

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

***О.К. Ткаченко М.В. Федьович***

**ПРАКТИКУМ ІЗ ШКІЛЬНОГО ФІЗИЧНОГО  
ЕКСПЕРИМЕНТУ**

***Частина I***

**Житомир 2004**

Навчальне видання

**Ткаченко Олександр Кирилович  
Федьович Микола Васильович**

## **ПРАКТИКУМ ІЗ ШКІЛЬНОГО ФІЗИЧНОГО ЕКСПЕРИМЕНТУ**

*Навчальний посібник*

Надруковано із оригінал-макета авторів.

Підписано до друку 04.11.2004. Формат 60х90/16.

Ум. друк. арк. 6,3. Обл. вид. арк. 9,75.

Друк різнографічний. Зам. 250. Наклад 300.

---

Поліграфічний центр ЖДУ.

м. Житомир, вул. Велика Бердичівська, 40  
електронна пошта (E-mail) : [zu@zu.edu.ua](mailto:zu@zu.edu.ua)

УДК 53(076.5)



## ПЕРЕДМОВА

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

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

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

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

Майже всі ці види фізичного експерименту увійшли до даного посібника, в якому подається опис лабораторних робіт із методики й техніки шкільного фізичного експерименту. Запропонований посібник містить завдання, які спрямовують навчальну самостійну роботу студентів на вивчення шкільного обладнання й оволодіння методикою проведення експерименту. Майбутній учитель повинен навчитись грамотно з методичної й технічної точок зору проводити навчальний експеримент, за його допомогою знайомити учнів із методами природничонаукового дослідження, розвивати творчий потенціал їх, мислення.

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

- а/ дотримання певної логічної послідовності в доборі демонстрацій;
- б/ визначення мети, функціонального призначення досліду;
- в/ раціонального розміщення приладів при проведенні демонстрацій;
- г/ надання демонстрації проблемного характеру;
- д/ виявлення методичних переваг однієї демонстрації перед іншою;
- е/ порівняльна методична оцінка варіантів досліду;
- є/ вибір доцільної методики роботи з таблицею, відеофільмом, кінофільмом, демонстрацією тощо.

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

На етапі самостійного опрацювання літературних джерел, студенту необхідно:

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

- зробити необхідні записи і зарисовки в робочому зошиті для лабораторних занять.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Не останнє місце в підготовці майбутнього вчителя займають питання культури ведення записів у робочому зошиті та культури оформлення роботи. Записи слід вести охайно і грамотно, без перекреслень і виправлень. Малюнки й таблиці мають бути виконані за допомогою креслярських інструментів олівцем або пастою.

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

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

Досвід показав, що суттєвими у підвищенні ефективності самостійної роботи студентів з лабораторного практикуму є орієнтація їх на типові обладнання фізичного кабінету школи і раціоналізація процесу самопідготовки до занять. Тому-то підбір завдань до лабораторних занять здійснювався з урахуванням технічної забезпеченості кабінетів фізики приладами, що випускаються чи випускалися промисловістю.

## Лабораторна робота № 1

### Шкільні електровимірювальні прилади

**Мета:** вивчити будову і дію електровимірювальних приладів. Навчитися користуватися шкільними вимірювальними приладами при постановці навчального експерименту.

**Завдання I.** Повторити необхідний навчальний матеріал за шкільними та вузівськими підручниками.

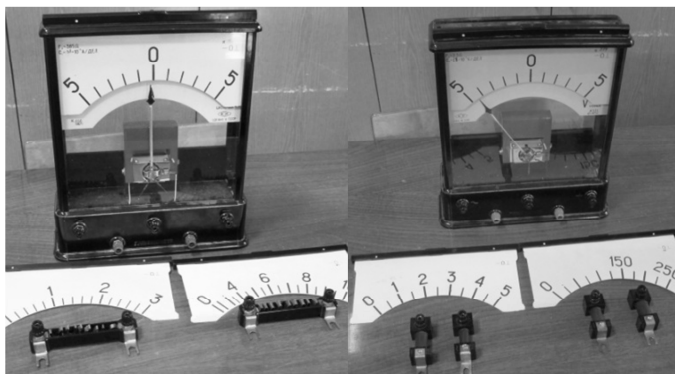
**Завдання II.** Ознайомитися з будовою й дією електровимірювальних приладів, набути практичних умінь та навичок при їх використанні:

#### 1. Демонстраційні амперметри й вольтметри

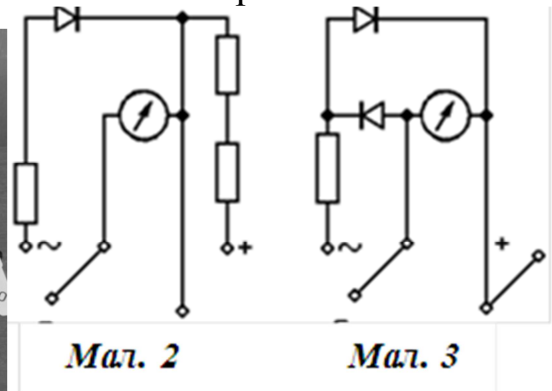
**Мета:** вивчити будову й принцип роботи демонстраційного амперметра і вольтметра.

##### Опис приладів

Демонстраційні амперметр і вольтметр (*мал. 1*) є універсальними вимірювальними приладами. Вмонтовані в прилади випрямлячі (вимірювальні механізми приладів магнітоелектричної системи можна використовувати тільки в колах постійного струму) дають можливість виконувати вимірювання і в колах змінного струму. Електричну схему амперметра показано на *мал. 2*, а вольтметра – на *мал. 3*.



*Мал. 1*



*Мал. 2*

*Мал. 3*

Два шунти, які додаються до амперметра, дають змогу користуватися приладом як амперметром постійного і змінного струмів із межами вимірювання  $0-3$  і  $0-10$  А. При виконанні значної кількості дослідів для вибору потрібної чутливості амперметра зручно користуватися реостатом-шунтом. При потребі його можна відповідно проградуювати.

Змінні додаткові опори, що додаються до вольтметра, дають можливість користуватися ним як вольтметром постійного струму з межами вимірювань  $0-5$  і  $0-15$  В і змінного струму з межами вимірювань  $0-15$  і  $0-250$  В.

Похибка приладів не перевищує  $\pm 4\%$  верхньої межі вимірювання в колах постійного струму і  $\pm 5\%$  у колах змінного струму. У задній стінці приладів умонтовано комірки для зберігання шунтів і додаткових опорів. Придбавши прилади, пронумеруйте їх шунти та додаткові опори і з даним приладом завжди їх використовуйте. Також на задню стінку виведено ручку коректора вимірювального механізму, за допомогою якої можна встановлюють стрілку приладу в початкове положення.

Якщо амперметр використовують у колах постійного струму, то шунт на  $3\text{ А}$  або  $10\text{ А}$ , залежно від значення вимірюваної сили струму, приєднують до верхньої правої клеми, позначеної знаком  $<\underline{+}>$ , і до середньої клеми, яка є спільною для кіл постійного й змінного струмів. До клем на шунті приєднують провідники вимірюваного кола, дотримуючись полярності вмикання. Відповідно до вибраного шунта у передній паз, що міститься у верхній частині приладу, вставляють шкалу на  $3$  або  $10\text{ А}$ .

Використовуючи прилад у колах змінного струму, шунти приєднують до середньої і лівої клеми, яку позначено знаком  $<\underline{\sim}>$ . При цьому використовують відповідні шкали, які для змінного струму нерівномірні. Оскільки випрямляч нерівномірну характеристику, то початок робочої частини шкали показано точкою.

Демонстраційний вольтметр також можна використовувати у колах постійного й змінного струмів. Для цього є відповідні шкали і додаткові опори, які до вольтметра підганяють індивідуально, тому їх слід використовувати з тим приладом, до якого вони виготовлені. Додаткові опори для постійного струму приєднують до правої верхньої клеми, а для змінного – до лівої. Провідники електричного кола приєднують до додаткового опору і до центральної клеми.

При використанні приладів як гальванометрів вимірювану величину подають до клем „гальванометр” (дві нижні клеми). Слід мати на увазі, що гальванометр амперметра має великий опір (порядку кількох сотень омів), а гальванометр вольтметра – малий (порядку кількох омів).

Реостат-шунт приєднують до верхніх клем залежно від роду вимірюваного струму (постійного чи змінного).

### **Порядок ознайомлення з приладами:**

1. Перевірте комплектність демонстраційного амперметра (наявність змінних шкал і шунтів).

2. Простежте внутрішнє електричне коло демонстраційного амперметра при використанні його в колах постійного, змінного струму і як гальванометра (для цього скористайтеся примірником розкритого демонстраційного амперметра).



3. Перевірте комплектність демонстраційного вольтметра (наявність змінних шкал і додаткових опорів).

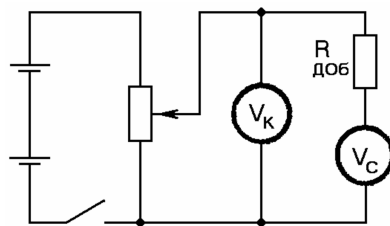
4. Простежте внутрішнє електричне коло демонстраційного вольтметра при використанні його в колах постійного, змінного струму і як гальванометра (для цього скористайтеся примірником розкритого демонстраційного вольтметра).

