи параметри  $M_0$  і  $m_{1,0}$ , введені раніше, ми отримуємо

$$\lambda \approx 1 - \alpha \left( 1 - \frac{\frac{1}{2}m_{1,0} - m_2}{M_0 - \frac{1}{2}m_{1,0}} \right) = 1 - \alpha \left( \frac{2m_2 + \frac{1}{2}m_p}{M_0 - \frac{1}{2}m_{1,0}} \right). \quad (2.39.)$$

Рівняння (2.37) тепер може бути інтегровано і отримано вирази як для швидкості, так і координати одної з маси:

$$v(t) = v(t=0) + \frac{gt}{\lambda} + \frac{(M_0 - \lambda m_{12,0}) \cdot g + \lambda F}{c_0 \lambda^2} \times \ln \left( 1 - \frac{c_0 \lambda t}{M_0} \right), \quad (2.40)$$

$$x(t) = x(t=0) + v(t=0)t + \frac{gt^2}{2\lambda} + M_0 \frac{(M_0 - \lambda m_{12,0}) \cdot g + \lambda F}{c_0^2 \lambda^3} \left( 1 - \frac{c_0 \lambda t}{M_0} \right) \left[ \ln \left( 1 - \frac{c_0 \lambda t}{M_0} \right) - 1 \right]. \quad (2.41.)$$

Рівняння (2.40.) і (2.41.) можна порівняти безпосередньо з результатами експериментів. З порівняння ми можемо оцінити обґрунтованість нашої моделі та отримати значення  $\alpha$ , єдиний вільний параметр.

### 2.3.1. Результати експериментів

На рис. 2.13. - 2.16. наведені результати вимірювань зі змінною масою вантажа.

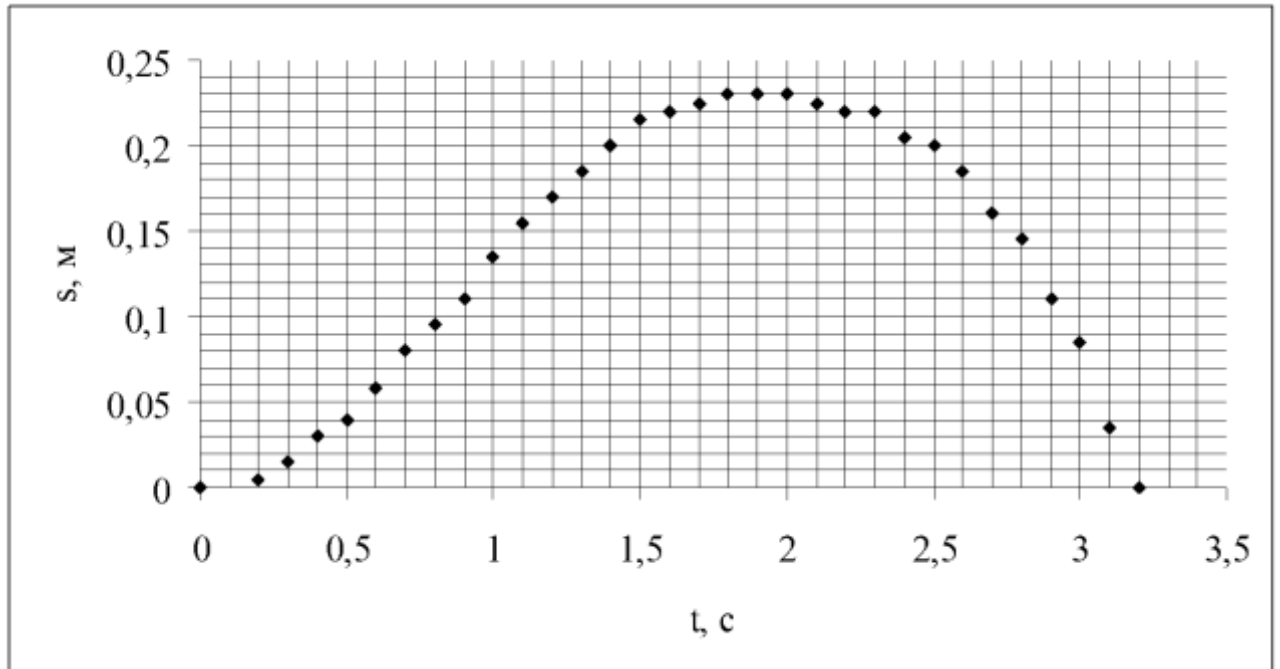


Рис. 2.13. Залежність шляху вантажа з піском, коли він висипається, від часу

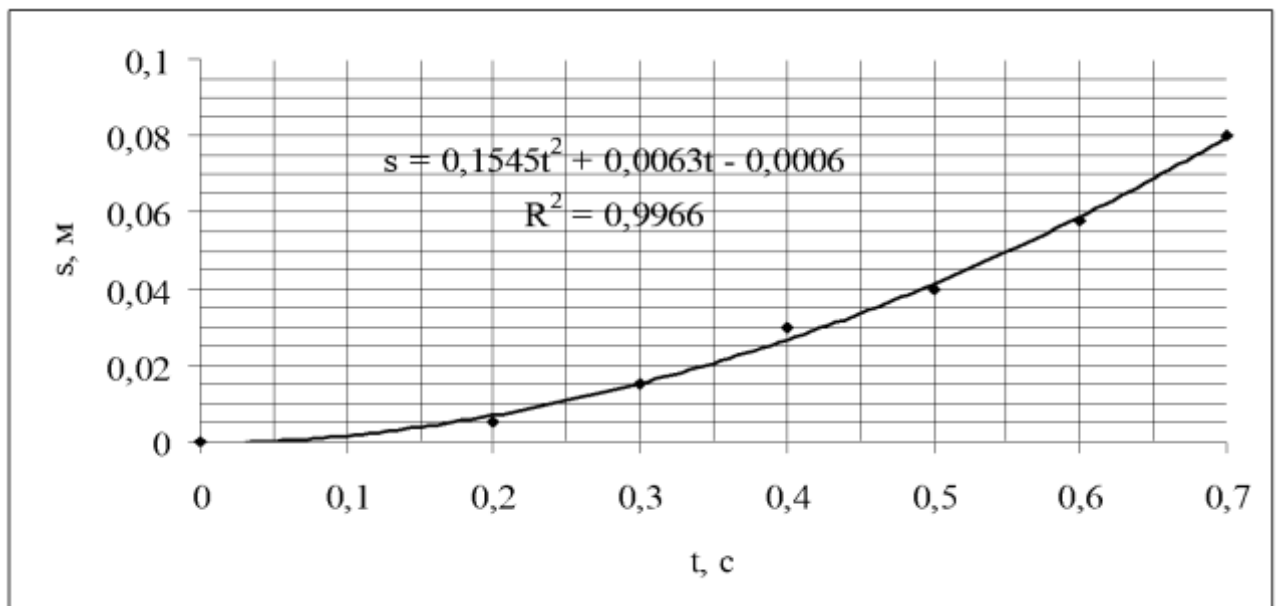


Рис. 2.14. Графік залежності шляху від часу при падінні вантажа з піском після старту



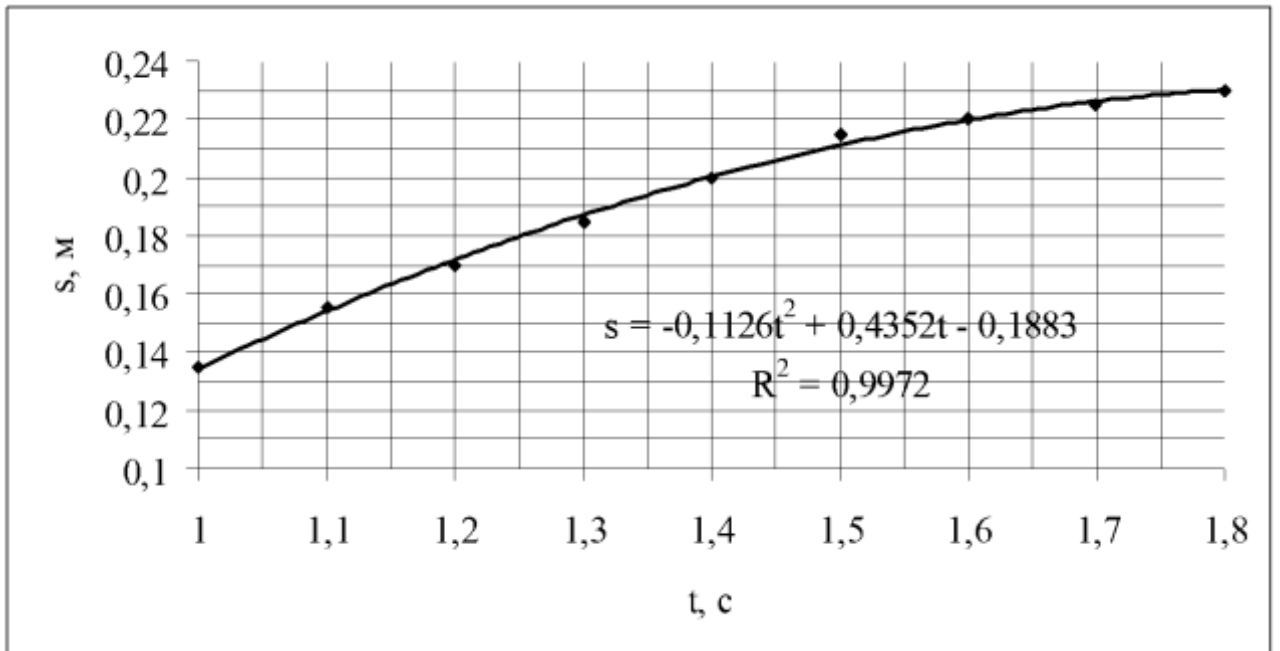


Рис. 2.15. Графік залежності шляху від часу при падінні вантажа з піском перед зупинкою

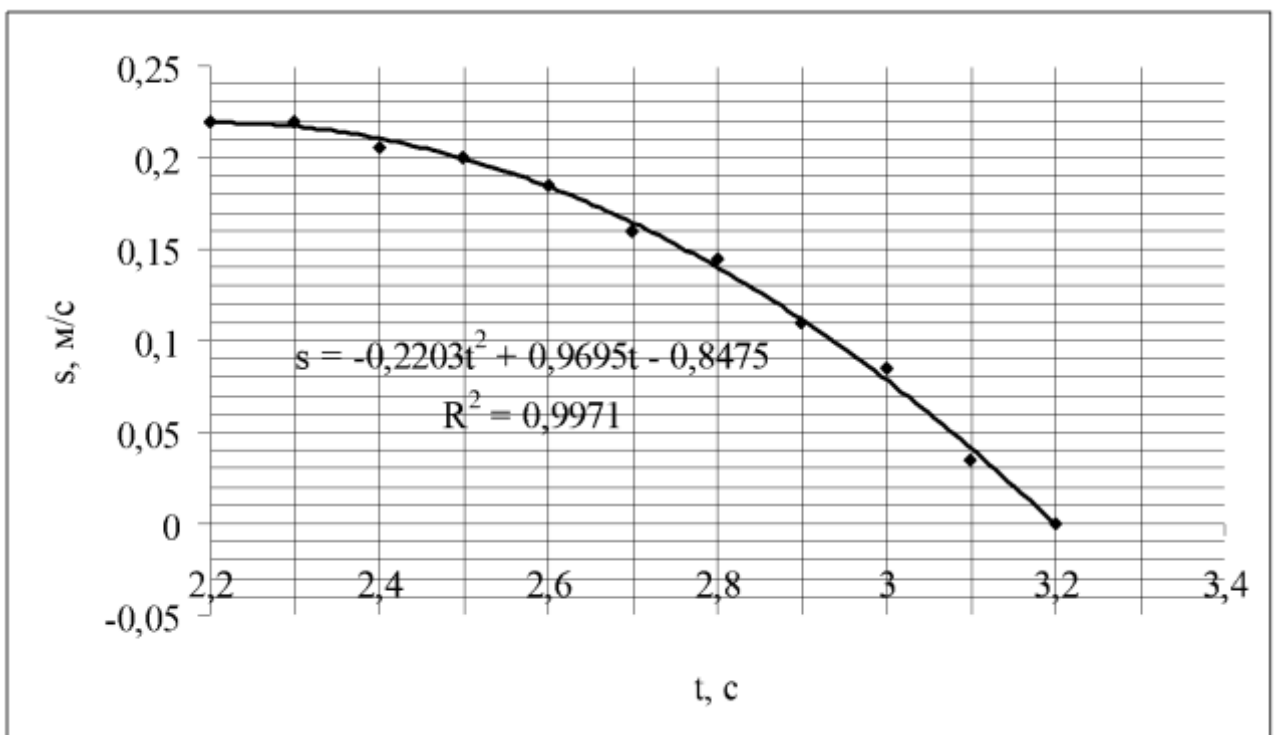


Рис. 2.16. Графік залежності шляху від часу при піднятті вантажа з піском

Як видно з графіків рис. 2.13. – 2.16. на шляху 0,23 м, вантаж рухався вниз спочатку з прискоренням  $0,31 \text{ м/с}^2$ , потім перед зупинкою – гальмував з прискоренням  $-0,22 \text{ м/с}^2$ , а потім став підніматися з прискоренням  $0,44 \text{ м/с}^2$ .

В результаті порівняння експериментальних з теоретичними кривими, отриманими від рівнянь (2.40) і (2.41.) для різних значень  $\alpha$ , можна довести [25], що  $\alpha = 1,5$ , як передбачає теорія.

## Висновки до розділу 2

З метою доведення нетривіальної тези, що оптимальний кут відриву від ліани не є 45 градусів, була розроблена теорія, яка описує процес стрибка Тарзана через прірву, та проведені дослідження, за допомогою яких цю тезу було теоретично та експериментально доведено.

Формула, яка описує залежність максимальної довжини стрибка Тарзана від кута відриву, швидкості розгону, довжини ліани та її висоти над поверхнею землі, дозволяє студентам використовуючи Excel або математичний пакет MathCAD розрахувати траєкторію руху матеріальної точки та його кінематичні параметри.

Розв'язок задачі, поданої у вигляді “дилеми Тарзана”, за допомогою розроблених дослідницьких установок дозволяє вирішити ряд важливих для навчального процесу завдань. Перший урок, які отримують студенти теоретично і практично вирішуючи дилему Тарзана полягає в тому, що складну проблему можна розбити на ряд простіших. Другий урок полягає в демонстрації сили теоретичної фізики, підкріпленої експериментами. Третє надбання – в отриманні дуже корисної математичної практики і придбанні конкретних навичок роботи з відео реєстраторами та комп'ютером при теоретичних дослідженнях і обробці результатів фізичних експериментів.

Ще одним важливим результатом проведеної роботи є доведення того факту, що теоретичні викладки при розгляді будь-якого явища можна зупиняти лише тоді, коли теоретично знайдені залежності повністю узгоджуються з результатами експериментів.

Перевагою розробленої мініатюрної установки є можливість фронтального проведення лабораторної роботи на тему: «Вивчення кінематичних законів», коли кожному студентові або учню надається дослідницька установка. При цьому можлива різна глибина досліджень з використанням знань не тільки з кінематики, динаміки, аеродинамічних

властивостей кинутих тіл різної форми, оптики, а й методів реєстрації фізичних процесів.

Ми також створили машину Атвуда зі змінною масою для вивчення динаміка системи зі змінною масою. Простота пристрою дозволяє нам знайти хорошу згоду між теорією та експериментальними результатами. Крім того, цей пристрій дозволив нам вивчити залежність потоку зернистих середовищ в прискореній системі, що дало можливість зрозуміти, як протікання зернистих носіїв може змінюватися там, де прискорення сили тяжіння різниться від того, що є на Землі. Наші експериментальні результати підтверджують, що витрата зернистих середовищ збільшується пропорційно з коренем квадратним від загального прискорення системи вантажів.

### **РОЗДІЛ 3. ВДОСКОНАЛЕННЯ ТА РОЗРОБКА ПРИСТРОЇВ ДЛЯ ПРОВЕДЕННЯ ФРОНТАЛЬНИХ ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ З ЕЛЕКТРИКИ**

#### **3.1. Розробка лабораторної роботи «Вивчення процесів зарядки і розрядки конденсатора»**

В навчальній програмі з фізики в загальноосвітніх навчальних закладах на 2019 рік передбачено перелік робіт які є орієнтованими для демонстрації та проведення лабораторних робіт (лабораторного практикуму, фронтальних лабораторних та практичних робіт). В зв'язку обмеженою кількістю годин які виділяються на проведення лабораторних робіт вимагається створення універсальних установок, які будуть охоплювати велику частину теоретичного і практичного матеріалу.

На початку роботи було складено та проаналізовано перелік лабораторних робіт, які використовувалися для вивчення фізичних явищ в школах та вищих навчальних закладах. На підставі цього аналізу були відібрані лабораторні роботи, які дозволили б довести, що без втрати якості мініатюризація дослідницьких лабораторних установок можлива майже в усіх розділах фізики. Розглянемо ці роботи.