## 2. Розширення меж вимірювання амперметра й вольтметра

**Мета:** розрахувати шунт до амперметра і додатковий опір до вольтметра.

### *а) Розширення меж вимірювання вольтметра*

**Обладнання:** вольтметр демонстраційний; вольтметр контрольний, омметр, джерело постійного струму, реостат повзунковий, вимикач, магазин опорів, комплект з'єднувальних провідників.



**Мал. 4**

В лабораторній практиці часто зустрічається необхідність розширити межі вимірювання електровимірювального приладу. Ця задача вирішується підключенням до приладу додаткового опору. При вмиканні вольтметра в коло з напругою, що перевищує напругу, на який він розрахований, послідовно з вольтметром включають відповідний додатковий опір.

У роботі потрібно розрахувати цей додатковий опір до вольтметра так, щоб одержати прилад, яким можна було б вимірювати напругу в заданих межах. Резистор опором  $R_{доб}$  приєднують до приладу послідовно, тому сила струму в них однакова. Напруга, яку вимірюють  $U$ , дорівнює сумі напруги на вольтметрі і додатковому резисторі:

$$U = IR_0 + IR_{доб}, \text{ звідси } R_{доб} = R_0(n-1) \quad (1)$$

де  $I$  – гранична сила струму для вольтметра, яка розраховується за формулою  $I = \frac{U_0}{R_0}$  (межа вимірювання вольтметра  $U_0$  визначається за шкалою приладу);  $R_0$  – внутрішній опір приладу (вимірюється омметром);  $U$  – напруга межі, яка задається.

### Порядок виконання роботи:

1. Підготуйте в зошиті таблицю для запису результатів вимірювань і обчислень.

	$R_в$	$U_в$	$I$	$U$	$R_{доd}$	$U_к$	$U_c$	$\Delta U$
1								
2								
3								

2. За допомогою омметра виміряйте внутрішній опір  $R_в$  вольтметра; за шкалою визначте  $U_в$  і розрахуйте гранично допустиму для нього силу струму  $I$ .

3. Виберіть, межу вимірювальної напруги  $U$  і розрахуйте опір додаткового резистора  $R_{доd}$  за формулою (1).

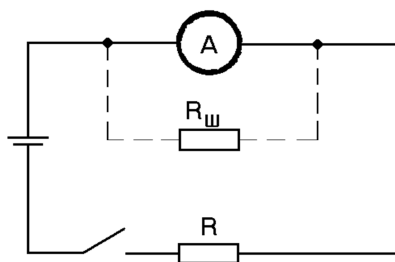
4. З наявних резисторів виберіть необхідний і перевірте його опір омметром. Приєднайте цей резистор до вольтметра і визначите ціну поділки зібраного в такий спосіб вольтметра.

5. Зберіть коло за схемою, показаною на мал. 4. Воно складається з джерела струму, потенціометра, контрольного вольтметра  $V_к$ , вимикача і зібраного вами вольтметра  $V_c$ .

6. Замкніть коло і порівняйте показники зібраного вами вольтметра з контрольним. Потім змінюючи напругу в колі, запишіть у таблицю покази  $U_к$  контрольного, покази  $U_c$  зібраного вольтметра, а також поправку  $\Delta U$ , яка дорівнює різниці  $U_к - U_c$ .

#### б) Розширення меж вимірювання амперметра

**Обладнання:** амперметр демонстраційний, амперметр магнітоелектричної системи, джерело постійного струму, реостат повзунковий, мікрометр, лінійка вимірювальна з міліметровими поділками, вимикач, емальована мідна дротина, комплект з'єднувальних провідників.

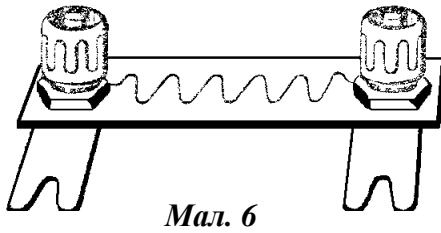


Мал. 5

Силу електричного струму вимірюють за допомогою амперметра (міліамперметра, мікроамперметра), який включають у коло **послідовно** з резистором опором  $R$  (мал. 5). Опір амперметра повинен бути в багато разів менший опору електричного кола. Для розширення меж вимірювання, до амперметра підключають шунт  $R_ш$ , показаний на малюнку пунктиром. Шунт, являє собою дротяний резистор, який вмикають

пунктиром. Шунт, являє собою дротяний резистор, який вмикають

**паралельно** приладу. При цьому сила струму  $I_{\text{вим}}$  дорівнює сумі сил струмів, що проходять через шунт  $R_{\text{ш}}$  і прилад



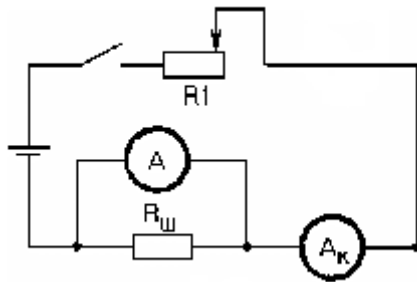
Мал. 6

$$I_{\text{вим}} = I_{\text{ш}} + I_{\text{п}}$$

Згідно закону Ома для ділянки кола  $R_{\text{ш}} = \frac{U}{I_{\text{ш}}}$ . Враховуючи, що  $I_{\text{ш}} = I_{\text{вим}} - I_{\text{п}}$  і

$U = I_{\text{п}} R_{\text{п}}$ , де  $R_{\text{п}}$  – опір приладу, одержимо:

$$R_{\text{ш}} = \frac{I_{\text{п}}}{I_{\text{вим}} - I_{\text{п}}} \cdot R_{\text{п}}, \quad R_{\text{ш}} = \frac{R_{\text{п}}}{n - 1}$$



Мал. 7

Опір  $R_{\text{п}}$  визначають за допомогою омметра,  $I_{\text{п}}$  – по шкалі приладу, як граничну силу струму, а  $I_{\text{вим}}$  – задана межа сили струму.

### Порядок виконання роботи:

1. Підготуйте в зошиті таблицю.

	$I_{\text{ю}}, \text{A}$	$R, \text{Ом}$	$I_{\text{п}}, \text{A}$	$d, \text{мм}$	$l, \text{м}$	$I_{\text{ю}}, \text{A}$	$I_{\text{п}}, \text{A}$	$\Delta I, \text{A}$
1								
2								
3								

2. Виміряйте опір  $R_{\text{п}}$  амперметра демонстраційного і по його шкалі визначите гранично допустиме для нього значення сили струму  $I_{\text{п}}$ .

3. Припустимо, що даний прилад повинен вимірювати граничну силу струму  $I_{\text{вим}} = 1 \text{ A}$ . Розрахуйте по вказаній раніше формулі опір шунта для цього випадку.

4. Виміряйте за допомогою мікрометра діаметр  $d$  мідної дротини, знайдіть по таблиці питомий опір  $\rho$  (для міді  $\rho = 0,017 \text{ мкОм} \cdot \text{м}$ ) цього матеріалу і розрахуйте довжину  $l$  дроту для шунта за формулою:

$$l = \frac{\pi d^2 R_{\text{ш}}}{4 \rho}$$

5. Відміряйте за допомогою лінійки відрізок дроту більший обчисленого на 2-3 см і відріжте його кусачками. Потім старанно зачистіть кінці дроту, зробіть петлі і підведіть їх під затискачі колодки так, щоб відстань між петлями точно відповідала розрахованій довжині шунта (мал. 6).

6. Підключіть виготовлений шунт до приладу, визначте ціну поділки підготовленого таким способом амперметра і зберіть коло за схемою, показаною на *мал. 7*, із контрольним  $A_k$  і підготовленим  $A$  приладами. Необхідно, щоб реостат  $R$  на  $6\text{ Ом}$  був повністю включений у коло.

7. Замкніть коло і реостатом  $R$  встановіть у колі силу струму  $1\text{ А}$  на контрольному амперметрі. Потім за допомогою реостата  $R$  змінійте силу струму в колі від мінімального значення до  $1\text{ А}$ , записуючи покази обох приладів у таблицю.

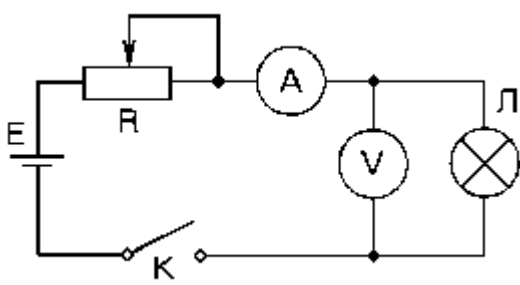
8. Обчисліть поправку, яка дорівнює абсолютному значенню середньої різниці показів двох ( $A$  і  $A_k$ ) амперметрів.

9. Результати вимірювань і обчислень занесіть до таблиці, зразки яких подано вище. Роботу виконати, дотримуючись методичних вимог щодо оформлення письмового звіту робіт фізичного практикуму.