Лабораторна робота «Вимірювання електроємності конденсатора» знаходиться в підручнику фізика 10 клас автори Т.М. Засекіна, Д.О. Засекіна, профільний рівень. Лабораторна робота проводиться та включає в себе знаходження таких величин як: заряду зарядженого конденсатора та ємності конденсатора. В даній роботі не перевіряються закони зарядки та розрядки конденсатора, не знаходиться час релаксації. Для того щоб зібрати електричне коло учням потрібно деякий час, тому пропонуються відразу надавати учням зібрану установку до якої потрібно під'єднати тільки джерело живлення та мультиметр, що збільшить час для виконання роботи.

Посилаючись на розробку лабораторних практикумів [13], де за основу проведення цієї лабораторної було взято конструктор «Znatok», який є універсальним, але не досить практичним для проведення занять, ціна такого конструктору 60 дол. Тому зібрана аналогічна установка, яка є більш практичною та компактною. Ціна цієї установки 8 дол., що в 7,5 разів менше за конструктор «Znatok». Вид установки зображений на (рис. 3.1.).

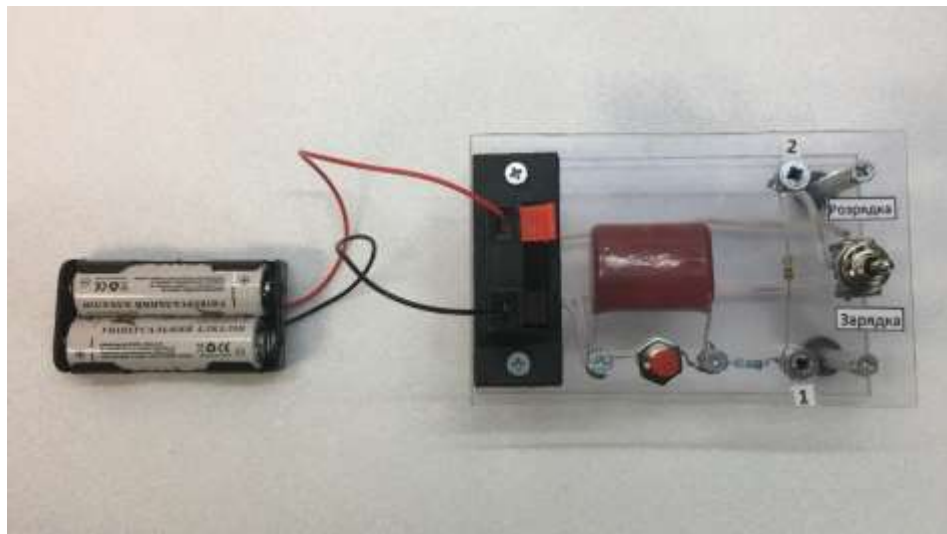


Рис 3.1. Установка для вивчення розрядки та зарядки конденсатора

Схема установки зображена на (рис. 3.2.). Вона складається з джерела струму GB1, конденсатора С, резисторів R1 і R2, перемикача SA1, що має три положення, і кнопки SB1. На схемі перемикач SA1 зображено в положенні, при якому коло розімкнуте. Як джерело струму використовується батарея з двох з'єднаних послідовно гальванічних елементів чи акумуляторів типорозміру AA.

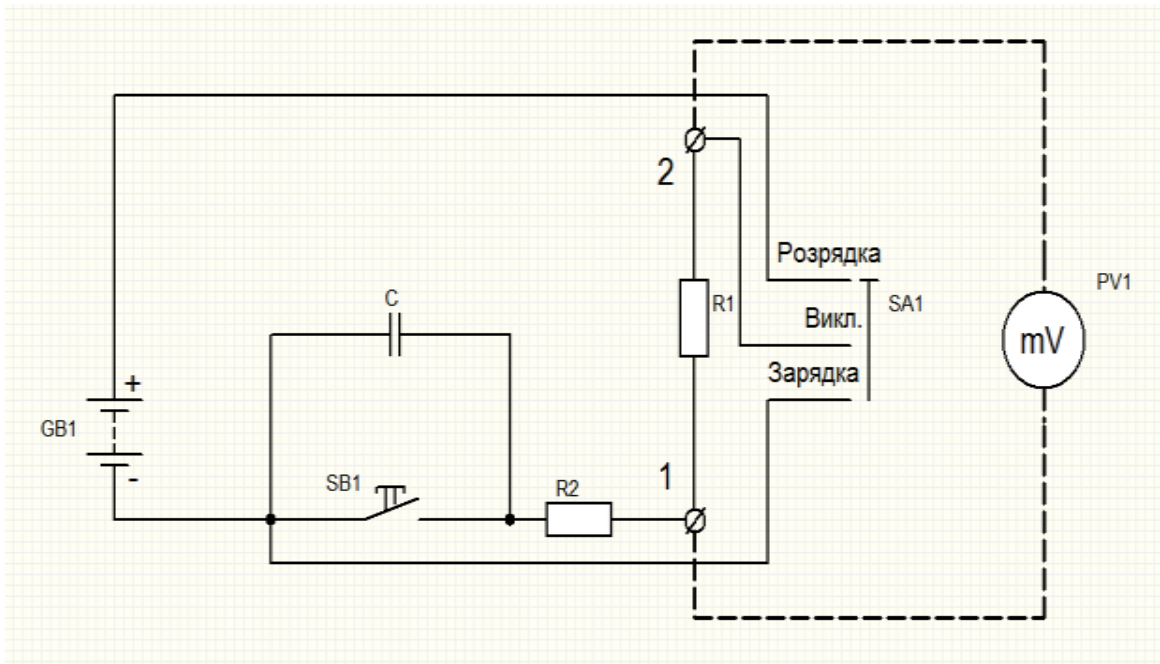


Рис 3.2. Схема установки для дослідження конденсатора

Для вимірювання струму зарядки (чи розрядки) використовується мілівольтметр від мультиметра, яким вимірюють напругу на опорі R1. Якщо опір R1 вибрати рівним, наприклад, 1 кОм, то покази мілівольтметра будуть відповідати значенням струму в мікроамперах. В установці використано конденсатор 685 К ємністю 6,8 мкФ ( $\pm 5\%$ ), резистор R2 опором 6,1 МОм ( $\pm 10\%$ ), резистор R1 опором 100 кОм. Зі значення останнього опору впливає, що покази мілівольтметра відповідатимуть струму  $10^{-8}$  А. Кнопка SB1 потрібна для розрядки конденсатора.

### 3.1.1. Приклад виконаної роботи

Інструкція для виконання роботи (див. додаток А). Мета роботи перевірити закон зарядки та розрядки та визначити час релаксації, тобто знайти залежність  $i=f(t)$  та визначити через який час після початку розрядки напруга на обкладках конденсатора зменшиться в  $e$  раз ( $e \approx 2,71$ ).

Запишемо значення опорів та ємність конденсатора:

$$R_2 = 6,1 \text{ Мом} \pm 10\%, \quad R_1 = 100 \text{ кОм}, \quad C = 6,8 \text{ мкФ} \pm 5\% (685\text{К}- 250 \text{ В}).$$

Одержані з досліду значення струму зарядки і розрядки та обчислені значення  $i/I_0$  та  $\ln(i/I_0)$  представимо у табл. 3.1,3.2.

Таблиця 3.1.

### Результати досліду при зарядці конденсатора

Зарядка			
Час, с	Струм, $\cdot 10^{-8}\text{А}$	$i/I_0$	$\ln i/I_0$
0	43	1	0
10	32	0,744186	-0,295426
20	26	0,604651	-0,5031
30	20	0,465116	-0,76547
40	16	0,372093	-0,98861
50	13	0,3023226	-1,19625
60	10	0,232558	-1,45862
70	8	0,186047	-1,68176
80	6,3	0,146512	-1,92065
90	5	0,116279	-2,15176
100	4	0,093023	-2,37491
110	3,2	0,074419	-2,59805
120	2,4	0,055814	-2,88573
130	2	0,046512	-3,06805
140	1,5	0,034884	-3,35574
150	1,2	0,027907	-3,57888
160	1	0,023256	-3,7612
170	0,8	0,018605	-3,98434
180	0,5	0,011628	-4,45435



Таблиця 3.2.

## Результати дослідження при розрядці конденсатора

Розрядка			
Час, с	Струм, $\cdot 10^{-8}$ А	$i/I_0$	$\ln i/I_0$
0	43	1	0
10	32	0,74419	-0,2955
20	25,8	0,6	-0,5108
30	20	0,46512	-0,7655
40	16	0,37209	-0,9886
50	12,6	0,29302	-1,2275
60	10	0,23256	-1,4586
70	7,9	0,18372	-1,6943
80	6,2	0,14419	-1,9367
90	4,9	0,11395	-2,172
100	3,9	0,0907	-2,4002
110	3,1	0,07209	-2,6298
120	2,5	0,05814	-2,8449
130	1,9	0,04419	-3,1193
140	1,5	0,03488	-3,3557
150	1,1	0,02558	-3,6659
160	1	0,02326	-3,7612
170	0,8	0,0186	-3,9843
180	0,5	0,01163	-4,4543

За отриманими даними побудемо графіки які представлені на (рис. 3.3. та 3.4.).

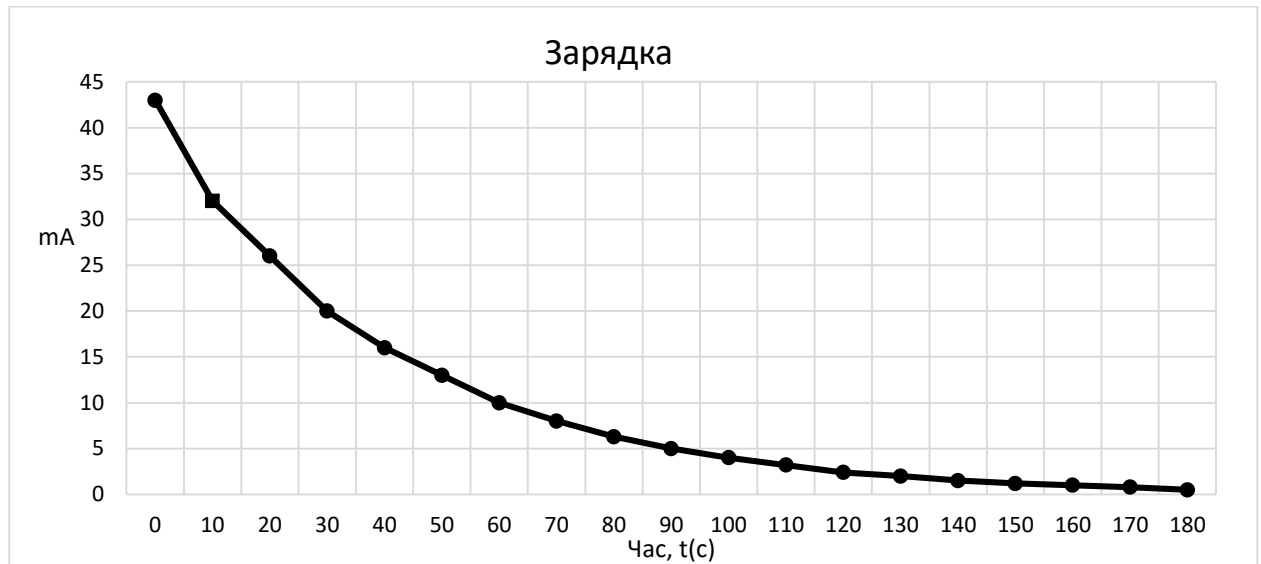


Рис 3.3. Залежність сили струму від часу під час зарядки конденсатора

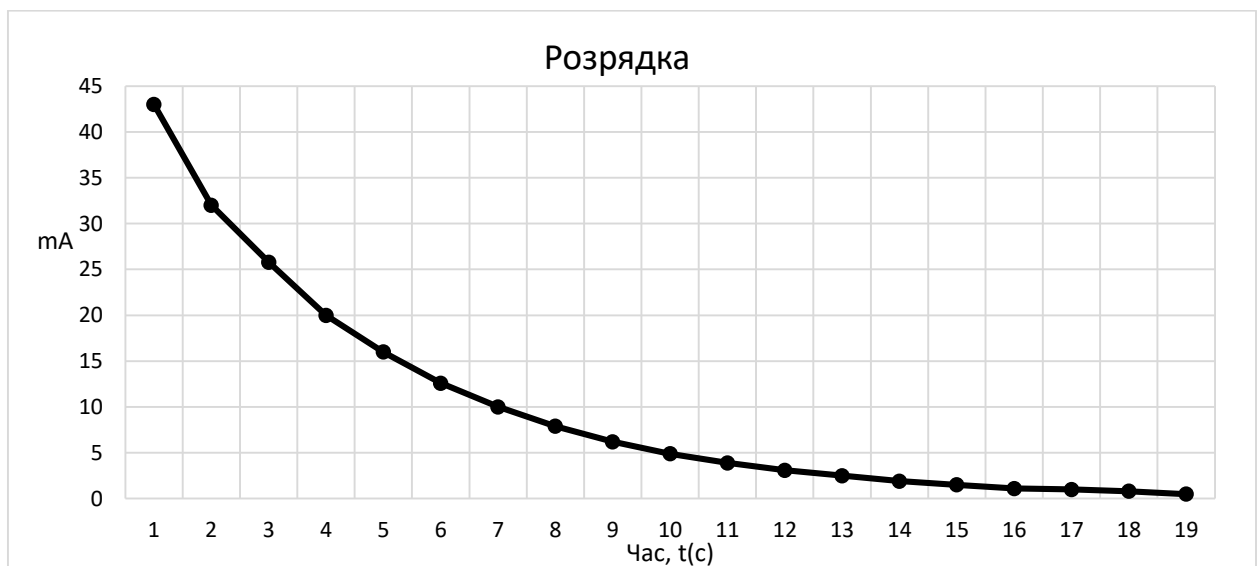


Рис 3.4. Залежність сили струму від часу під час розрядки конденсатора

На перших двох графіках (рис. 3.3 та 3.4) зображені залежності струму від часу. Дані таблиць і графіки вказують на ідентичність процесів зарядки і розрядки. На наступних графіках (рис. 3.5. та 3.6.) – залежності  $\ln(i/I_0)$  від часу. Графіки є практично прямими лініями, що свідчить про експоненціальну залежність струму зарядки чи розрядки від часу.

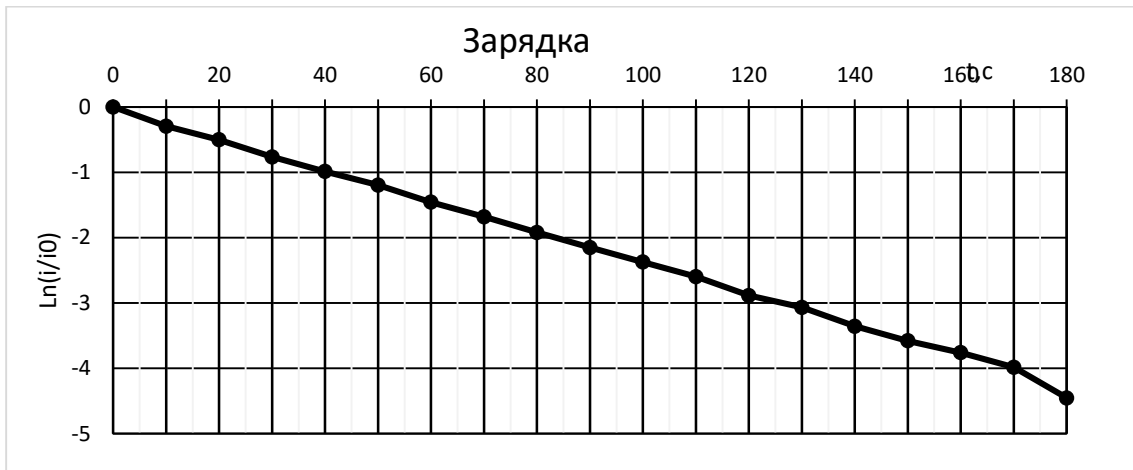


Рис 3.5. Залежність  $\ln(i/I_0)$  від часу рід час зарядки конденсатора

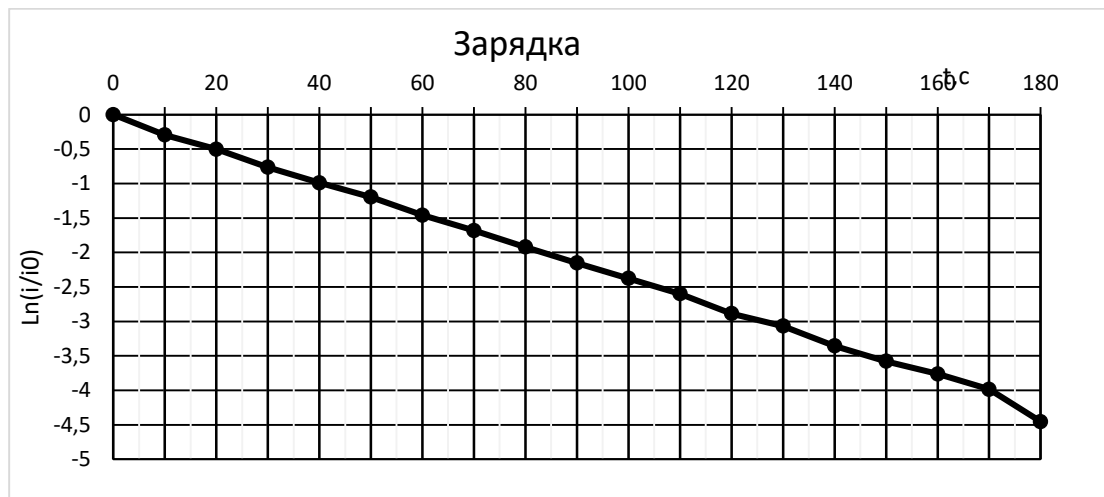


Рис 3.6. Залежність  $\ln(i/I_0)$  від часу під час розрядки конденсатора

З графіків які знаходяться вище (рис. 3.5. та 3.6.) – залежності  $\ln(i/I_0)$  від часу, визначимо час релаксації:  $\tau = 180/4,5 = 40\text{с}$ . Очевидно, що для графіка розрядки буде одержане таке ж значення  $\tau$ .

Врахувавши значення ємності і опорів, наведених в опису схеми установки, для добутку  $RC$  маємо:  $RC = 6,1\text{ МОм } 6,8\text{ мкФ} = 41,48\text{ с} \approx 41,5\text{ с}$ . Враховуючи клас точності резисторів і конденсатора і вважаючи що похибка вхідних даних дорівнює 10%:  $RC = (41,48 \pm 4,1)\text{ с} = (41 \pm 4)\text{ с}$ , що гарно узгоджується з експериментальним значенням  $\tau$ .

### 3.2. Розробка лабораторної роботи «Дослідження корисної потужності та К.К.Д. джерела струму»

Робота і потужність електричного струму викладається в 11 класі в розділі електродинаміка. В підручнику 11 клас фізика за редакції В. Г. Бар'яхтара, С.О. Довгого запропоновано демонстрацію або експериментальну роботу залежність електричного струму від ЕРС джерела та повного кола. За профільним рівнем авторів Т.М. Засєкіна, Д.О. Засєкін розглядаються формули з цієї теми та представлені графіки, але не запропоновано виконання лабораторної роботи. Автори: Є.В. Коршак, О.Л. Ляшенко, В.Ф. Савченко пропонують виконання лабораторної роботи з визначення ЕРС і внутрішнього опору джерела струму, але для її проведення потрібно виділити повноцінний урок. Що і пропонується за навчальною програмою, але при збиранні електричного кола, що займає близько 15-20 хв. не ефективно використовується тому пропонується зібрана установка на (рис. 3.7.)

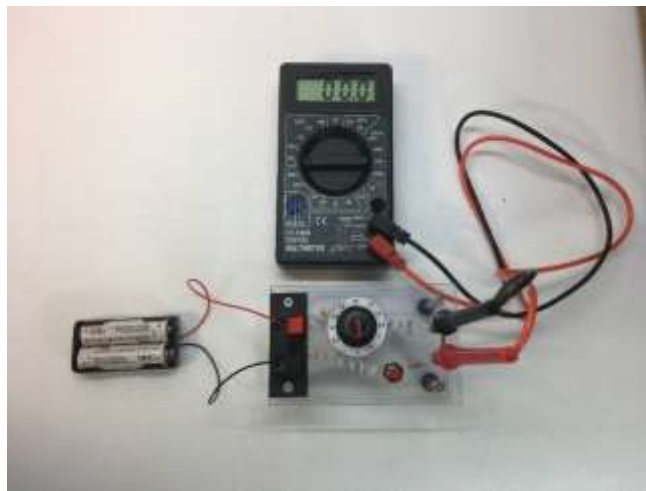


Рис 3.7. Установка для дослідження корисної потужності та К.К.Д. джерела струму

Для того щоб виміряти всі необхідні дані на цій установці учневі потрібно 5 хвилин. Це дає змогу більш детально пояснити вчителю теорію.

Схема установки зображена на (рис. 3.8.). Вона складається з послідовно

з'єднаних джерела струму, додаткового опору, магазину опорів 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.

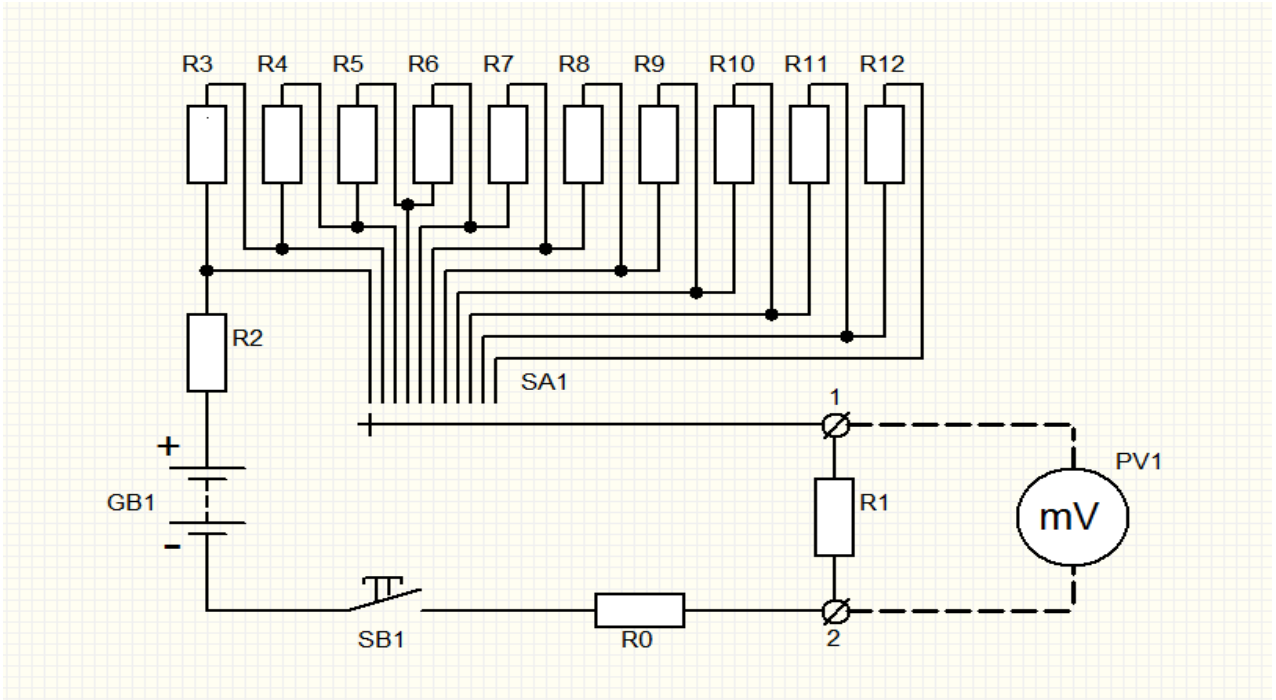


Рис 3.8. Схема установки для дослідження корисної потужності та К.К.Д. джерела струму

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  $R_0$ , який штучно збільшує опір акумулятора. Значення опору  $R_0$  вибране таким чином, щоб сума опорів  $R_0$  і  $R_1$  становила певне ціле число Ом. В даній установці ця сума дорівнює 20 Ом. Значення опорів  $R_2 - R_{12}$  підібрані таким чином, щоб при перемиканні  $SA_1$  одержати навантаження 2, 4, 7, 10, 15, 20, 25, 30, 40, 60 і 80 Ом.

### 3.2.1. Приклад виконаної роботи

Інструкція для виконання роботи (див. додаток Б). Мета роботи експериментально дослідити, як залежить корисна потужність і коефіцієнт корисної дії джерела струму від опору навантаження.

Одержані значення представимо у вигляді у табл. 3.3.

Таблиця 3.3.

#### Результати досліджень залежності корисної потужності та К.К.Д. від опору навантаження

Опір (Ом)	I (мА)	P (мВт)	$\eta$
2	135,6	36,77	9
4	125	62,50	17
7	111,4	86,87	26
10	100,4	100,80	33
15	85,5	109,65	43
20	75,1	112,80	50
25	66,9	111,89	56
30	60,2	108,72	60
40	50,4	101,61	67
60	38,9	90,79	75
80	30,5	74,42	80

З даних представлених у таблиці 3 побудуємо графік (рис. 3.9.) залежності для потужності та ККД.

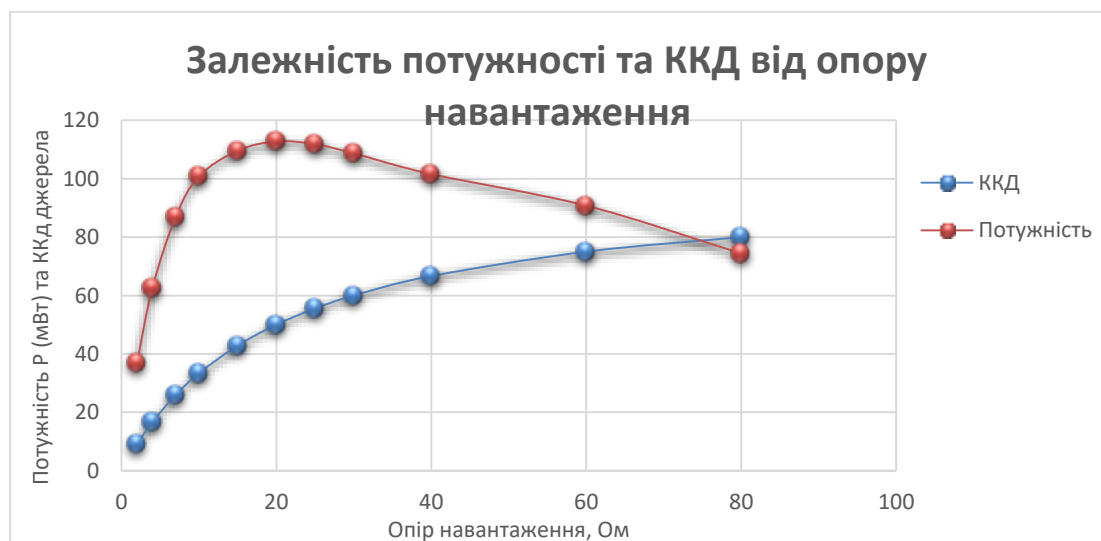


Рис 3.9. Залежність потужності від опору навантаження

### 3.3. Розробка лабораторної роботи «Визначення температури розжарення вольфрамової нитки електричної лампи»

В 11 класі за навчальної програмою пропонується лабораторна робота «Визначення температурного коефіцієнта опору метала», як доповнення до теми або для студентів університету пропонується лабораторна робота «Визначення температури розжарення вольфрамової нитки електричної лампи». Дана установка аналогічна тій що була зібрана в лабораторному практикумі [13], але зібрана з сучасних матеріалів які зараз є у відкритому доступі. Дану модель було зменшено до розмірів  $100 \times 60 \times 40$  мм. для збереження певного стандарту мініатюрних робіт. Працюючи над лабораторною роботою учні або студенти набувають здібність як використовувати закон фізики, а не тільки їх доводити.

Опір нитки лампи при кімнатній температурі  $R_x$  знаходять з допомогою омметра від цифрового мультиметра, кімнатну температуру – термометром. Опір  $R$  розжареної нитки лампи визначають методом амперметра-вольтметра (рис. 3.10.).

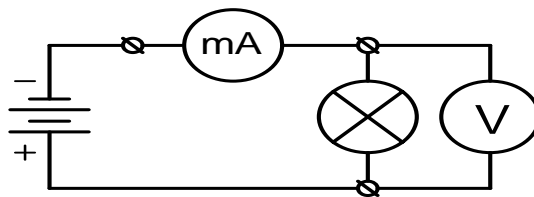


Рис 3.10. Схема визначення амперметра-вольтметра

Визначивши силу струму і напругу за законом Ома обчислюють опір нитки розжарення лампи. Принципова електрична схема установки для цих вимірювань зображена на (рис. 3.11.).

Особливістю цієї схеми є те, що сила струму в лампі не вимірюється амперметром, а визначається за спадом напруги на відомому опорі  $R_1$ . Якщо опір  $R_1$  взяти рівним 1 Ом, то покази вольтметра будуть чисельно рівні силі

струму в колі. Опір вольтметра від мультиметра порядку 1 МОм, тому підключення вольтметра до ділянки кола практично не змінює сили струму в колі.

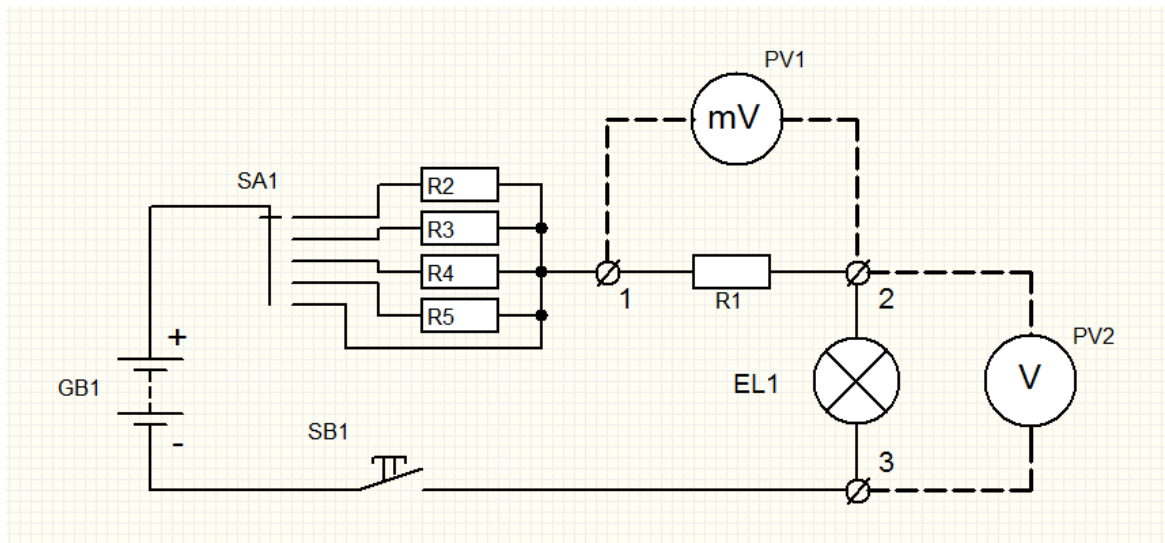


Рис 3.11. Схема установки для визначення температури вольфрамової нитки електричної лампи

Опір нитки лампи в розжареному стані дорівнює:

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

де  $U$  – покази вольтметра PV2, а  $I$  – покази вольтметра PV1.

Вигляд установки на (рис. 3.12.).

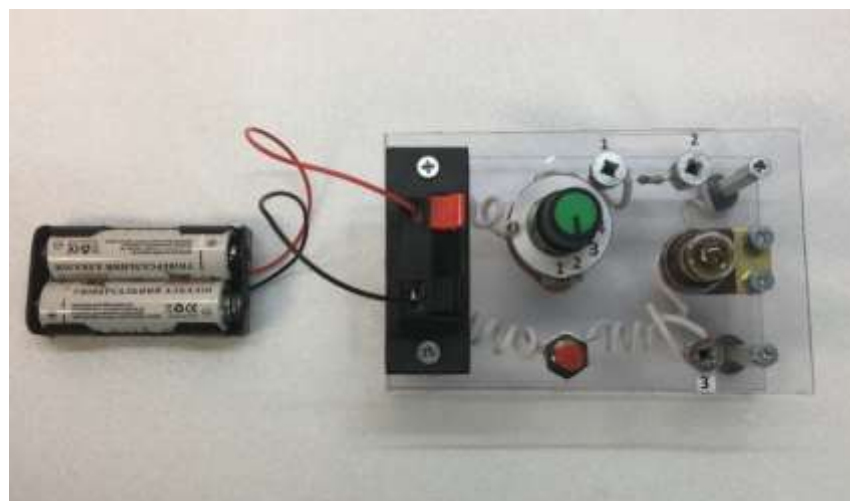


Рис 3.12. Установка для визначення температури вольфрамової нитки електричної лампи



### 3.3.1. Приклад виконаної роботи

Інструкція для виконання роботи (див. додатку В).

Отримані результати представимо у вигляді у табл. 3.4.

Таблиця 3.4.

#### Результати досліджень залежності опору провідника від температури

№ n/n	$R_k, \text{ Ом}$	$t_k, \text{ }^\circ\text{C}$	$U, \text{ В}$	$I, \text{ А}$	$R, \text{ Ом}$	$C$	$t, \text{ }^\circ\text{C}$
1	4	20	0,89	0,057	15,53	4,26	600
2	4	20	1,62	0,072	22,41	6,14	910
3	4	20	2,28	0,088	25,94	7,11	1050
4	4	20	2,71	0,096	28,32	7,76	1150

З результатів таблиці побудуємо графік залежності температури розжарювальної нитки від напруги та представимо на (рис. 3.13.).