### 3. Визначення потужності споживаної електричною лампою та опору її спіралі у робочому стані

**Мета:** виміряти споживану електричною лампою потужність та опір її спіралі у робочому стані.

**Обладнання:** демонстраційний вольтметр, демонстраційний амперметр; омметр, джерело постійного струму, автомобільна електрична лампочка на  $12\text{ В}$ , реостат повзунковий, вимикач, комплект з'єднувальних провідників.



Мал. 8

#### Порядок виконання роботи:

Скласти електричне коло за схемою (*мал. 8*), де:  $A$  – демонстраційний амперметр з шунтом на  $3\text{ А}$ , ввімкнений для вимірювань у колах постійного струму;  $V$  – демонстраційний вольтметр із додатковим опором на  $15\text{ В}$ , ввімкненим для вимірювання постійної напруги;  $L$  – автомобільна електрична лампочка на  $12\text{ В}$ ;  $E$  – джерело постійного струму;  $R$  – реостат на  $8\text{--}10\text{ Ом}$ ;  $K$  – вимикач.

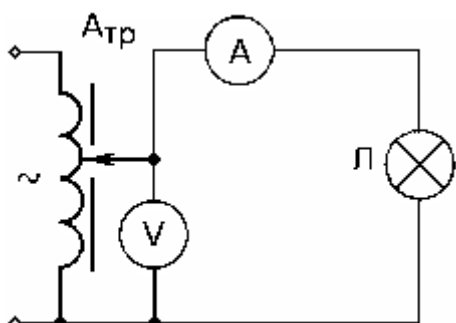
Потрібно встановити певну напругу і виміряти силу струму в колі. За здобутими даними обчислити значення споживаної потужності лампою, опір її спіралі, абсолютну і відносну похибку знайдених результатів.

#### 4. Використання демонстраційних амперметра й вольтметра в колі змінного струму

**Мета:** визначити, у скільки разів змінюється опір спіралі автомобільної лампи розжарення внаслідок її нагрівання струмом при підвищенні напруги від  $0$  до  $12\text{ В}$  (або до нормальної робочої напруги).

**Обладнання:** демонстраційний вольтметр, демонстраційний амперметр, автомобільна електрична лампа на  $12\text{ В}$ , випрямляч ВС-24, вимикач, комплект з'єднувальних провідників.

##### Порядок виконання роботи:



Мал. 9

Складіть електричне коло за схемою, поданою на мал. 9, де:  $A$  – демонстраційний амперметр з шунтом на  $3\text{ А}$ , ввімкненим для вимірювань у колах змінного струму;  $V$  – демонстраційний вольтметр з додатковим опором на  $15\text{ В}$ , ввімкненим для вимірювання змінної напруги;  $Л$  – електрична лампа на  $12\text{ В}$  (або інша великої потужності);  $A_{тр}$  – автотрансформатор від випрямляча ВС-24 із якого знімають змінний струм. Визначте опір спіралі при напрузі  $5, 10$  і  $12\text{ В}$ . Встановіть, у скільки разів збільшився опір спіралі лампи при її нагріванні.

#### Лабораторна робота № 2

##### Випрямлячі шкільного типу

**Мета:** вивчити будову і дію випрямлячів шкільного типу. Набути практичних умінь і навичок при їх використанні.

**Завдання I.** Повторити необхідний навчальний матеріал за шкільними та вузівськими підручниками.

**Завдання II.** Ознайомившись із загальними вимогами до експлуатації напівпровідникових випрямлячів, вивчити їхню будову та технічні дані, навчитися користуватися ними при постановці навчального експерименту:

##### 1. Селеновий випрямляч ВС-4-12

При постановці різних демонстрацій, лабораторних робіт та фізичного практикуму потрібна постійна напруга. Для цих цілей промисловість випускає напівпровідникові випрямлячі, найбільш прості за своєю будовою та надійні при використанні.

Селеновий випрямляч ВС-4-12 (*мал. 1*) використовується для перетворення змінної напруги електромережі  $127\text{ В}$  та  $220\text{ В}$  з частотою  $50\text{ Гц}$  у постійну пульсуючу напругу до  $12\text{ В}$  при силі струму до  $3\text{ А}$ .



**Мал 1**

Випрямляч складається з таких основних частин: металевго корпусу, в якому встановлений понижуючий трансформатор, селенових вентилів, щитка для запобіжників

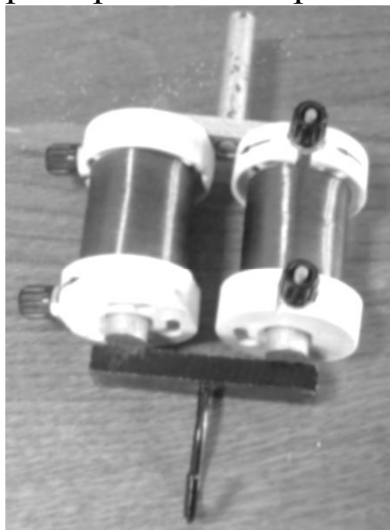
та колодки для приєднання електрошнура з ви́лкою.

На передній панелі випрямляча змонтовано: ручка перемикача напруги, сигнальна лампа, тумблер вмикання приладу, клеми підключення навантаження. У випрямлячі використана однофазна місткова схема випрямлення змінного струму.

Наявність перемикача у вторинному колі трансформатора дозволяє отримати випрямлені напруги  $4, 6, 8, 10, 12\text{ В}$ .

## 2. Демонстрація дії електромагніту

Використайте випрямляч ВС-4-12 для демонстрації роботи розбірного електромагніту.



**мал. 2**

З'єднайте обидві котушки електромагніту послідовно та виміряйте авометром їх спільний опір. Знаючи опір навантаження, розрахуйте максимальну напругу, яку можна зняти з випрямляча, не перевищуючи номінальне значення сили струму ( $3\text{ А}$ ).

З'єднайте кінці котушки з клемами випрямляча. Включіть випрямляч у мережу та покажіть магнітну дію електромагніту.

## 3. Селеновий випрямляч ВС-24

Прилад використовується для роботи від мережі змінного струму  $127\text{ В}$  та  $220\text{ В}$  частотою  $50\text{ Гц}$ . Споживана потужність випрямляча при максимальному навантаженні вторинного кола складає  $450\text{ Вт}$ .



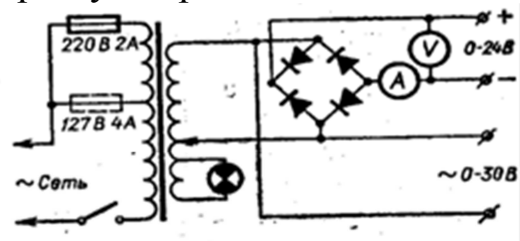
Випрямляч складається з шасі 1, на якому встановлені понижуючий трансформатор 2 з тороїдальним

сердечником, селенові вентиля 3, щиток для запобіжників 4. На вертикальній панелі 5 встановлені електровимірювальні прилади.



**Мал. 3**

На передній панелі приладу розміщені: вольтметр та амперметр постійного струму, сигнальна лампа, ручка для плавної зміни напруги, дві пари універсальних клем для зняття



**Мал. 4**

випрямленої та змінної напруги.

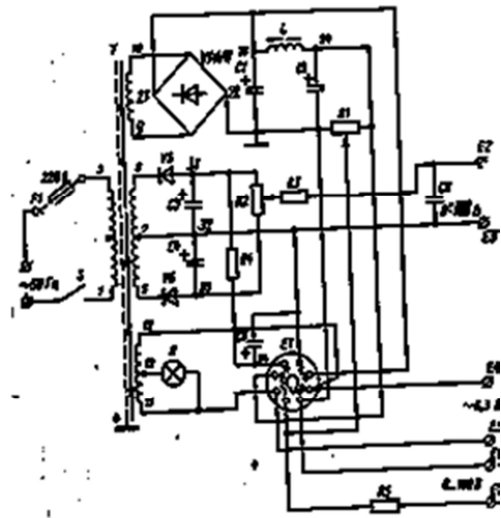
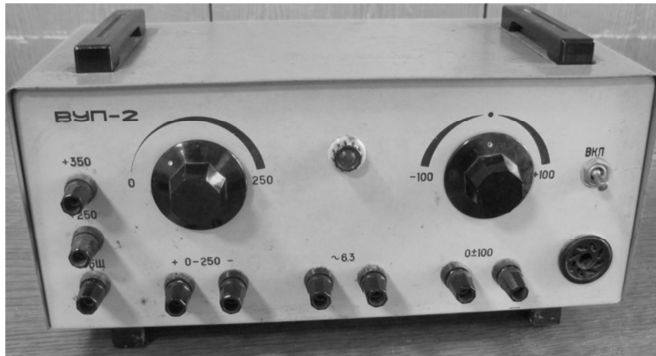
У приладі використовується місткова схема (мал. 4) для одержання двопівперіодного випрямлення.

Перед початком роботи з приладом потрібно перевірити правильність установки запобіжника. Потрібно пам'ятати, що одночасно встановлюють тільки один запобіжник на 4 А для 127 В або на 3 А для 220 В. Перед підключення до навантаження, ручку необхідно перемістити в нульове положення шкали. Величину знятої постійної напруги та струму показують вимірювальні прилади, вмонтовані до панелі випрямляча. Величина змінної напруги знаходиться по шкалі плавного регулятора.