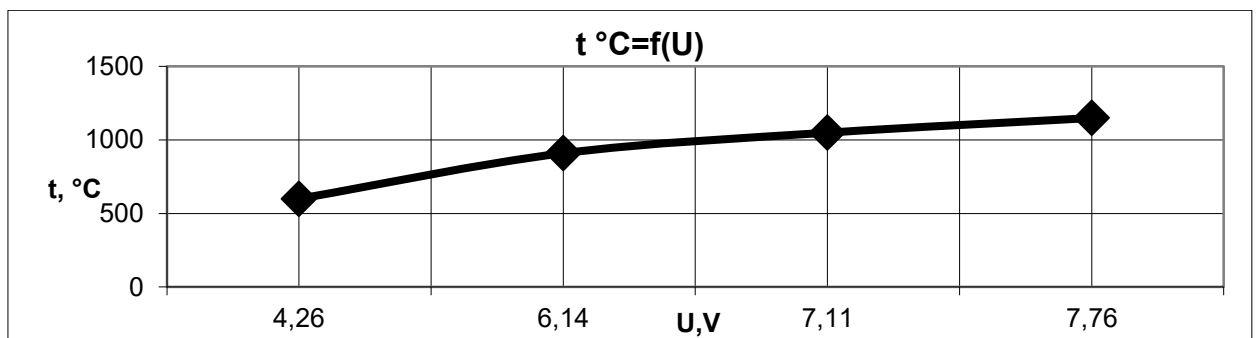


Рис 3.13. Залежність температури розжарення вольфрамової нитки від напруги

### 3.4. Розробка Лабораторна робота «Дослідження напівпровідникового діоду»

В навчальній програмі для закладів загальної середньої освіти в 11 класі за профільним рівнем авторський колектив під керівництвом Ляшека О.І. рекомендує проводити лабораторну роботу « дослідження напівпровідникового діоду». За новою програмою рівнем стандарту для 11 класу за редакцією Бар'яхтара В. Г., Довгого С. О. проведення лабораторної роботи не зазначено, так як для рівня стандарту відводиться менша кількість годин. У підручнику з 11 класу профільний рівень авторів Т.М. Засекіна,

Д.О. Засекін є вказівки для лабораторної роботи. Є декілька недоліків проведення лабораторної так як зазначено в підручнику [17]. Велика кількість обладнання потрібно для проведення лабораторної роботи, а саме: батарея гальванічних елементів; лампочка розжарювання, розрахована на напругу 3,5 В; діоди серії Д7, Д226, КД226, КД220, з'єднувальні проводи, вимикач лабораторний; джерело електроживлення постійного струму, міліамперметр постійного струму, вольтметр постійного струму, реостат повзунковий, ключ. Для зберігання такої кількості обладнання потрібно багато місця, а якщо врахувати що кожен учень повинен провести лабораторну окремо або в парах то в такій ситуації виникають ще більші труднощі щодо проведення. В ході проведення учням пропонується скласти 4 електричних кола на що, можливо, не вистачить часу для зняття вольт-амперної характеристики. Тому посилаючись на розробку [13], пропонується така мини установка для зняття ВАХ діоду на (рис. 3.14.).

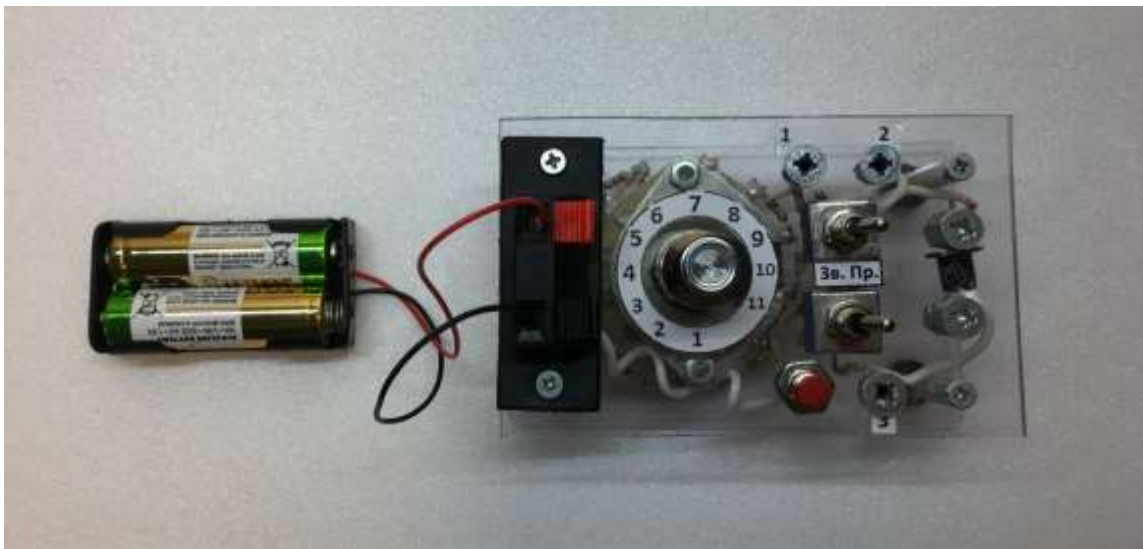


Рис 3.14. Установка для дослідження напівпровідникового діоду

Для зняття ВАХ використовується схема, зображена на (рис. 3.15.). За цією схемою вимірюється прямий струм діоду. Для вимірювання зворотного струму слід змінити полярність джерела і замість міліамперметра увімкнути в коло мікроамперметр.

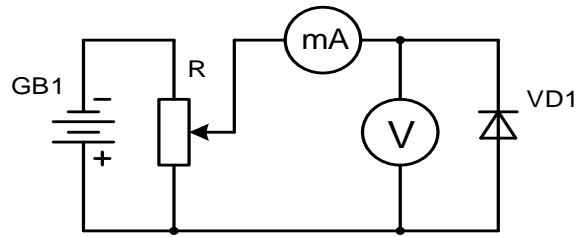


Рис 3.15. Схема установка для ВАХ діоду

Схема установки для вимірювання як прямого, так і зворотного струму, зображена на (рис. 3.16.).

Потенціометр R схеми на (рис. 3.15.) замінений перемикачем SA1, що дає можливість повторювати вимірювання при одних і тих же значеннях напруги. Сила струму визначається за падінням напруги на опорі R11: при значенні опору R11, рівному 1 Ом, покази мілівольтметра дорівнюватимуть силі струму в мА. Для вимірювання зворотного струму в мкА в коло включають опір R12 значенням 1 кОм. Зміна напрямку струму через діод здійснюється перемикачем SA3.

При вимірюванні зворотного струму і одночасному підключенні приладів для вимірювання сили струму і напруги, прилад для вимірювання сили струму реєструватиме не тільки зворотний струм діоду, а й струм через вольтметр. Цей струм при нарузі 1 В дорівнює 1 мкА, що значно менше зворотного струму германієвого діоду. Проте і цю розбіжність можна усунути, якщо вимірювати струм і напругу не одночасно, а послідовно, спочатку – струм, потім – напругу. Наявність чи відсутність в колі мілівольтметра для вимірювання сили струму не впливає на покази вольтметра.

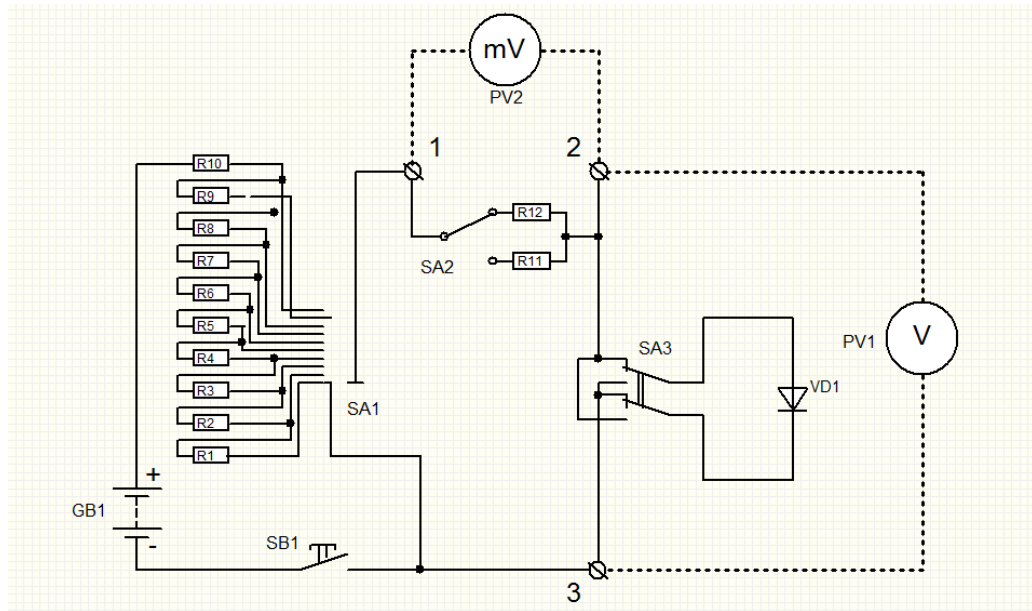


Рис 3.16. Схема для зняття ВАХ діоду

### 3.4.1. Приклад виконаної роботи

Інструкція для виконання (див. додаток. Г). Мета роботи Одержати вольт амперну характеристику діоду та дослідити залежність опору діоду від прикладеної напруги. Одержані значення представимо у вигляді табл. 3.5,3.6.

Таблиця 3.5.

Діод: Д7Е

#### Результати досліджень при «Прямому струмі»

U, В	0	0,03	0,09	0,14	0,19	0,19	0,27	0,29	0,33	0,36	0,63
I, мА	0	0,1	0,9	5,4	18,2	45	74	104,3	125,5	~	
R, Ом	-	300	100	25,9	10,4	4,2	3,6	2,7	2,6		

Таблиця 3.6.

#### Результати досліджень при «Зворотному струмі»

U, В	0	0,01	0,07	0,17	0,34	0,5	0,83	1,16	1,75	2,35	3,06
I, мА	0	13,8	26,4	28,3	28,3	28,3	28,4	28,3	28,5	28,7	28,9
R, Ом	-	0,72	2,65	6,01	12,01	17,67	29,23	40,9	61,4	8,81	105,9

### **Висновки до розділу 3**

На початку роботи було складено та проаналізовано перелік лабораторних робіт, які використовувалися для вивчення фізичних явищ в школах та вищих навчальних закладах. На підставі цього аналізу були відібрані лабораторні роботи, які дозволили б довести, що без втрати якості мініатюризація дослідницьких лабораторних установок можлива майже в усіх розділах фізики.

Всі розроблені лабораторні роботи відповідають запропонованій концепції їх проведення: розроблена інструкція для проведення, схеми для можливості зібрання аналогічних екземплярів, список використаних елементів та їх характеристики.

## ВИСНОВКИ

Порівнюючи переваги та недоліки фронтального та групового методів отримуємо, що фронтальний метод виконання лабораторних робіт є більш ефективним в порівнянні з груповим. Максимальна ефективність фронтального методу проведення лабораторних робіт буде досягтися за таких умов:

1. Наявність приладу або установки кожному учневі або студенту.
2. Забезпечення необхідного методичного матеріалу.
3. Отримання різних відповідей при виконанні однієї роботи, це необхідно для уникнення списування робіт.

Концепція проведення фронтальних лабораторних занять з фізики ґрунтується на мініатюризації лабораторних установок на основі використання сучасних цифрових технологій.

Суть концепції полягає в наданні кожному студентові можливості виконання лабораторної роботи з теми, яка вивчається на даний час за робочою програмою. Основою нового підходу є мініатюризація лабораторних установок до розмірів, що дозволяють розмістити їх у потрібній кількості в жорсткому чемоданчику – кейсі; кожний кейс повинен містити 20-30 лабораторних (дослідницьких) робіт на одну тему. Кількість кейсів повинна відповідати кількості тем, передбачених навчальним процесом, або хоча б темам з найбільш важливих розділів фізики.

З метою доведення нетривіальної тези, що оптимальний кут відриву від ліани не є 45 градусів, була розроблена теорія, яка описує процес стрибка Тарзана через прірву, та проведені дослідження, за допомогою яких цю тезу було теоретично та експериментально доведено.

Розв'язок задачі, поданої у вигляді “дилеми Тарзана”, за допомогою розроблених дослідницьких установок дозволяє вирішити ряд важливих для навчального процесу завдань. Перший урок, які отримують студенти теоретично і практично вирішуючи дилему Тарзана полягає в тому, що

складну проблему можна розбити на ряд простіших. Другий урок полягає в демонстрації сили теоретичної фізики, підкріпленої експериментами. Третє надбання – в отриманні дуже корисної математичної практики і придбанні конкретних навичок роботи з відео реєстраторами та комп'ютером при теоретичних дослідженнях і обробці результатів фізичних експериментів.

Ще одним важливим результатом проведеної роботи є доведення того факту, що теоретичні викладки при розгляді будь-якого явища можна зупиняти лише тоді, коли теоретично знайдені залежності повністю узгоджуються з результатами експериментів.

Перевагою розробленої мініатюрної установки є можливість фронтального проведення лабораторної роботи на тему: «Вивчення кінематичних законів», коли кожному студентові або учню надається дослідницька установка. При цьому можлива різна глибина досліджень з використанням знань не тільки з кінематики, динаміки, аеродинамічних властивостей кинутих тіл різної форми, оптики, а й методів реєстрації фізичних процесів.

Ми також створили машину Атвуда зі змінною масою для вивчення динаміка системи зі змінною масою. Простота пристрою дозволяє нам знайти хорошу згоду між теорією та експериментальними результатами. Крім того, цей пристрій дозволив нам вивчити залежність потоку зернистих середовищ в прискореній системі, що дало можливість зрозуміти, як протікання зернистих носіїв може змінюватися там, де прискорення сили тяжіння різняться від того, що є на Землі. Наші експериментальні результати підтверджують, що витрата зернистих середовищ збільшується пропорційно з коренем квадратним від загального прискорення системи вантажів.

Розроблено чотири мініатюрні лабораторні роботи з електрики, які відповідають запропонованій концепції їх проведення: розроблена інструкція для проведення, схеми для можливості зібрання аналогічних екземплярів, список використаних елементів та їх характеристики.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Ахматов А.С. Лабораторный практикум по физике: Учебное Пособие для студентов вузов / Ахматов А.С., Андреевский В.М., Кулаков А.И. – Москва : Высшая школа, 1980. – 360 с.
2. Бар'яхтар В.Г. Фізика ( рівень стандарту, за навчальною програмою авторського колективу під керівництвом Локтєва В.М. ) : підруч. для 11 кл. закл. загал. серед. освіти / [ Бар'яхтар В.Г., Довгий С.О., Божинова Ф.Я., Кірюхіна О.О. ] ; за ред. Бар'яхтар В.Г., Довгий С.О. – Харків: Вид-во «Ранок», 2019. – 272 с.
3. Бурдейна Н. Б. Вдосконалення форм організації лабораторних занять з фізики у будівельних вищих навчальних закладах / Н. Б. Бурдейна // Наукові записки. – Випуск № 60. – Серія : Педагогічні науки. – Кіровоград: РВВ КДПУ ім. В. Винниченка. – 2005. – Частина 2. – С. 168-174.
4. Вансєєв А. А., Викладання фізики в 9 класі / А. А. Вансєєв, Е. Д. Корж. – Київ: Радянська школа, 1983. – 160 с.
5. Гончаренко С. У. Фізика: Проби, навч. посібник для шкіл III ступеня, гімназій і класів гуман. профілю. 10 кл. / С. У. Гончаренко. – Київ: Освіта, 1995. – 277 с.
6. Гончаренко С. У. Фізика: Проби, навч. посібник для ліцеїв і класів природничо-наукового профілю. 10 кл./ С. У. Гончаренко. – Київ: Освіта, 1995. – 430 с.
7. Демков В. П., Механіка. / В. П. Демков, О. Н. Третьякова. – Москва: Дрофа, 1996. – 132 с.
8. Енохович А. С. Справочник по физике / А. С. Енохович. – Москва: Просвещение, 1978. – 415 с.
9. Жданов Л. С. Учебник по физике для средних специальных учебных заведений / Л. С. Жданов. – Москва: Наука, 1978. – 590 с.
10. Жданов Л. С. Физика для средних специальных учебных заведений / Л. С. Жданов, Г. П. Жданов. – Москва: Наука, 1987. – 512 с.



11. Засекіна Т.М. Фізика. Профільний рівень 10 клас / Т.М. Засекіна, Д.О. Засекін. – К. : УОВЦ «Оріон», 2018. – 304 с.
12. Здешиц В. М. Застосування новітніх технологій для проведення лабораторних занять з фізики / В. М. Здешиц // Сучасні технології в науці та освіті : зб. наук. праць III Всеукраїнської конференції. – 2003. – Том 2, с. 67-71.
13. Здешиц В.М., Ржепецький В.П. Електрика та магнетизм. Лабораторний практикум: методичний посібник для організації самостійної роботи студентів фізичних спеціальностей / В.М. Здешиц, В.П. Ржепецький. – Кривий Ріг: ДВНЗ «КНУ» Криворізький педагогічний інститут, 2015-88 с.
14. Иванов Д.А. Использование компьютерных технологий для интерактивного изучения курса общей физики в рамках очного и дистанционного обучения // Сб. докладов 4-й Международной конференции "Роль университетів у майбутньому інформаційному суспільстві "RUFIS-2000". – Киев, 2000. – С. 70-71.
15. Кучерук І.М. Загальний курс фізики: Механіка. Молекулярна фізика і термодинаміка / І.М. Кучерук, І.Т. Горбачук, П.П. Луцик. – Київ: Техніка, 2006. – 532 с.
16. Методика і техніка навчального фізичного експерименту в основній школі. Підручник для студентів вищих навчальних закладів / П.С. Атамарчук, О.І. Ляшенко, В.В. Мендерецький, О.М. Ніколаєв. – Кам'янець-Подільський: Кам'янець-Подільський національний університет імені Івана Огієнка, 2010.– 292с.
17. Організація фізичного практикуму в старшій школі / О.М. Ніколаєв // Зб. наук. праць Кам'янець-Подільського національного університету імені Івана Огієнка. Серія педагогічна. – Кам'янець-Подільський : КПНУ ім. І. Огієнка, 2010. – Вип. 16: Формування професійних компетентностей майбутніх учителів фізико-технологічного профілю в умовах євроінтеграції. – с. 159-161.

18. Савельев И.В. Курс общей физики. / И.В. Савельев. – Москва : Наука. – 1987. – 432 с.
19. Сиротюк В.Д. Фізика і астрономія ( рівень стандарту, за навч. програмою авт. кол. під керівництвом Ляшенка О.І. ) : підруч. для 11-го кл. заг. серед. освіти / В. Д. Сиротюк, Ю. Мірошніченко. – Київ : Генеза, 2019 – 368 с.
20. Слюсаренко В.В. Фізичний експеримент у навчально-виховному виховному процесі / В.В. Слюсаренко // Наукові записки [Кіровоградського державного педагогічного університету імені Володимира Винниченка]. Сер. : Педагогічні науки. – 2013. – Вип. 121(1). – с. 122 – 126. – Режим доступу: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/Nz\\_p\\_2013\\_121\(1\)\\_31](http://nbuv.gov.ua/UJRN/Nz_p_2013_121(1)_31).
21. Степаненко О.В. Шкільний фізичний експеримент як засіб формування дослідницьких умінь учнів / О. В. Степаненко, М. Є. Чумак, В. Д. Сиротюк // Збірник наукових праць Кам'янець-Подільського національного університету ім. Івана Огієнка. Серія. : Педагогічна. – 2013. – Випуск 19. – с. 51-55. Режим доступу: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/znpkr\\_ped\\_2013\\_19\\_20](http://nbuv.gov.ua/UJRN/znpkr_ped_2013_19_20)
22. Таблицы физических величин : Справочник / под ред. акад. И. К. Кикоина. – Москва : Атомиздат, 1976. – 1008 с.
23. Физика – 10 клас. Механика. / М.М. Балашов, А.И. Гомонова, А.Б. Долицкий, Б.Л. Дрибинский, Г.Я. Мякишев, Л.А. Нотов, Г.Е. Пустовалов, А.З. Синяков, Б.А. Слободсков. 12-е издание, стереотипное. — Москва: Дрофа, 2010. — 495 с.
24. Шахмаев Н.М. Физика: Учебник для 10 классов средней школы / Н. М.Шахмаев, С. Н. Шахмаев, Д. М. Шодиев. – Москва: Просвещение, 1992. – 240 с.
25. Flores J., Solovey G., Gil S. Flow of sand and a variable mass Atwood machine./ Am. J. Phys.– 2003. – №71. – с.715–720.
26. Lewis J. Teaching School Physics. / Lewis., 1972. – 74 с.

27. Mungan C. E. Analytically solving Tarzan's dilemma / C. E. . Mungan. // The Physics Teacher. – 2014. – №52. – c. 6.
28. Rave M. Tarzan's Dilemma: A Challenging Problem for Introductory Physics Students. / M. Rave, M. Sayers. // Phys. Teach. – 2013. – №51. – c. 456-458.
29. Serway R. Physics for Scientists and Engineers / R. Serway, J. Jewett. – Cole: 8<sup>th</sup> ed, 2010. – 238 c.
30. Shima H. How far can Tarzan jump? / Shima. – 2012. – №33. – c. 1687–1693.
31. Trout K. P. Active-learning physics experiments using the Tarzan swing. / K.P. Trout, C.A. Gaston. // The Physics Teacher. – 2000. – №39. – c. 160-163.
32. Yersel M. The flow of sand. The Physics Teacher. – 2000. №38. – c. 290–291.

## ДОДАТКИ

### Додаток А

#### ВИВЧЕННЯ ПРОЦЕСІВ

#### ЗАРЯДКИ І РОЗРЯДКИ КОНДЕНСАТОРА

**Мета роботи:** Експериментально перевірити закон зарядки і розрядки конденсатора через опір. Навчитись визначати сталу часу кола (час релаксації) та значення ємності конденсатора чи опору резистора.

**Прилади і матеріали:** Батарея з двох гальванічних елементів чи акумуляторів типорозміру АА, мультиметр типу DT830В, установка для вивчення процесів зарядки і розрядки конденсатора, секундомір.

#### Теоретичні відомості

Розглянемо коло, що складається з джерела струму з електрорушійною силою  $\varepsilon$  і внутрішнім опором  $r$ , конденсатора, ємність якого  $C$ , опору  $R$  та перемикача  $SA$  (див. рис. 1).

Якщо перемикач  $SA$  поставити в положення 1, то конденсатор почне заряджатися від джерела через опір  $(R+r)$ . Якщо перевести перемикач в положення 2, то конденсатор почне розряджатись через опір  $R$ . Оскільки внутрішній опір джерела  $r \ll R$ , то будемо вважати, що в обох випадках опір кола дорівнює  $R$ .

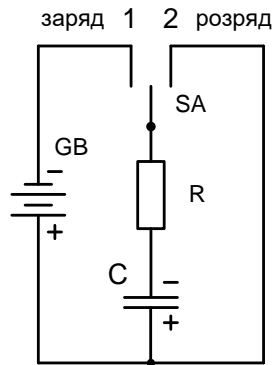


Рис.1. Електричне коло

Розглянемо спочатку процес зарядки конденсатора (SA в положенні 1). Застосуємо до цього контуру друге правило Кірхгофа:

$$i \cdot R + u = \mathcal{E}, \quad (1)$$

де  $i$  – миттєве значення сили струму,  $u$  – миттєве значення напруги на конденсаторі. Враховуючи, що  $i = \frac{dq}{dt}$ , де  $q$  – заряд конденсатора, рівний

$q = Cu$ , одержимо:

$$\frac{du}{dt} RC + u = \mathcal{E}. \quad (2)$$

Вираз (2) – це диференціальне рівняння першого порядку зі сталими коефіцієнтами. Перепишемо його наступним чином:

$$\frac{du}{dt} = \frac{\mathcal{E} - u}{RC}. \quad (3)$$

Введемо нову змінну  $u' = \mathcal{E} - u$  (при цьому  $du' = -du$ ):

$$-\frac{du'}{dt} = \frac{1}{RC} u'. \quad (4)$$

Розділимо змінні і проінтегруємо:

$$\ln u' = -\frac{t}{RC} + A, \quad (5)$$

де  $A$  – стала інтегрування, яку знайдемо з початкових умов: при  $t = 0$   $u = 0$ , а  $u' = \mathcal{E}$ . Отже,  $A = \ln \mathcal{E}$ .

Після потенціювання виразу (5) матимемо:

$$u' = \mathcal{E} \cdot e^{-\frac{t}{RC}}. \quad (6)$$

Повертаючись до змінної  $u$  остаточно одержимо:

$$u = \mathcal{E} \left( 1 - e^{-\frac{t}{RC}} \right) \quad (7)$$

Напруга на конденсаторі з часом зростає за експоненціальним законом, асимптотично наближаючись до значення електрорушійної сили джерела. Такий процес зміни фізичної величини називають **апериодичним**.

Залежність зарядного струму від часу знайдемо з (1) і (7):

$$i = \frac{\mathcal{E} - u}{R} = \frac{\mathcal{E}}{R} \cdot e^{-\frac{t}{RC}} \quad (8)$$

Сила струму також змінюється за експоненціальним законом, вона має найбільше значення в початковий момент часу і асимптотично прямує до нуля в процесі зарядки.

Тепер розглянемо процес розрядки конденсатора (SA в положенні 2). За правилом Кірхгофа:

$$iR + u = 0, \text{ де } i = \frac{dq}{dt}, \text{ } q = Cu.$$

Одержуємо рівняння:

$$\frac{du}{dt} + \frac{u}{RC} = 0. \quad (9)$$

Розділимо змінні і проінтегруємо:

$$\ln u = -\frac{t}{RC} + B. \quad (10)$$

Сталу інтегрування  $B$  знайдемо з початкових умов: при  $t = 0$   $u = U_0$ .  
Отже,  $B = \ln U_0$ . Після потенціювання матимемо:

$$u = U_0 e^{-\frac{t}{RC}}. \quad (11)$$

Якщо в процесі зарядки напруга на конденсаторі досягла максимального значення, рівного е.р.с. джерела, то  $U_0 = \mathcal{E}$ :

$$u = \mathcal{E} \cdot e^{-\frac{t}{RC}}. \quad (12)$$

Струм розрядки:

$$i = \frac{u}{R} = \frac{\mathcal{E}}{R} \cdot e^{-\frac{t}{RC}}. \quad (13)$$

Напруга і сила струму змінюються за експоненціальним законом, мають максимальні значення в початковий момент часу і асимптотично прямують до нуля.

Звернемо увагу на тотожність виразів для зарядного (8) і розрядного (13) струмів. Нагадаємо, що такий результат одержано в припущенні, що внутрішнім опором джерела можна знехтувати.

Одержані результати показують, що процеси зарядки і розрядки конденсатора (встановлення електричної рівноваги) відбуваються не миттєво, а з кінцевою швидкістю. Для розглянутого кола, що складається з конденсатора і резистора, швидкість встановлення рівноваги залежить від добутку:

$$\tau = RC, \quad (14)$$

який має розмірність часу і називається **сталюю часу** даного кола або **часом релаксації**. Стала часу показує, через який час після початку розрядки напруга на обкладках конденсатора зменшиться в  $e$  раз ( $e \approx 2,71$ ). Визначити час релаксації можна наступним чином.

Одержимо з експерименту залежність струму зарядки (чи розрядки) від часу  $i = f(t)$ , що повинна мати вид експоненціальної залежності (8):  $i = I_0 \cdot e^{-\frac{t}{RC}}$

( $I_0 = \frac{\mathcal{E}}{R}$  – максимальне значення струму зарядки). Дані експерименту подамо у

вигляді графіку залежності  $\ln \frac{i}{I_0} = \varphi(t)$ . Якщо залежність  $i = f(t)$  має вид (8), то

$\ln \frac{i}{I_0} = -\frac{t}{RC}$ , тобто графік матиме вид прямої лінії. Приклад такого графіку

наведено на рис. 2. З графіку визначаємо  $RC = \frac{t}{\ln(i/I_0)}$ .

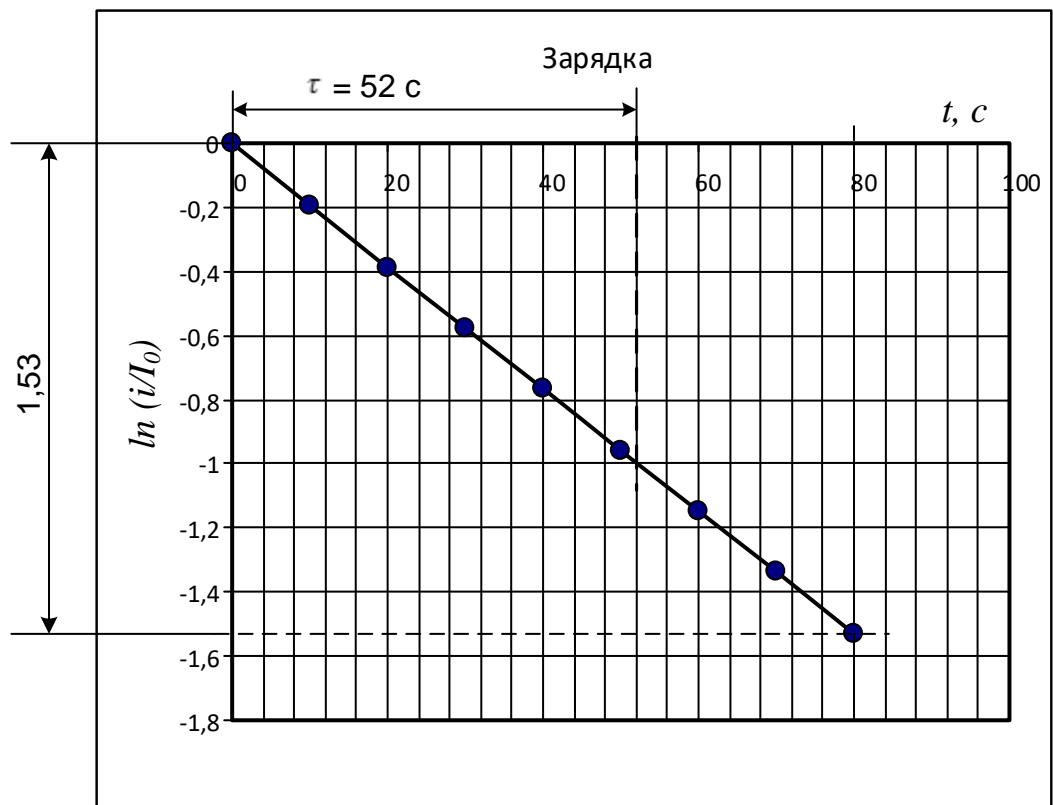


Рис. 2. Зарядка конденсатора

Наприклад, для часу  $t = 80\text{c}$  значення  $\ln(i/I_0) = 1,53$ . Отже, час релаксації дорівнює:

$$\tau = \frac{80\text{c}}{1,53} = 52\text{c}.$$



Цей же результат можна знайти ще й так. При  $\ln(i/I_0) = 1$  час  $t = \tau$ , тобто час релаксації дорівнює абсцисі точки, у якої ордината дорівнює одиниці.

### Опис схеми для вимірювання

Схема установки зображена на рис. 3. Вона складається з джерела струму GB1, конденсатора C, резисторів R1 і R2, перемикача SA1, що має три положення, і кнопки SB1. На схемі перемикач SA1 зображено в положенні, при якому коло розімкнуте. Як джерело струму використовується батарея з двох з'єднаних послідовно гальванічних елементів чи акумуляторів типорозміру AA.