При одночасному підключенні до приладу навантажень постійної та змінної напруги сумарне значення сили струму не повинно перевищувати 10 А.

#### **4. ВУП – випрямляч універсальний напівпровідниковий**

Випрямляч складається з таких основних частин: блоку живлення, випрямляча, фільтра із дроселя та електролітичних конденсаторів, щитка запобіжників, пульта керування, який знаходиться на передній панелі приладу.



Мал. 6

Випрямляч розрахований на підключення до електромережі змінного струму напругою  $127\text{ В}$  та  $220\text{ В}$ , частотою  $50\text{ Гц}$ .

Перед включенням випрямляча до мережі змінного струму необхідно:

1. Перевірити роботу запобіжників напруги мережі.
2. Підключити до вихідних клем випрямляча зібрану електричну схему або установку.
3. Заземлити корпус приладу.
4. Підключити випрямляч до мережі змінного струму.

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

### Вивчення вакуумного тріода

**Мета:** отримати характеристики тріода, подати ці характеристики у вигляді графіків та проаналізувати їх.

**Обладнання:** лампа 6Н23П (тріод) на панелі із затискачами, блок живлення ВУП, резистор змінний  $1\text{ кОм}$  – 2 шт., ампервольтметр, вольтметр на  $30\text{--}50\text{ В}$ , вольтметр лабораторний на  $6\text{ В}$ , комплект з'єднувальних провідників.

### Теоретичні відомості

У трьохелектродній електронній лампі між катодом та анодом, ближче до катода, розміщують третій електрод – сітку. Якщо до анода прикладений позитивний потенціал, то електрони, які випускаються розжареним катодом, рухаються у напрямку анода, створюючи анодний струм. При постійній силі струму розжарення катода, сила анодного струму лампи  $I_a$  залежить не тільки від анодної напруги  $U_a$ , але й від



напруги  $U_c$  на сітці. Тому невеликими змінами напруги на сітці можна у широких межах змінювати силу анодного струму і навіть зовсім його припинити. Ця властивість тріода дозволяє використовувати його у різних радіотехнічних пристроях (підсилювачах, лампових генераторах).

Основними характеристиками тріода є його анодна та сітчаста характеристики.

Анодна характеристика показує залежність сили анодного струму  $I_a$  від анодної напруги  $U_a$  при постійній нарузі на сітці  $U_c$ .

У даній роботі потрібно одержати характеристики тріода, подати ці характеристики у вигляді графіків та проаналізувати їх.

### Порядок виконання роботи:

1. Підготуйте у зошиті таблиці для запису результатів вимірювання та обчислень.

Таблиця 1

$U_c - const$													
$U_a, B$													
$I_a, mA$													

Таблиця 2

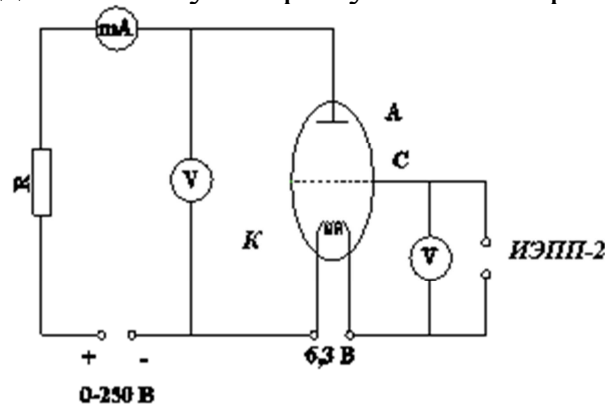
$U_a - const$											
$U_c, B$	-1,5	-1	-0,5	0	0,5	1	1,5	2	2,5	3	
$I_a, mA$											

2. За схемою, складіть електричне коло. Воно складається з трьох частин – розжарюваного, анодного та сітчастого.

Спочатку складіть коло розжарення. Для цього, затискачі розжарення на панелі лампи, з'єднайте з затискачами “~6,3 B” на блоці живлення. При виконанні роботи ця напруга залишиться незмінною.

Потім складіть анодне коло. Анодна напруга подається на лампу з потенціометра  $R_l$ . Підключіть потенціометр до затискачів “100 B” виходу випрямляча блока живлення. Для вимірювання сили анодного

струму підключіть у мережу міліамперметр, паралельно лампі –



вольтметр.

При складанні кола пам'ятайте, що джерела живлення та вимірювальні прилади у сітчастому та анодному колах повинні включатись з дотриманням їхньої полярності.

### 3. Зніміть анодну характеристику тріода.

Увімкніть блок живлення та, зміщуючи повзунки потенціометрів, спостерігайте за змінами напруги на аноді та сітці лампи. Встановіть повзунки потенціометрів у положення, при яких напруги в анодному колі та - сітці лампи дорівнюють нулю.

Після 2-3 хв нагрівання лампи встановіть напругу на сітці лампи 0 В, і поступово збільшуйте анодну напругу від нуля до максимуму. Через кожні 10 В знімайте покази вольтметра та відповідні їм покази міліамперметра. Результати вимірів занесіть до таблиці.

Дослід слід повторити, зменшуючи напругу до нуля, та перевірте, чи співпадають покази приладів з попередніми даними.

### 4. Зніміть сіткову характеристику тріода.

Переключіть міліамперметр на межу вимірювання 50 мА. Потенціометром  $R_1$  встановіть певну анодну напругу, наприклад 100 В або 120 В та підтримуйте її постійною під час досліду. Змінюючи потенціометром  $R_2$  сіткову напругу від 0 до 3 В поетапно по 0,5 В, слідкуйте за показами міліамперметра. Результати вимірів занести до таблиці 2.

Повторіть дослід, зменшуючи потенціал сітки до 0 В.

Змініть полярність напруги на сітці. Для цього на ламповій панелі замініть місцями провідники, які йдуть від потенціометра  $R_2$  на сітку та катод. Перемикніть міліамперметр на межу вимірювання 5 мА. Потенціометром  $R_2$  збільшуйте від'ємний потенціал сітки відносно катода від нуля до такого значення, при якому сила анодного струму стане рівною нулю (лампа закрита). Занесіть до таблиці два-три від'ємних значення напруги на сітці та відповідні їм значення сили анодного струму.

5. Закінчивши вимірювання, вимкніть блок живлення та за отриманими даними побудуйте анодну та сіткову характеристики тріода, відкладаючи по осі ординат силу анодного струму в міліамперах, а по осі абсцис – анодну або сіткову напруги у вольтях, вибравши відповідні масштаби.

6. Згідно з анодною характеристикою тріода знайдіть його внутрішній опір при напрузі 25 та 50 В.

7. Згідно із сітковою характеристикою тріода визначити зміни анодного струму при змінах напруги на сітці на 1 В (для двох–трьох ділянок характеристики).

### Лабораторна робота № 3

#### Шкільні трансформатори та перетворювачі напруги

**Мета:** вивчити будову і дію трансформаторів та перетворювачів напруги.

##### Завдання I. Повторити

необхідний матеріал за шкільними та вузівськими підручниками.

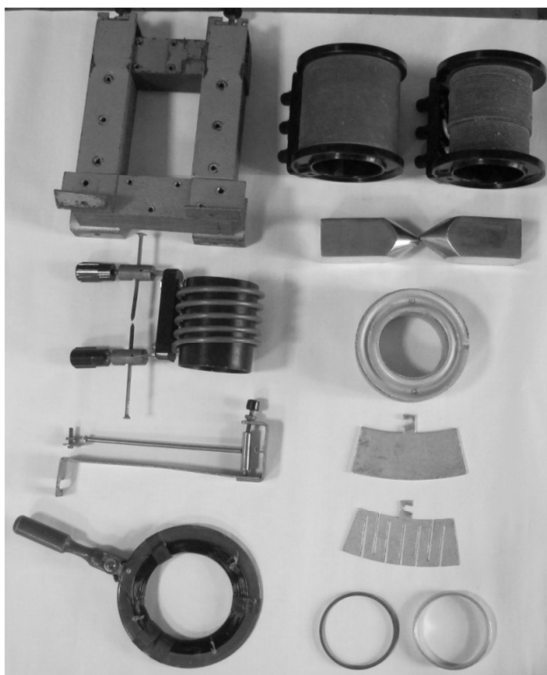
##### Завдання II. Ознайомитися з

будовою, технічними даними й правилами експлуатації різних типів шкільних трансформаторів, навчитися користуватися ними при постановці навчального експерименту.

#### 1. Трансформатор універсальний

У комплект трансформатора (мал) входять: U-подібне осердя з якорем та приладами для закріплення якоря; дві котушки – на 220 та 120 В – або одна секційна котушка; котушка, яка розділена на дві частини, для напруги 12 та 6 В; два сталєві наконечники конусоподібної форми; котушка з мідного товстого дроту, для демонстрації електрозварювання; маятник із двома пластинками; електроди; плоска котушка з низьковольтною лампою; мідне й алюмінієве кільце.