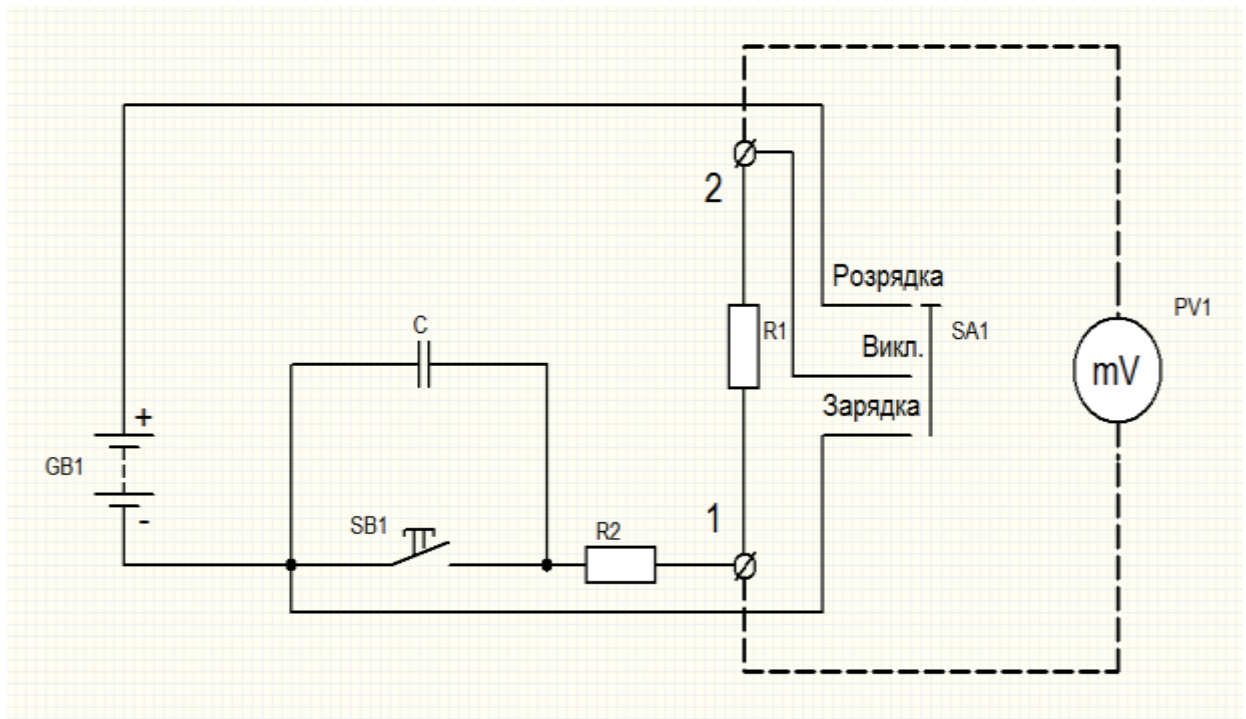


Рис. 3. Схема установки для дослідження конденсатора

Для вимірювання струму зарядки (чи розрядки) використовується мілівольтметр від мультиметра, яким вимірюють напругу на опорі R1. Якщо опір R1 вибрати рівним, наприклад, 1 кОм, то покази мілівольтметра будуть

відповідати значенням струму в мікроамперах. В установці використано конденсатор K73-11 ємністю 6,8 мкФ ( $\pm 5\%$ ), резистор R2 опором 5,1 МОм ( $\pm 10\%$ ), резистор R1 опором 100 кОм. Зі значення останнього опору випливає, що покази мілівольтметра відповідатимуть струму  $10^{-8}$  А. Кнопка SB1 потрібна для розрядки конденсатора.

### Хід роботи

1. Приєднайте до вимірювальної установки джерело живлення. Вид зверху на установку з приєднаним джерелом живлення подано на рис. 4. Перемикач SA1 повинен бути в середньому положенні.
2. Натисніть і потримайте декілька секунд кнопку SB1 для розряду конденсатора. Підключіть до гнізд 1 і 2 мілівольтметр від мультиметра (межа вимірювання – 200 мВ).
3. Приготуйте для вмикання секундомір, перевірте його роботу. Приготуйте зошит для запису результатів. Записи доведеться робити швидко, кожні 10 с записувати покази мультиметра.
4. Натисніть кнопку SB1 і утримуйте її в цьому положенні. Переведіть перемикач SA1 в положення „зарядка” і запам’ятайте (або зразу запишіть) покази мультиметра. Це значення відповідає початковому струму  $I_0$ . Кнопку не відпускайте!
5. Одночасно запусіть секундомір і відпустіть кнопку SB1. Почнеться зарядка конденсатора і секундомір почне відлік часу.

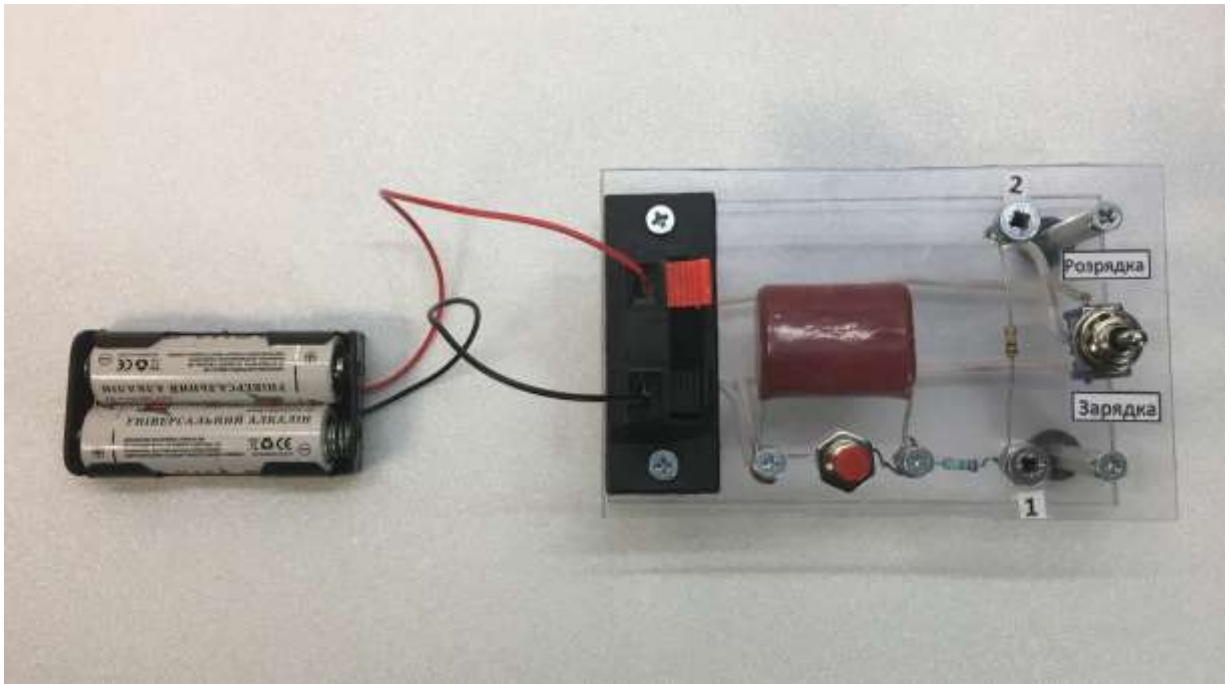


Рис. 4. Установка для вивчення розрядки та зарядки конденсатора

6. В момент, коли на секундомірі з'являться покази „10 с” швидко переведіть погляд на мультиметр і запам'ятайте та запишіть його покази. Можливо спочатку доведеться трохи потренуватись виконувати цю вправу; від точності записів буде залежати кінцевий результат.
7. Пункт 6 треба виконувати кожні 10 секунд на протязі трьох хвилин. Ви одержите 19 значень сили струму зарядки. Залиште перемикач SA1 в режимі зарядки ще на дві-три хвилини, але вже не ведіть записи.
8. Приготуйте секундомір до роботи, перемикач SA1 поставте в середнє положення „викл”, потім одночасно переведіть SA1 в положення „розрядка” і включіть секундомір.
9. Початковий струм, звичайно, записати неможливо, тому записи починайте з моменту часу 10 секунд. Продовжуйте запис результатів протягом 3 хвилин. Якщо зарядка конденсатора виконана до кінця, то початкова напруга на ньому дорівнюватиме е.р.с. джерела, отже, початковий струм розрядки  $I_0$  дорівнюватиме початковому струму зарядки.
10. Оскільки зарядка і розрядка здійснюються через один і той же опір, то відповідні значення струмів зарядки і розрядки будуть близькими одне до

одного. Значні відхилення можуть вказати на якісь помилки при виконанні роботи.

11. Після трьох хвилин спостереження натисніть і потримайте декілька секунд кнопку SB1 для повної розрядки конденсатора.
12. Повторіть вимірювання, почавши з пункту 4. Якщо результати повторного вимірювання мало відрізняються від першого, то на цьому вимірювання можна припинити.
13. Переведіть перемикач SA1 в положення „викл” і від'єднайте джерело живлення.
14. За результатами експерименту побудуйте графіки залежності  $i = f(t)$ .
15. Обчисліть відношення  $i/I_0$ , потім  $\ln(i/I_0)$  і побудуйте графік залежності  $\ln(i/I_0)$  від часу  $t$ . Якщо одержана залежність  $i = f(t)$  експоненціальна, то останній графік буде прямою лінією. Обчислення і побудову графіків слід виконувати, використовуючи програму Microsoft Excel.
16. За графіком  $\ln \frac{i}{I_0} = \varphi(t)$  визначте час релаксації  $\tau$ . Порівняйте одержане значення з відомими вам значеннями R та C.

### Контрольні запитання

1. Що називають електроємністю і в яких одиницях вона вимірюється?
2. Як називається величина RC? В яких одиницях вона вимірюється?
3. Як змінюється струм під час зарядки і розрядки конденсатора?
4. Як переконатися, що одержана залежність струму зарядки чи розрядки від часу є експоненціальною?
5. Як графічно знайти час релаксації?

Додаток Б  
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, дослідна установка, що містить додатковий опір, набір резисторів з перемикачем, вимикач.

**Теоретичні відомості**

Повне коло складається з джерела струму, ЕРС якого  $\varepsilon$  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:

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

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

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

З виразу (6) видно, що  $P_{кор}$  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:

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

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

Схема установки зображена на рис. 1. Вона складається з послідовно з'єднаних джерела струму, додаткового опору, магазину опорів 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.

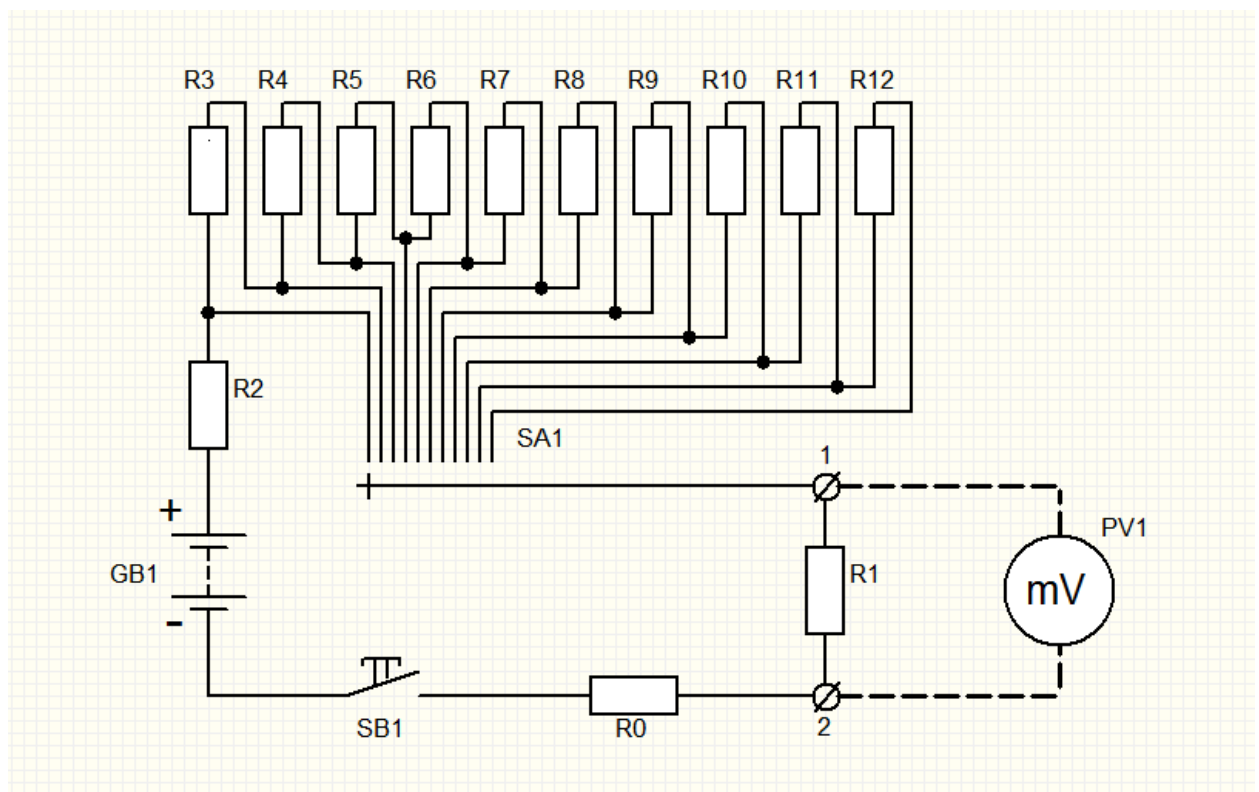


Рис.1. Схема установки для дослідження корисної потужності та К.К.Д. джерела струму

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  $R_0$ , який штучно збільшує опір акумулятора. Значення опору  $R_0$  вибране таким чином, щоб сума опорів  $R_0$  і  $R_1$  становила певне ціле число Ом. В даній установці ця сума дорівнює 20 Ом. Значення опорів  $R_2 - R_{12}$  підібрані таким чином, щоб при перемиканні  $SA_1$  одержати навантаження 2, 4, 7, 10, 15, 20, 25, 30, 40, 60 і 80 Ом.

### Хід роботи

1. Приєднайте до вимірювальної установки джерело живлення. Вид зверху на установку з приєднаним джерелом живлення подано на рис. 2, фото установки з мультиметром – на рис. 3.
2. Запишіть в робочий зошит значення внутрішнього опору:  $r=20$  Ом.
3. Перемикач  $SA_1$  поставте в положення 2 Ом. До гнізд 1 і 2 (див. рис. 1 і 2) приєднайте мультиметр, переключивши його в режим вимірювання напруги постійного струму  $V_{\text{---}}$  (межа вимірювання – 200 мВ).
4. Натисніть кнопку  $SB_1$  і запишіть значення струму при навантаженні 2 Ом.
5. Переведіть  $SA_1$  в наступне положення (4 Ом), знову натисніть  $SB_1$  і запишіть значення сили струму для опору 4 Ом.