Його основні технічні дані: потужність 60 Вт; струм при напрузі 120 В не більше 0,5 А, а при напрузі 220 В не більше 0,3 А.



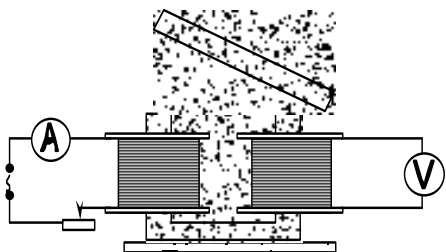
## 2. Виконати досліди з універсальним трансформатором

### *а) Трансформація змінного струму*

**Обладнання:** трансформатор, джерело змінного струму, вольтметр, моток ізольованого дроту (або котушка, що використовується для демонстрування дії електрозварювального апарата).

Зберіть трансформатор, для цього, на U-подібне осердя надіньте котушки  $120/220\text{ В}$  і  $6/6\text{ В}$ . Замкніть осердя ярмом, щільно притискаючи його спеціальними гвинтами.

Покажіть зниження напруги змінного струму. Підключіть первинну обмотку через ключ до мережі змінної напруги ( $120\text{ В}$  або  $220\text{ В}$ ). До цих же клем підключіть вольтметр. До клем вторинної котушки підключіть другий вольтметр, замкніть коло первинної котушки і покажіть, що з вторинної обмотки можна одержати перемінну напругу в  $12$  або  $6\text{ В}$ .



Мал. 2

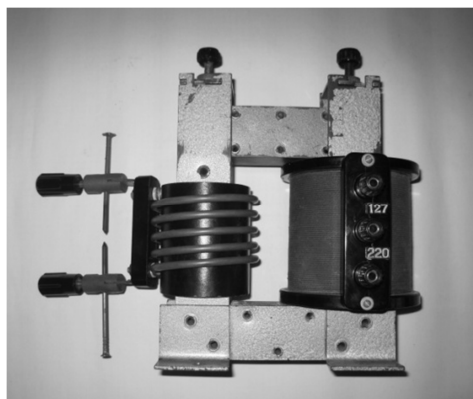
### *б) Роль магнітопроводу в роботі трансформатора*

Зберіть установку, показану на мал. 2. В залежності від напруги змінного струму підключіть первинну котушку до клем на  $120$  або  $220\text{ В}$ . Вторинну обмотку на  $12\text{ В}$  з'єднайте з вольтметром. Зніміть із трансформатора затискні гвинти. Включіть у первинну обмотку трансформатора і відзначте покази приладів для таких трьох випадків:

- 1) ярмо замикає обидва полюси U-подібного осердя;
- 2) ярмо розташоване на одному полюсі осердя;
- 3) ярмо розташоване на деякій відстані від осердя.

### *в) Залежність сили струму в первинній і вторинній обмотках трансформатора від навантаження вторинної обмотки*

Зберіть установку відповідно до мал. 2. Спочатку виміряйте струм холостого ходу (при розімкнутій вторинній обмотці). Потім, переміщуючи, повзунок навантажувального реостата ( $30\text{ Ом}$ ,  $5\text{ А}$ ), збільшуючи силу струму у вторинній обмотці для кожного положення повзунка, запишіть покази амперметрів в обох колах.



### *г) Дія моделі електрозварювального апарата*

Зберіть установку. У тримачах зварювальної котушки міцно закріпіть два зачищених

цвяхи (діаметром 2 мм), повернених вістрями один до одного. Уключіть первинну обмотку в сітку змінного струму напругою (120 або 220 В) і стисніть ручки зварювальної котушки так, щоб кінці цвяхів доторкнулися один до одного.

### 3. РНШ – регулятор напруги шкільний



РНШ призначений для плавного регулювання напруги змінного струму частотою 50 Гц при проведенні демонстраційних дослідів.

РНШ дозволяє одержати регульовану напругу в таких межах:

При вхідній (мережній) напрузі 120 В: а) регульована (вихідна) напруга до 220 В; б) максимальний струм

навантаження: при вихідній напрузі до 140 В – 8 А, при вихідній напрузі від 140 до 220 В – 6 А.

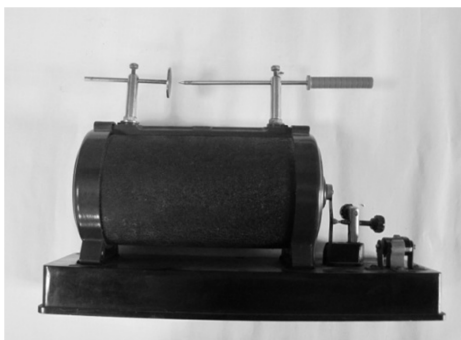
При вхідній (мережній) напрузі 220 В – регульована напруга до 240 В; максимальний струм навантаження 9 А.

Регулятор напруги складається із металевої підставки, на якій закріплені: автотрансформатор, дві колодки для плавких запобіжників, панель із затискачами. На передній панелі кожуха встановлений вольтметр.

При напрузі 120 В треба встановлювати плавкий запобіжник на 20 А, а при напрузі 220 В – на 10 А.

При експлуатації регулятора напруги необхідно враховувати, що осердя і обмотка автотрансформатора сильно нагріваються. Тому при роботі в номінальному режимі протягом 45 хв. необхідно вимикати прилад не менше ніж на 15 хв.

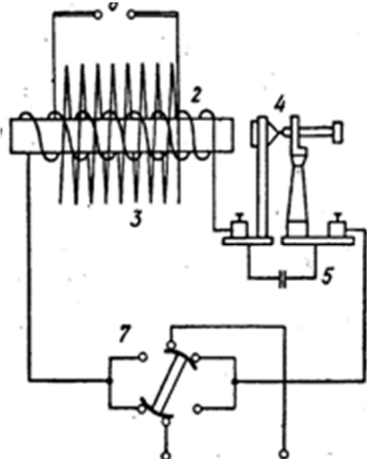
### 4. Високовольтний індуктор ІВ – 100



Індуктор високовольтний ІВ – 100 є джерелом високої напруги для демонстрування електричного розряду в повітрі і розріджених газах. Прилад являє собою трансформатор із розімкнутим магнітним колом. Він складається зі сталюого осердя, первинної й вторинної обмоток.

Для створення змінного магнітного поля, як умови для індукції е. р. с. у вторинній обмотці, замикання й розмикання постійного струму

в первинній обмотці здійснюється за допомогою молоточкового переривника.



Щоб зменшити інтенсивність іскри, яка утворюється при розриванні кола, і обгоряння контактів, паралельно молоточку і контактному гвинту вмикають конденсатор. Кінці вторинної обмотки з'єднані з гніздами, куди вставляють знімні колонки (борни), в отвори яких затискують стержні розрядника. За допомогою перемикача здійснюють вмикання приладу і зміну напрямку струму. Напряга живлення

індуктора ІВ – 100 становить *10-12 В*.

Під час роботи індуктора слід дотримуватись таких правил:

1. Не доторкуватися руками до розрядника і приєднаних до нього провідників.
2. Не допускати приєднання до індуктора джерел живлення напругою більш як *10-12 В*.
3. Щоб запобігти можливому пробою ізоляції вторинної обмотки, не допускати встановлення іскрового проміжку більш як *100 мм*.
4. Не допускати нагрівання індуктора вище *40°C*.
5. Без потреби не розбирати прилад.

### **Ознайомлення з будовою й прийомами роботи приладу:**

1. Ознайомтеся з будовою високовольного індуктора.
2. Закріпіть у борнах розрядники індуктора так, щоб іскровий проміжок між ними не перевищував *100 мм*.
3. Клеми первинної обмотки з'єднайте з випрямлячем ВС – 4-12.
4. Перемикач індуктора поставте в положення ручкою вгору.
5. Увімкніть випрямляч у мережу живлення.
6. Поверніть перемикач первинної обмотки індуктора на *90°*.

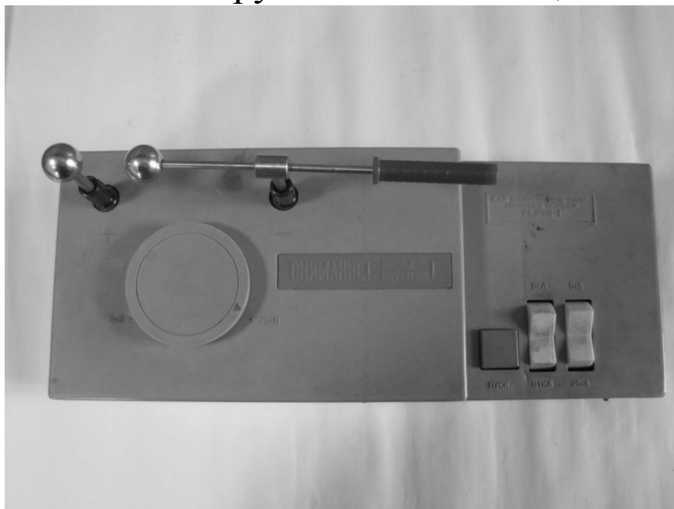
Якщо при цьому прилад не працюватиме, слід відрегулювати переривник обертанням контактного регулювального гвинта. При нормальній роботі переривника іскріння на його контактах буде мінімальним, а розряд індуктора – сталий і безперервний. Після регулювання гвинт затискують бічним стяжним гвинтом.

Простежте за характером іскрового розряду. Розряд буде правильний і стійкий, якщо диск розрядника є негативним полюсом, а вістря – позитивним. У цьому разі іскри б'ють у середину диска, а не блукають по його краях, перескакуючи з місця на місце.

Змінити полярність борнів індуктора можна повертанням ручки перемикача на  $180^\circ$ .

### 5. Перетворювач високовольтний шкільний „Розряд-1”

Перетворювач високовольтний шкільний „Розряд-1” є джерелом високої постійної напруги, призначений для використання в демонстраційних дослідах з електростатики та електродинаміки. Прилад перетворює постійну напругу від  $0$  до  $12\text{ В}$  в постійну напругу від  $0$  до  $5\text{ кВ}$  або від  $0$  до  $25\text{ кВ}$ . На верхній панелі перетворювача розміщено: клавішний вмикач живлення, дисковий і клавішний перемикачі меж вихідної напруги  $5\text{ кВ}$  і  $25\text{ кВ}$ , клеми виходу  $25\text{ кВ}$ , в які вставлені борни.



Генератор складений за схемою несиметричного мультивібратора на транзисторах з індуктивним зворотним зв'язком. Призначення генератора – перетворення постійної напруги в змінну. Змінна висока напруга з вторинної обмотки трансформатора

передається залежно від положення перемикача на двопівперіодний або однопівперіодний випрямляч, складений за схемою подвоєння напруги. Для запобігання перевантаження перетворювача, у приладі передбачено коло електронного захисту. Параметри кола захисту вибрано так, що при подачі номінальної напруги живлення транзистор і діоди виявляються закритими. При підвищенні напруги живлення (більш як  $12\text{ В}$ ) транзистор і діод відкриваються, в результаті чого, з баз транзисторів знімаються від'ємні імпульси індукованої напруги і генерація припиняється.

#### Ознайомлення з будовою й прийомами роботи приладу:

1. Ознайомитись за схемою з основними блоками приладу.
2. Приєднати до перетворювача джерело живлення, дотримуючись полярності.
3. Регулятор вихідної напруги випрямляча поставити на нуль. Вихід високої напруги ( $5\text{ кВ}$ ) приєднати до газорозрядної трубки. Увімкнувши живлення, показати, що, збільшуючи напругу живлення перетворювача, можна виявити збудження високої напруги за світінням газорозрядної трубки.
4. Встановити перемикач вихідної напруги на  $25\text{ кВ}$ .

5. Розмістити кульки борнів на відстані 5-7 мм одну від одної.
6. Включивши прилади, підібрати напругу живлення перетворювача, при якій спостерігатиметься стійкий іскровий розряд.

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

### **Вивчення будови й роботи трансформатора**

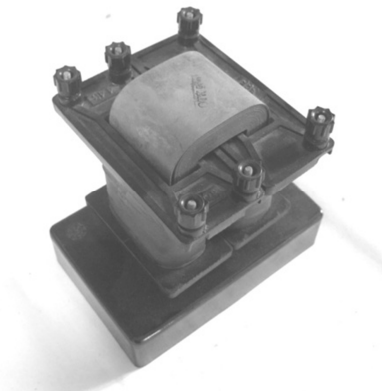
**Мета:** ознайомитись з будовою трансформатора; визначити його коефіцієнт трансформації і ККД.

**Обладнання:** трансформатор розбірний шкільний з двома котушками на 220/120 і 6/6; випрямляч селеновий В-24, що має вивід регулюючої змінної напруги 8-24 В; ампервольтметр; реостат повзунковий; вимикач; з'єднувальні провідники.

### **Теоретичні відомості**

Електричний струм не мав би такого поширення, якби його не можна було перетворювати майже без втрат енергії.

**Призначення трансформатора.** ЕРС потужних генераторів електростанцій звичайно досить велика. Тим часом практичне використання електроенергії вимагає здебільшого не дуже високих напруг.



Змінний струм можна перетворювати за допомогою *трансформаторів* так, щоб його напруга змінювалася у багато разів, практично без втрат енергії.

Уперше трансформатори використав у 1878 р. російський учений П. М. Яблочков для живлення винайдених ним «електричних свічок» — нового на той час джерела світла.

### **Будова трансформатора.**

Трансформатор складається із замкнутого сталюого осердя, зібраного з пластин, на яке надіто дві (іноді й більше) котушки з дротяними обмотками (мал. 1). Одна з обмоток, яка називається *первинною*, приєднується до джерела змінної напруги. Друга обмотка, до якої приєднують «навантаження», тобто прилади й пристрої, що споживають електроенергію, називається *вторинною*.

**Трансформатор на холостому ходу.** Дія трансформатора ґрунтується на явищі електромагнітної індукції. Під час проходження змінного струму по первинній обмотці в осерді виникає змінний магнітний потік, який збуджує ЕРС індукції в кожній обмотці. Осердя з трансформаторної сталі концентрує магнітне поле, і



магнітний потік існує практично тільки в самому осерді; він однаковий в усіх його перерізах.

Миттєве значення ЕРС індукції  $\epsilon$  в будь-якому витку первинної чи вторинної обмотки однакове. Згідно із законом Фарадея воно визначається формулою

$$e = -\Phi' \quad (1)$$

де  $-\Phi'$  -- похідна потоку магнітної індукції за часом. Якщо

$\Phi = \Phi_m \cos \omega t$ , то

$$\Phi' = -\omega \Phi_m \sin \omega t \quad (2)$$

Отже,

$$e = \omega \Phi_m \sin \omega t \quad (3)$$

Або

$$e = e_m \sin \omega t \quad (3)$$

Де  $e_m = \omega \Phi_m$  — амплітуда ЕРС в одному витку.

У первинній обмотці, що має  $N_1$  витків, повна ЕРС індукції  $e_1$  дорівнює  $N_1 e_1$ . У вторинній обмотці повна ЕРС  $e_2$  дорівнює  $N_2 e_2$ . ( $N_2$  — кількість витків цієї обмотки). Звідси випливає, що

$$|u_1| \approx |e_1| \quad (5)$$

Звичайно активний опір обмоток трансформатора малий, і ним можна знехтувати. У такому випадку модуль напруги на затискачах котушки приблизно дорівнює модулю ЕРС індукції:

Якщо коло вторинної обмотки трансформатора розімкнуте то струму в ній немає і

$$|u_2| \approx |e_2| \quad (6)$$

Оскільки миттєві значення ЕРС  $e_1$  і  $e_2$  змінюються синфазно (одночасно досягають максимуму й одночасно проходять через нуль), то їх відношення у формулі (.4) можна замінити відношенням діючих значень  $E_1$  і  $E_2$  цих ЕРС або, враховуючи рівняння (5) і (6), — відношенням діючих значень напруг  $U_1$  і  $U_2$ :

$$\frac{U_1}{U_2} \approx \frac{E_1}{E_2} = \frac{N_1}{N_2} = k \quad (7)$$

Величину  $K$  називають *коефіцієнтом трансформації*. Якщо  $k > 1$ , трансформатор знижувальний, а коли  $k < 1$  — підвищувальний.

**Робота навантаженого трансформатора.** Якщо до кінців вторинної обмотки приєднати коло, яке споживає електроенергію, або, як кажуть, навантажити трансформатор, то сила струму у вторинній обмотці не дорівнюватиме нулю. Збуджений струм у ній створює в осерді свій змінний магнітний потік, який за правилом Ленца повинен зменшити зміни магнітного потоку в осерді.

Але зменшення амплітуди коливань результуючого магнітного потоку, в свою чергу, має зменшити ЕРС індукції у первинній обмотці. Проте це неможливо, бо згідно з (.5)  $|U_1| \approx |e_1|$ . Тому під час замикання кола вторинної обмотки автоматично збільшується сила струму в первинній обмотці. Його амплітуда зростає так, щоб установилося попереднє значення амплітуди коливань результуючого магнітного потоку.

Сила струму в колі первинної обмотки збільшується відповідно до закону збереження енергії: передавання електроенергії в коло, приєднане до вторинної обмотки трансформатора, супроводжується забиранням такої самої кількості енергії від мережі в первинну обмотку. Потужність у первинному колі при навантаженні трансформатора, близькому до номінального, приблизно дорівнює потужності у вторинному колі:

$$U_1 I_1 \approx U_2 I_2 \quad (8)$$

Звідси

$$\frac{U_1}{U_2} \approx \frac{I_2}{I_1} \quad (9)$$

Це означає, що в скільки разів трансформатор підвищує напругу, у стільки ж разів він зменшує силу струму (і навпаки).

У сучасних потужних трансформаторах сумарні втрати енергії не перевищують 2—3 %. Трансформатор перетворює змінний електричний струм так, що добуток сили струму на напругу приблизно однаковий для обох обмоток.

Коефіцієнт корисної дії трансформатора:

$$ККД = \frac{P_2}{P_1},$$

де  $P_1$  — потужність що використовується первинною обмоткою, а  $P_2$  — потужність, що виділяється у вторинній обмотці.