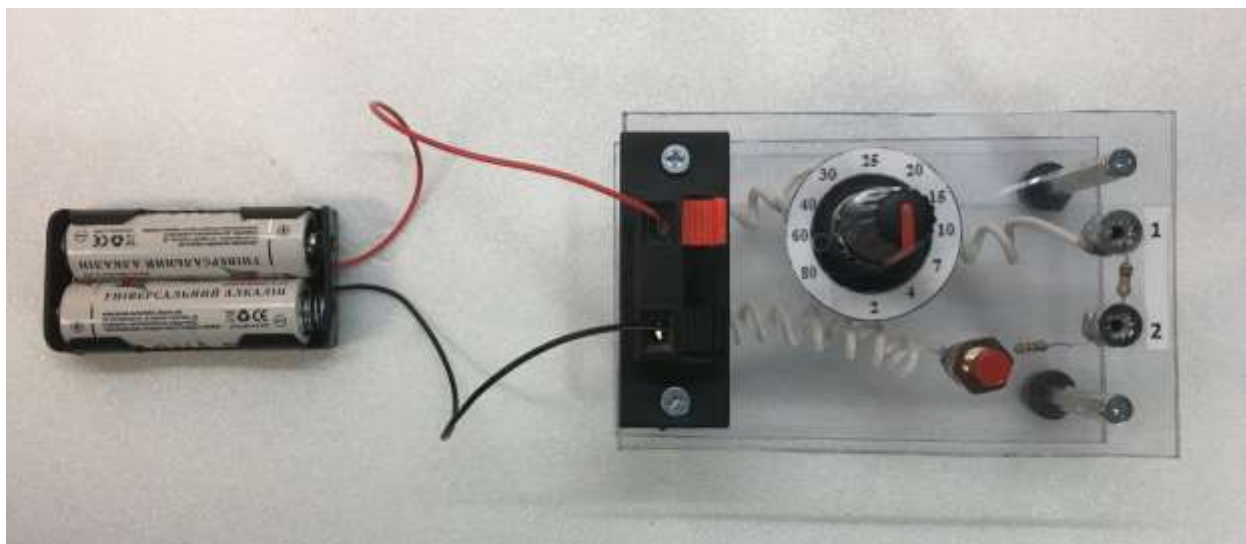


Рис.2. Установка для дослідження корисної потужності та К.К.Д. джерела струму

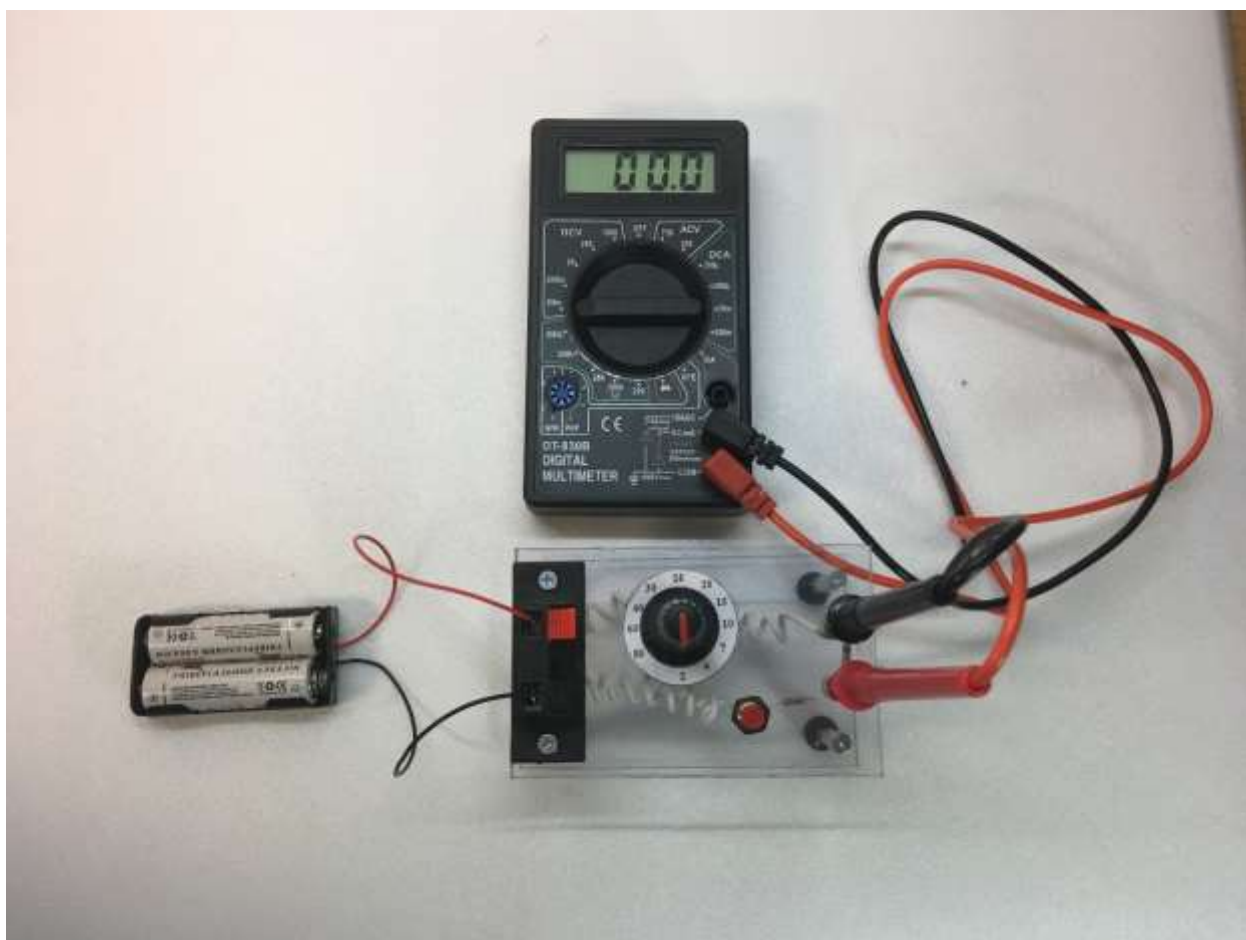


Рис. 3 Установка для дослідження корисної потужності та К.К.Д. джерела струму

6. Пункт 5 повторіть для всіх положень перемикача  $SA1$ . Ще раз нагадаємо, що кожне положення перемикача відповідає значенням опору навантаження 2, 4, 7, 10, 15, 20, 25, 30, 40, 60 і 80 Ом.
7. Обчисліть для кожного значення опору навантаження  $R$  корисну потужність  $P_{кор}$  і к.к.д.  $\eta$ :

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

8. Побудуйте графіки залежностей  $P_{кор}(R)$  і  $\eta(R)$ . Приклади графіків наведено на рис. 4.
9. 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?

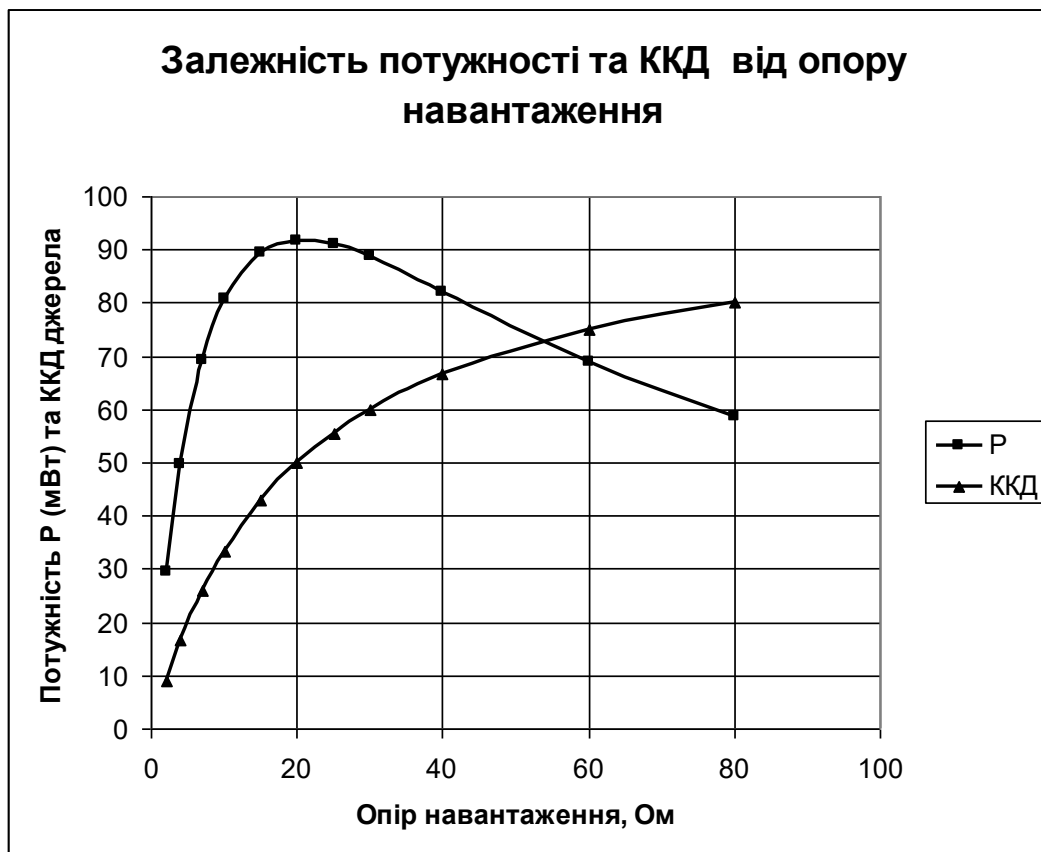


Рис. 4. Залежність корисної потужності та К.К.Д. джерела струму від навантаження

## Додаток В

ВИЗНАЧЕННЯ ТЕМПЕРАТУРИ РОЗЖАРЕННЯ  
ВОЛЬФРАМОВОЇ НИТКИ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЛАМПИ

**Мета роботи:** Вивчити метод вимірювання температури розжарених тіл, що використовує залежність опору провідника від температури.

**Прилади і матеріали:** Установка для дослідження з лампою розжарення Н10-010-0068 (1 В 0,068 А) або Н10-025-0150 (2,5 В 0,15 А), мультиметр типу DT830В, джерело живлення (два гальванічні елементи типу АА, з'єднані послідовно), термометр (один на групу).

## Теоретичні відомості

При високих температурах залежність опору металевих провідників від температури є нелінійною; вона може бути представлена функцією:

$$R = R_0 \cdot (1 + \alpha \cdot t + \beta \cdot t^2 + \gamma \cdot t^3), \quad (1)$$

де  $R$  – опір провідника при температурі  $t$  С;  $R_0$  – його опір при  $0^\circ\text{C}$ ;

$\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$  – температурні коефіцієнти опору даного металу, які можна визначити з таблиць.

Звичайно опір нитки лампи вимірюють не при  $0^\circ\text{C}$ , а при кімнатній температурі  $t_k$ .  $R_0$  можна обчислити, використовуючи лінійну залежність:

$$R_k = R_0 (1 + \alpha \cdot t_k), \quad (2)$$

звідки: 
$$R_0 = \frac{R_k}{1 + \alpha \cdot t_k} \quad (3)$$

Підставивши (3) в (1), одержимо:

$$R = \frac{R_k}{1 + \alpha t_k} (1 + \alpha \cdot t + \beta \cdot t^2 + \gamma \cdot t^3) \quad (4)$$

Визначивши дослідним шляхом  $R$  і розв'язавши (4), можна визначити температуру  $t$ .

Позначимо буквою  $S$  вираз, що стоїть в дужках:

$$C = 1 + \alpha \cdot t + \beta \cdot t^2 + \gamma \cdot t^3 .$$

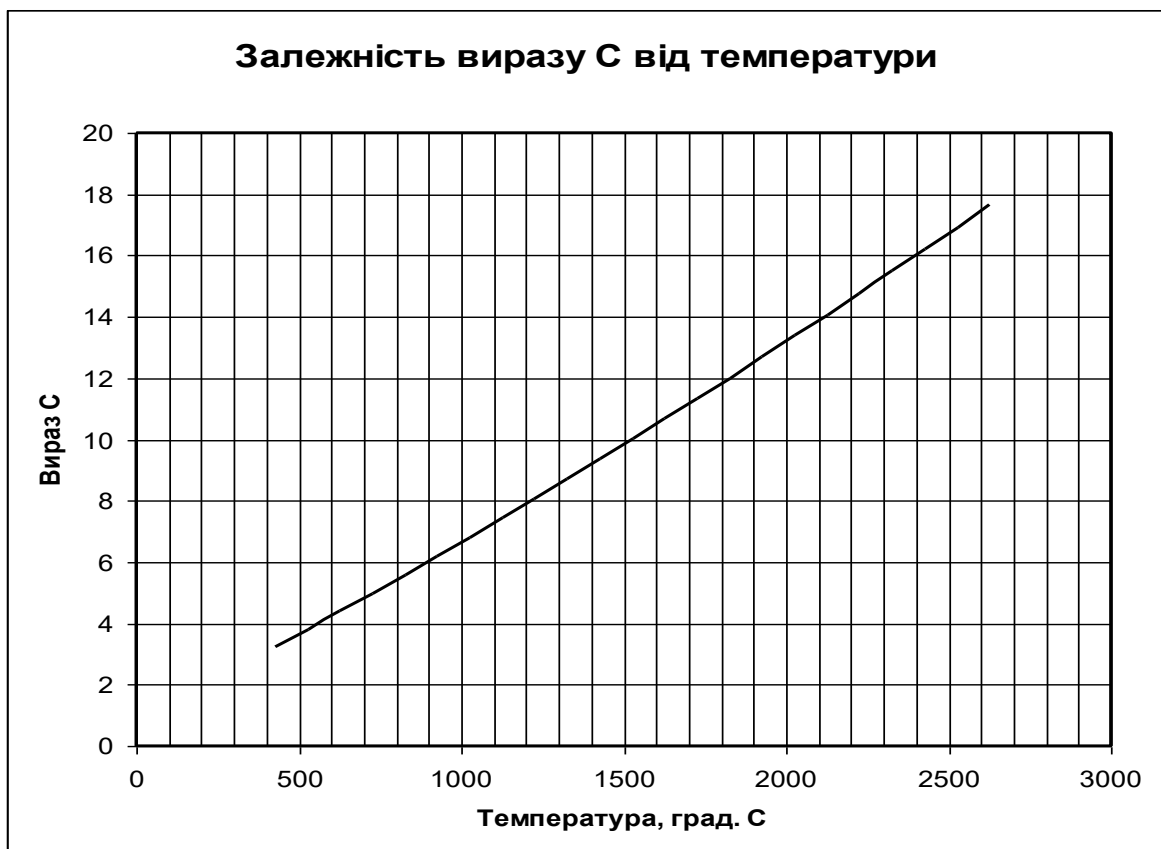
Знаходження  $t$  можна значно спростити, якщо використати графік залежності величини  $C$  від температури  $t$  (рис. 1.). Такий графік можна побудувати, використавши, наприклад, таблицю 19.13 з довідника [8] (с. 316).

Перепишемо рівняння (4): 
$$R = \frac{R_{\kappa}}{1 + \alpha \cdot t_{\kappa}} \cdot C .$$

Звідси:

$$C = \frac{R \cdot (1 + \alpha \cdot t_{\kappa})}{R_{\kappa}} \quad (5)$$

Вимірювши  $R_{\kappa}$ ,  $t_{\kappa}$  і  $R$ , треба спочатку обчислити  $C$  за рівнянням (5), а потім з допомогою графіка  $C(t)$  знайти температуру  $t$ .



### Опис установки для вимірювання

Опір нитки лампи при кімнатній температурі  $R_{\kappa}$  знаходять з допомогою омметра від цифрового мультиметра, кімнатну температуру – термометром.

Опір  $R$  розжареної нитки лампи визначають методом амперметра-вольтметра (рис. 2). Визначивши силу струму  $i$  напругу за законом Ома обчислюють опір нитки розжарення лампи. Принципова електрична схема установки для цих вимірювань зображена на рис. 3.

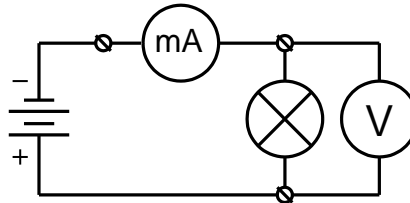


Рис. 2

Рис.2. Схема визначення амперметра-вольтметра

Особливістю цієї схеми є те, що сила струму в лампі не вимірюється амперметром, а визначається за спадом напруги на відомому опорі  $R_1$ . Якщо опір  $R_1$  взяти рівним 1 Ом, то покази вольтметра будуть чисельно рівні силі струму в колі. Опір вольтметра від мультиметра порядку 1 МОм, тому підключення вольтметра до ділянки кола практично не змінює сили струму в колі.

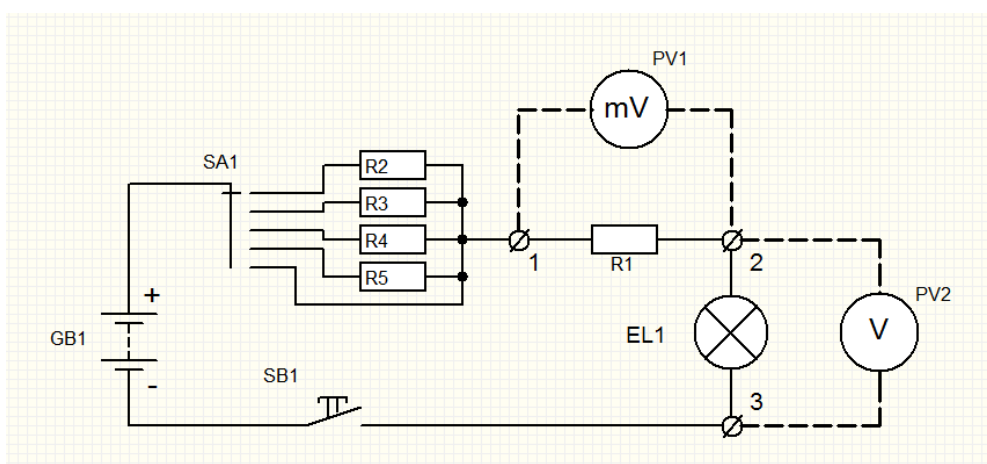


Рис.3. Схема установки для визначення температури вольфрамової нитки електричної лампи

Опір нитки лампи в розжареному стані дорівнює:

$$R = \frac{U}{I}, \quad (6)$$

де  $U$  – покази вольтметра PV2, а  $I$  – покази вольтметра PV1.

### Хід роботи

1. З допомогою мультиметра виміряйте опір вольфрамової нитки лампи при кімнатній температурі –  $R_k$ . Перемикач мультиметра переведіть в положення  $\Omega$  (200 Ом), притисніть провідники мультиметра один до одного і запишіть його покази (наприклад, 0,4 Ом). Це значення слід віднімати від показів мультиметра при вимірюванні опору лампи. Приєднайте провідники мультиметра до гнізд 2 і 3 (див. рис. 3 і 4); результат вимірювання запишіть в робочий зошит.
2. За термометром визначте і запишіть кімнатну температуру  $t_k^o$ .
3. Приєднайте до вимірювальної установки джерело живлення. Вид зверху на установку з приєднаним джерелом живлення подано на рис. 4.
4. Переведіть перемикач мультиметра в положення  $V\text{---}$  (20 В) і приєднайте провідники мультиметра знову до гнізд 2 і 3. Перемикач SA1 повинен бути в положенні 1.
5. Натисніть на кнопку SB1. Нитка лампи повинна ледь-ледь розжаритись, а вольтметр показувати значення напруги близько 1 В. Запишіть значення напруги в зошит.
6. Повторіть вимірювання напруги при положеннях перемикача SB1 2, 3 і 4.



Рис.4. Установка для визначення температури вольфрамової нитки електричної лампи

7. Провідники мультиметра приєднайте до гнізд 1 і 2, а перемикач мультиметра переведіть в положення 200 мВ. Як було зауважено вище, покази мультиметра відповідатимуть силі струму в мА. Натисніть SB1 і запишіть покази мультиметра в зошит.
8. Повторіть вимірювання при положеннях перемикача SA1 3, 2 і 1.
9. Для кожної з чотирьох пар значень напруги і сили струму обчисліть опір нитки розжарення  $R$  (формула (6)) та значення виразу  $C$  (формула (5)). Температурний коефіцієнт опору для вольфраму  $\alpha = 0,0048 \text{ град}^{-1}$ .
10. За графіком на рис. 1 знайдіть температуру нитки розжарення при різних значеннях напруги.
11. За даними обчислень побудуйте графік залежності  $t^{\circ}C = f(U)$ .

Результати вимірювань і обчислень зручно подати у вигляді табл. 1.

Таблиця 1.

**Результати досліджень залежності опору провідника від температури**

$N_2 \text{ n/n}$	$R_k, \text{ Ом}$	$t_k, \text{ }^{\circ}C$	$U, \text{ В}$	$I, \text{ А}$	$R, \text{ Ом}$	$C$	$t, \text{ }^{\circ}C$
1							
2							
...							
5							



**Контрольні запитання.**

1. Як можна визначити опір провідника?
2. Як залежить опір металевих провідників від температури? Поясніть цю залежність з точки зору електронної теорії провідності металів.
3. Де використовується залежність опору металів від температури?
4. Розкажіть про явище надпровідності. Накресліть графік залежності опору від температури при переході в стан надпровідності.

## Додаток Г

## «ДОСЛІДЖЕННЯ НАПІВПРОВІДНИКОВОГО ДІОДУ»

**Мета роботи:** Одержати вольт амперну характеристику діоду. Дослідити залежність опору діоду від прикладеної напруги.

**Прилади і матеріали:** Джерело живлення з двох гальванічних елементів чи акумуляторів типорозміру АА, мультиметр типу DT830В, установка для зняття вольт амперної характеристики діоду.

**Теоретичні відомості**

Напівпровідниковий діод – це напівпровідниковий прилад, принцип дії якого ґрунтується на використанні властивостей електронно-діркового переходу. Електронно-дірковий або  $p-n$  перехід – це електричний перехід між двома областями напівпровідника, одна з яких має провідність  $p$  – типу (діркову), а інша –  $n$  – типу (електронну). Одержують  $p-n$  перехід різними способами, одним з яких є вплавлення в пластинку напівпровідника  $n$  – типу акцепторної домішки, що утворює в частині пластинки напівпровідник  $p$  – типу. Тонкий перехідний шар, в якому домішки компенсують одна одну, і є  $p-n$  переходом.

Область з великою концентрацією домішки  $i$ , отже, малим опором, називають емітером, другу область називають базою. Прямим включенням діоду називають таке включення, при якому плюс джерела приєднується до  $p$  – області. Електричний струм через діод обумовлений рухом основних (для  $p$  – області) носіїв заряду з емітера в базу, опір  $p-n$  переходу малий.

При зворотному включенні діоду (мінус до  $p$  – області) електричний струм зумовлений рухом лише неосновних носіїв з бази в емітер. Його значення на три-чотири порядки менше, ніж значення прямого струму. Це і є основна властивість діоду – одностороння провідність.

Залежність сили струму від напруги називають вольт амперною характеристикою діоду (ВАХ). В даній роботі потрібно зняти статичну вольт амперну характеристику і визначити залежність статичного опору діоду від прикладеної напруги.

### Опис установки для вимірювання.

Для зняття ВАХ використовується схема, зображена на рис. 4.28. За цією схемою вимірюється прямий струм діоду. Для вимірювання зворотного струму слід змінити полярність джерела і замість міліамперметра увімкнути в коло мікроамперметр.

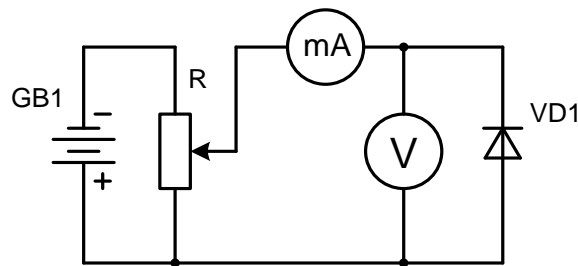


Рис. 4.28

Рис. 4.28. Схема установка для ВАХ діоду

Схема установки для вимірювання як прямого, так і зворотного струму, зображена на рис. 4.29.

Потенціометр R схеми на рис. 1 замінений перемикачем SA1, що дає можливість повторювати вимірювання при одних і тих же значеннях напруги. Сила струму визначається за падінням напруги на опорі R11: при значенні опору R11, рівному 1 Ом, покази мілівольтметра дорівнюватимуть силі струму в мА. Для вимірювання зворотного струму в мкА в коло включають опір R12 значенням 1 кОм. Зміна напрямку струму через діод здійснюється перемикачем SA3.

При вимірюванні зворотного струму і одночасному підключенні приладів для вимірювання сили струму і напруги, прилад для вимірювання сили струму реєструватиме не тільки зворотний струм діоду, а й струм через

вольтметр. Цей струм при напрузі 1 В дорівнює 1 мкА, що значно менше зворотного струму германієвого діоду. Проте і цю розбіжність можна усунути, якщо вимірювати струм і напругу не одночасно, а послідовно, спочатку – струм, потім – напругу. Наявність чи відсутність в колі мілівольтметра для вимірювання сили струму не впливає на покази вольтметра.

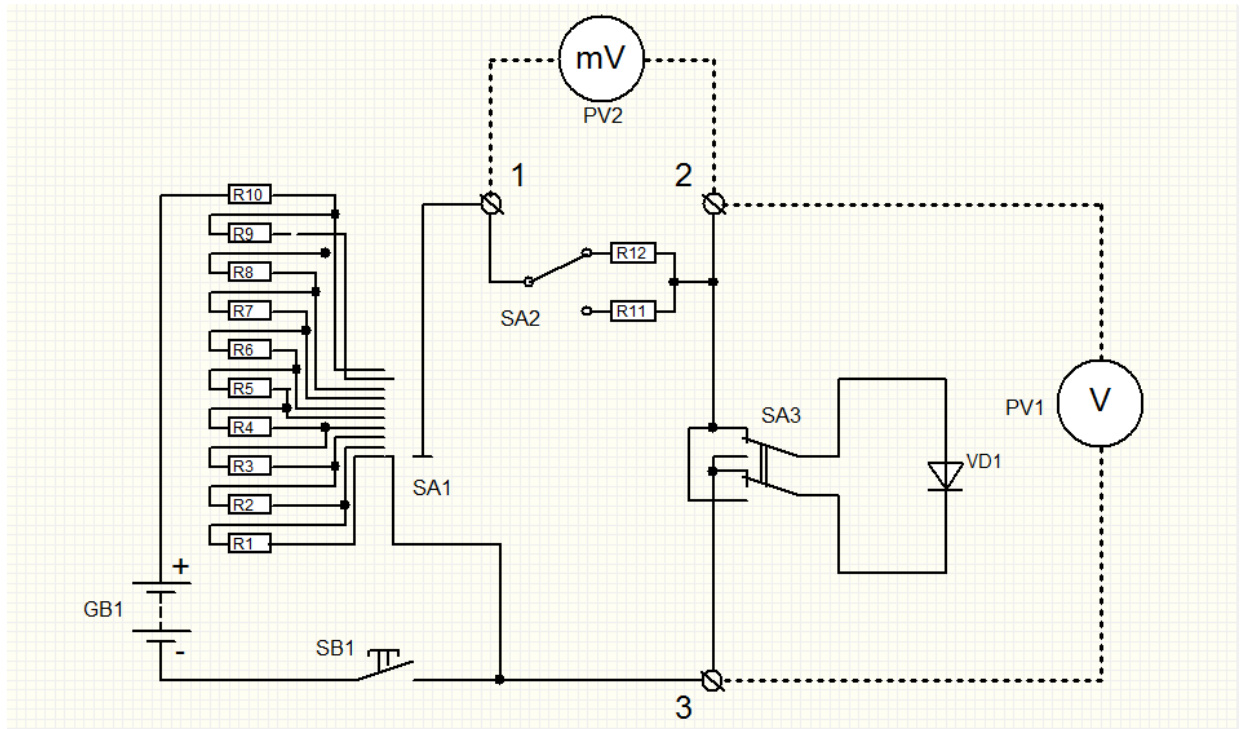


Рис.4.29. Схема для зняття ВАХ діоду

Зовнішній вид установки для зняття ВАХ показаний на рис. 4.30 (вид зверху) та 4.31.

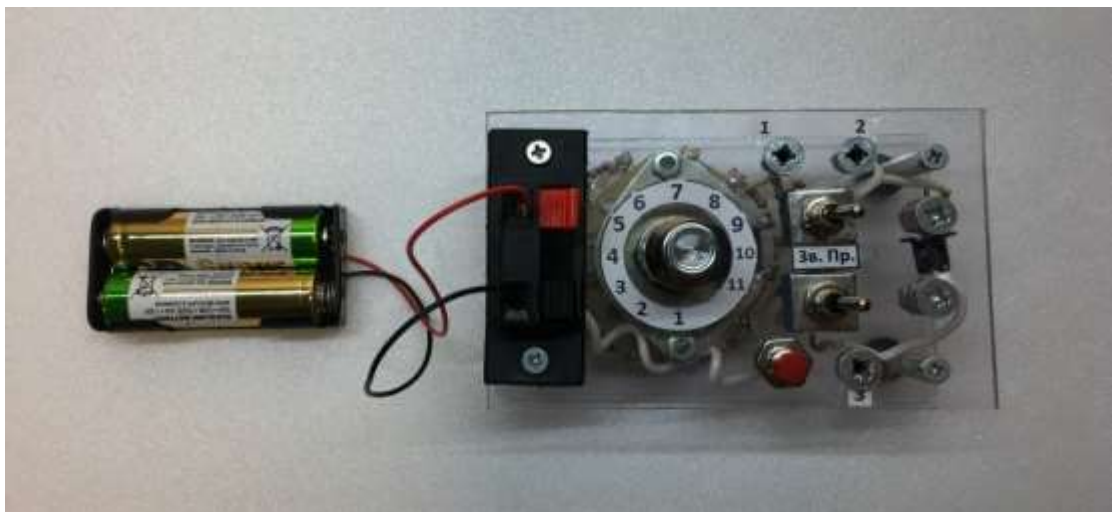


Рис.4.30 Установка для дослідження напівпровідникового діоду

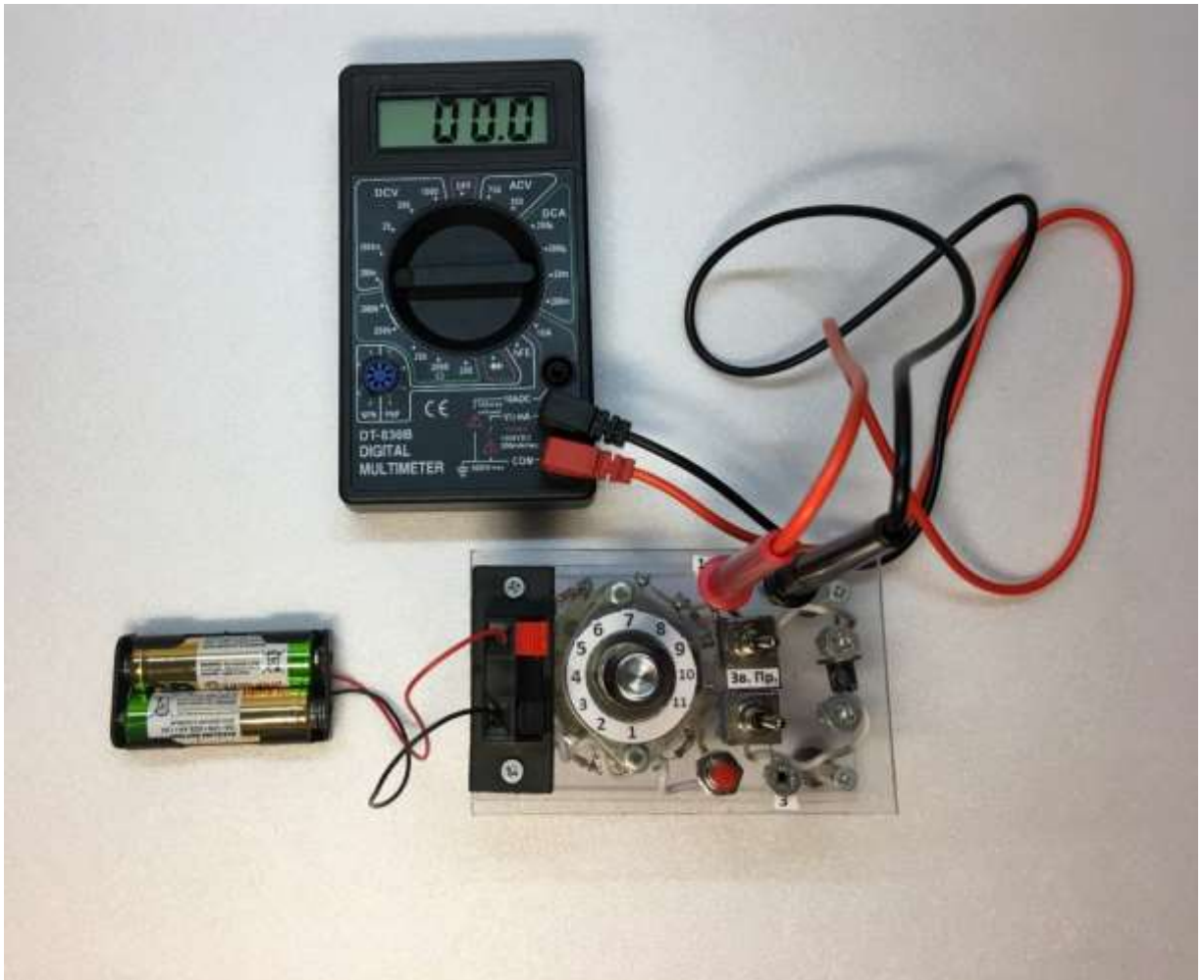


Рис. 4.31 Установка для дослідження напівпровідникового діоду

### Хід роботи

1. Приєднайте до вимірювальної установки джерело живлення Вид зверху на установку з джерелом живлення показаний на рис. 4.30 та 4.31. Перемикач SA1 встановіть в положення 1. З положення 1 в положення 11 перемикач SA1 переводять, повертаючи ручку за годинниковою стрілкою, з положення 11 в положення 1 – проти годинникової стрілки.

2. Перемикачі SA2 і SA3 переведіть в положення „прямий струм” – вправо.

3. Перемикач мультиметра встановіть в положення 200 mV постійного струму і приєднайте щупи мультиметра до гнізд 1 і 2. Натисніть кнопку SB1 – покази мілівольтметра дорівнюють нулю. Натискати кнопку слід тільки на час, необхідний для вимірювання.

4. Переведіть перемикач SA1 в положення 2, натисніть кнопку і запишіть покази мілівольтметра. (Нагадаємо, що покази мілівольтметра відповідають струму в мА).

5. Запишіть значення струму при інших положеннях перемикача SA1. **Будьте уважні!** Струм через діод не повинен бути значно більшим 200 мА. Тому при досягненні струму більш, ніж 200 мА (при цьому цифри на індикаторі погаснуть і висвітиться 1), слід припинити вимірювання і перевести перемикач SA1 в положення 1.

6. Перемикач мультиметра переведіть в положення 20 V постійного струму. Підключіть щупи мультиметра до гнізд 2 і 3.

7. Переводячи перемикач SA1 в положення 2, 3 і т. д., запишіть значення напруги на діоді. **Будьте уважні!** Останнє положення перемикача, для якого ви запишете напругу, повинно відповідати максимальному струму, одержаному в пункті 5.

8. Перемикач мультиметра встановіть в положення 200 mV постійного струму і приєднайте щупи мультиметра до гнізд 1 і 2. Перемикачі SA2 і SA3 переведіть в положення „зворотний струм” – вліво.

9. Запишіть значення сили струму при всіх положеннях перемикача SA1. (Тепер покази мілівольтметра – це значення сили струму в мкА).

10. Перемикач мультиметра переведіть в положення 20 V постійного струму. Підключіть щупи мультиметра до гнізд 2 і 3.

11. Запишіть значення напруги при всіх положеннях перемикача SA1.

12. Повторіть вимірювання, передбачені пунктами 2 – 11.

12. За даними вимірювань побудуйте ВАХ діоду. Значення прямого струму і прямої напруги вважайте додатними, а зворотних – від'ємними. Рекомендовані масштаби: прямий струм – в 1 см 10 мА, пряма напруга – в 1 см 0,05 В; зворотний струм – в 1 см 10 мкА, зворотна напруга – в 1 см 0,5 В.

13. За вказівкою викладача повторіть вимірювання з кремнієвим діодом типу Д 226.

14. Обчисліть значення статичного опору діода при різних значеннях напруги.

Табл. 1 для запису результатів вимірювань може мати такий вид (прямий струм):

Таблиця 1.

**«Прямому струмі» та «Зворотному струмі»**

U, В	0										
I, мА	0										
R, Ом	-										

Для зворотного струму сила струму – в мкА, опір – в кОм.

**Контрольні запитання**

1. Назвіть основні властивості напівпровідників.
2. Як одержують напівпровідник n – типу? p – типу?
3. Як утворюється p-n – перехід і які його властивості?
4. Як змінюється опір діоду при зміні напруги?
5. Проаналізуйте одержані ВАХ. Чим відрізняються ВАХ германієвого і кремнієвого діодів?