### Порядок виконання роботи:

1. Ознайомтесь з будовою трансформатора, розберіться в з'єднанні секцій обмоток і підготуйте таблицю для запису результатів вимірювань і обчислень.

2. Розкрутіть гвинт і розберіть трансформатор. До котушки на  $120\text{ В}$  приєднайте джерело змінної напруги і амперметр. Виміряйте силу струму в колі, після цього виміряйте силу струму в тій же котушці при введеному в неї, спочатку половини осердя, а потім – при повному замиканні осердя. Порівняйте результати і поясніть зміну сили струму.

3. Зберіть трансформатор з двома котушками на  $220/120\text{ В}$  і  $6/6\text{ В}$ . Секцію на  $120\text{ В}$  однієї з котушок приєднайте через вимикач до затискачів змінної напруги. Виміряйте напругу  $U_1$  і  $U_2$  на затискачах першої і другої котушок.

4. Визначте коефіцієнт трансформації.

5. Розімкніть коло і приєднайте до затискачів вторинної котушки магазин опорів ( $10\text{ Ом}$ ) так, щоб він був повністю введений.

6. Виміряйте напругу та силу струму у первинній та вторинній обмотках.

7. Підрахуйте потужність  $P_1$ , корисну потужність  $P_2$  і ККД.

8. Дослід повторіть, зменшуючи опір навантаження на  $1\text{ Ом}$  до  $3\text{ Ом}$ . В кожному досліді вимірюйте силу струмів і напруги в первинній і вторинній обмотках і обчисліть ККД.

9. Результати вимірювань і обчислень занесіть в таблицю і за отриманими даними побудуйте графік залежності ККД трансформатора від корисної потужності.

№ п/п	Опір навант.	Первинна обмотка			Вторинна обмотка			ККД, %
		$U_1, B$	$I_1, A$	$P_1, Bm$	$U_2, B$	$I_2, A$	$P_2, Bm$	
1	10							
2	9							
3	8							
4	7							
5	6							
6	5							
7	4							

Висновки:

## Лабораторна робота № 4

### Електрозабезпечення фізичних кабінетів

**Мета:** вивчити будову, технічні дані і правила експлуатації комплектів електрозабезпечення фізичних кабінетів.

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

**Завдання II.** Ознайомитись з будовою та можливостями використання комплектів електрозабезпечення фізичних кабінетів.

#### 1. Комплект електрозабезпечення типу КЕФ-8

Цей комплект використовується для обладнання фізичних кабінетів. Забезпечує живлення споживачів напругою від 0 до 42 В постійного або змінного струму зі струмом навантаження, яке не перевищує 6,3 А і може бути використаний як для демонстрацій, так і для лабораторних робіт. До складу комплексу входять перетворювач учбовий, випрямляч, штепсельна розетка, штепсельні вилки, провідники, які служать для монтажних робіт у фізичному кабінеті. На

передній панелі приладу змонтовані ручка поступового перемикавання напруги вторинного кола від  $0$  до  $42\text{ В}$ , лампа, яка подає сигнал включення кола, вимикач мережі, затискачі змінного та постійного струму під напругою до  $42\text{ В}$ , розетки для подачі напруги на робочі столи учнів. На задній – змонтовані автоматичний запобіжник, який служить для захисту перетворювача від струмів короткого замикання та довгих перевантажень, затискачі “земля” та шнур мережі. Комплект КЕФ-8 має два виконання: розглянутий варіант перетворювач без вимірювальних приладів, у другому варіанті на передній панелі є вольтметр та амперметр.

## 2. Комплект електрозабезпечення типу КЕФ-10



Використовується для обладнання фізичних кабінетів шкіл та для забезпечення електроживленням приладів при виконанні демонстраційних дослідів, фронтальних лабораторних робіт та фізичного практикуму. Комплект складається з щита живлення (ЩПУ), випрямляча (ВУ-4) – 20 шт., штепсельної розетки на напругу  $42\text{ В}$ , монтажного дроту. На передній панелі щита живлення є автоматичний вимикач SF-1, який використовується для включення напруги у мережу, а також для захисту мережі від струмів короткого замикання; лампа, яка сигналізує про включення щита у мережу; тумблери; автоматичні вимикачі. Схеми випрямлячів і з'єднань комплектів КЕФ-8 та КЕФ-10 принципово не відрізняються.

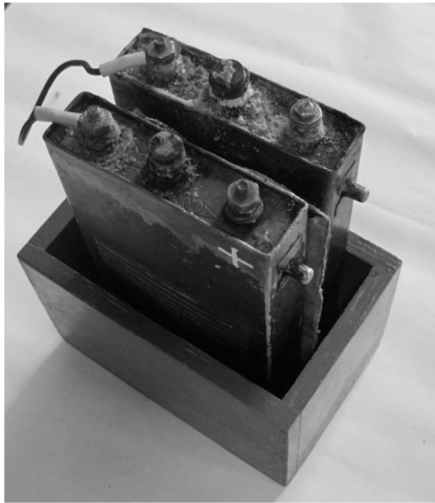
## 3. Вивчення комплектів КЕФ-8 і КЕФ-10

Ввімкніть перетворювач ПУ-42-6 комплексу КЕФ-8 до мережі. Приєднайте вольтметри на  $50\text{ В}$  до затискачів постійного та змінного струму. Спостерігайте за показами приладів при обертанні ручки перемикача напруги. Підключіть випрямляч ВУ-4 до розеток перетворювача ПУ-42-6, а до затискачів випрямляча ВУ-4 приєднайте по чергово резистори з опором  $4$  та  $1\text{ Ом}$ . Спостерігайте за показами вольтметра за змінами напруги на затискачах випрямляча при різних значеннях опорів резисторів.

Відкрийте передню панель щита ЩПУ комплексу КЕФ-10. Знайдіть запобіжники і тумблери перемикавання напруги з  $36$  на  $42\text{ В}$ . В першій лінії ввімкніть запобіжник, в другій – встановіть перемикач у положення  $36\text{ В}$ , а в третій – в положення  $42\text{ В}$ . Закрийте передню панель, ввімкніть щит до мережі і перевірте вольтметром вихідну

напругу в кожній лінії. Вимкніть щит ЩПУ з мережі. Встановіть всі перемикачі у положення 36 В.

#### 4. Лужні акумулятори



Перевірте рівень електроліту в акумуляторі ЖН-22.

Складіть коло. Встановіть нормальний розрядний струм. Виміряйте напругу на кожному акумуляторі та на батареї акумуляторів. Складіть установку для зарядки батареї акумуляторів 3-ЖН-22 від випрямляча ВС-24М. Початкова напруга повинна бути рівна 0. Ввімкніть коло, встановіть зарядний струм, використовуючи як ручку регулятора напруги, так і реостат. Вимкніть коло.

#### 5. Шкільний електророзподільний щит

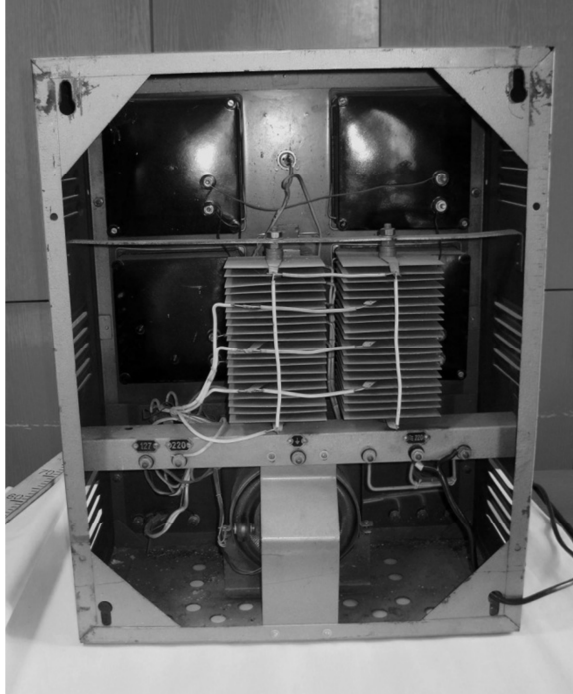


Щит електророзподільний шкільний призначений для демонстрування дослідів і зарядки акумуляторів; він дає змогу регулювати змінну і постійну (випрямлену) напруги. Електророзподільний щит змонтовано на металевому каркасі і закрито металевим корпусом.

На передній стінці корпуса розміщені електровимірювальні прилади, ручка автотрансформатора 1 з шкалою, пакетний триполюсний вимикач 2, перемикач на змінну і постійну напруги 3, сигнальна лампочка 4, виріз (закритий кришкою) для доступу до плавких запобіжників 5, затискачі для виведення трифазної напруги 6, затискачі для виведення однофазної змінної або випрямленої напруги 7, затискач від нульового провідника 8.

Всередині корпуса на каркасі закріплено автотрансформатор 9, випрямляючий місток 10, затискачі для підведення трифазної напруги 11, затискач для нульового проводу 12, затискачі з перемикаючим провідником для подачі на автотрансформатор 13 напруги 127 або 220 В. Принципову схему щита показано на мал. 2.

На вхід щита (затискачі  $XI$ ,  $X2$ ,  $X3$ ) подається трифазна напруга мережі (220 або 127 В) з нульовим проводом, яка через пакетний вимикач  $S_1$  і систему плавких запобіжників  $F1-F3$  подається на трифазний вихід щита й автотрансформатор. Останній має вихід для вмикання на 127 В. Від автотрансформатора живиться двопівперіодний

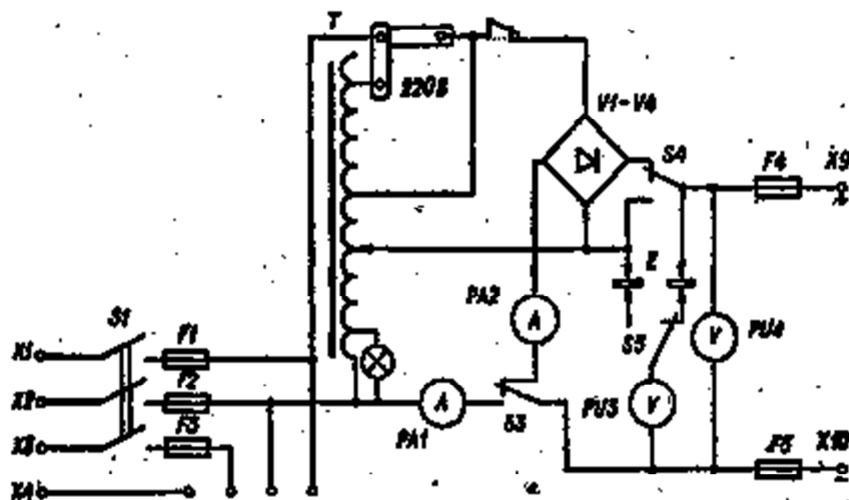


випрямляч, складений із селенових випрямляючих елементів. На випрямляч може бути подано регульовану змінну напругу в межах 0-127 В.

За допомогою пакетного перемикача ( $S_2-S_5$ ), який має два положення, здійснюється перемикання напруги на виході щита. На щиті встановлено чотири електровимірювальні прилади: амперметр  $PA_1$  для вимірювання сили змінного струму в навантаженні; амперметр  $PA_2$  для вимірювання сили постійного струму в навантаженні; два вольтметри  $PU3$  і  $PU4$  на 30 В і 250 В

для вимірювання змінної та постійної напруги на виході щита. При цьому спеціальний пристрій  $E$  від'єднує вольтметр  $PU3$  при досягненні напруги 30 В.

В умовах номінального режиму роботи (45 хв. роботи з наступною 15-хвилинною перервою) щит забезпечує одержання такої напруги і струмів:



Мал. 2

1. При напрузі в мережі  $127\text{ В}$  – регульовану змінну напругу від  $5$  до  $220\text{ В}$  із силою струму навантаження до  $5\text{ А}$ .

2. При напрузі в мережі  $220\text{ В}$  – регульовану змінну напругу від  $5$  до  $240\text{ В}$  із силою струму навантаження до  $10\text{ А}$ .

3. При напрузі в мережі  $127$  або  $220\text{ В}$  можна дістати регульовану постійну (пульсуючу) напругу від  $0$  до  $180\text{ В}$  із силою струму до  $8\text{ А}$ .

Плавкі запобіжники  $F1$ – $F3$  при напрузі в мережі  $127\text{ В}$  повинні бути на  $20\text{ А}$ , при  $220\text{ В}$  –  $10\text{ А}$ . Плавкі запобіжники  $F4$  і  $F5$ , які захищають автотрансформатор (і селенові випрямлячі) від коротких замикань, мають бути на  $10\text{ А}$ .

Істотним недоліком розподільного щита є гальванічний зв'язок між вихідним колом і мережею живлення (внаслідок використання автотрансформатора). Це означає, що вихідні клеми щита перебувають під високими потенціалами мережі. У зв'язку з цим (згідно з правилами техніки безпеки) подача напруги на учнівські лабораторні столи від розподільного щита недопустима.

### **Порядок виконання роботи:**

1. Ознайомтесь із зовнішньою будовою щита.
2. Розгляньте електровимірювальні прилади щита. Встановіть межі їх вимірювань і ціни поділок шкал.
3. Розгляньте внутрішню будову щита (простежте, щоб щит був відключений від мережі живлення). Користуючись принциповою схемою, з'ясуйте призначення клем, розміщених на щиті.
4. Одержати від щита змінну напругу. Для цього:
  - а) Ручку автотрансформатора поставте на нуль шкали змінного струму.
  - б) Ручку перемикача „навантаження” поставте в положення  $< \sim >$ .
  - в) До клем „регульована напруга” приєднайте електричну лампочку на  $220\text{ В}$ .
  - г) Подайте на щит живлення від мережі. Ручку вимикача поставте в положення «вкл.» (при цьому загоряється сигнальна лампа).
  - д) Обертаючи ручку автотрансформатора, досягніть напруги  $20$ ,  $50$ ,  $100$  і  $200\text{ В}$ .
  - е) Закінчивши роботу, поставте ручку автотрансформатора на нуль шкали, вимкніть щит.
5. Одержіть від щита постійну напругу. Для цього:
  - а) Ручку автотрансформатора поставте на нуль шкали постійного струму.
  - б) Ручку перемикача „навантаження” поставте в положення  $< = >$ ,



в) Клему приєднайте до надійного заземлення. Подайте на щит живлення від мережі. Ручку вимикача поставте в положення «вкл» (при цьому загоряється сигнальна лампа).

г) Обертаючи ручку автотрансформатора (вправо або вліво від нуля), одержіть напругу 20, 40 і 60 В.

д) Закінчивши роботу, поставте ручку автотрансформатора на нуль шкали, вимкніть щит.

## **Лабораторна робота № 5**

### **Електронний осцилограф та звуковий генератор**

**Мета:** ознайомитись у загальних рисах з будовою електронного осцилографа та звукового генератора, оволодіти прийомами роботи з цими приладами.

**Завдання I.** Повторити необхідний навчальний матеріал за шкільним та вузівським підручниками.

**Завдання II.** Ознайомитись з будовою та можливостями використання електронного осцилографа.

#### **1. Будова і дія електронно-променевої трубки**

**Мета:** вивчити будову і принцип роботи електронно-променевої трубки, оволодіти прийомами роботи з нею.

Для дослідів з електронно-променевою трубкою промисловість випускає спеціальний демонстраційний прилад "Електроника И1-01" (мал. 1).

Прилад дає змогу одержати сфокусований пучок електронів і керувати ним, продемонструвати основні властивості електронних пучків: збудження люмінофору, відхилення і фокусування його електричним і магнітним полями.

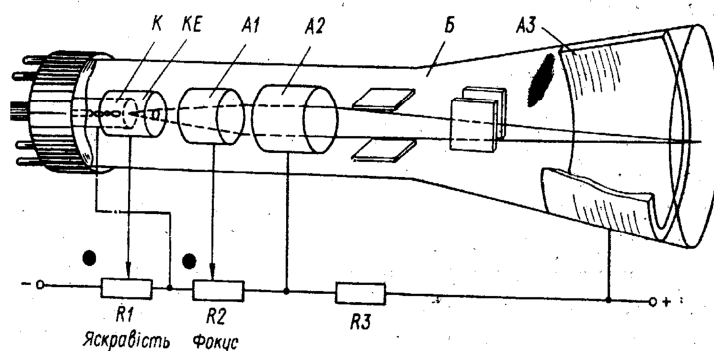
Основна частина приладу – електронно-променева трубка типу 13ЛО15И з електростатичним відхиленням і електростатичним фокусуванням. Проте трубка дає змогу показати відхилення і фокусування електронного пучка магнітним полем.

Електронно-променева трубка змонтована на дерев'яній підставці. Всередині підставки розміщено блок живлення, за допомогою якого дістаємо необхідні напруги на електродах трубки. Для розжарення підігрівника катода потрібне окреме джерело постійного або змінного струму з напругою  $6,3\text{ В}$ . На передній панелі підставки розміщено 4 клеми для кріплення відхиляючих котушок. За допомогою цих клем закріплено пружні контакти для приєднання відхиляючих пластин трубки до елементів схеми.

На бічній стороні підставки розміщено тумблер для вмикання живлення, а також ручки регулювання яскравості й фокусування. На задній панелі підставки – клеми для приєднання живлення нагрівника катода і для заземлення приладу.

Для того щоб працювати з електронно-променевими трубками, потрібно бути обізнаним з особливостями їх експлуатації.

1. Балони електронно-променевих трубок зазнають великого



*Мал. 1*

зовнішнього тиску внаслідок високого вакууму всередині них. Незначний удар по трубці може призвести до вибуху.

2. Світіння люмінофору екрана трубки пов'язане зі зміною енергетичного стану електронів в атомах люмінофору за рахунок енергії електронів, що потрапляють на екран. На збудження люмінофору витрачається приблизно  $10\%$  енергії електронів, а решта – перетворюється безпосередньо у внутрішню енергію, що проявляється в нагріванні того місця, на яке падає електронний пучок. Це слід мати на увазі під час роботи з електронно-променевими трубками. Надмірна яскравість світіння екрана може спричинити вигорання люмінофору, і трубка вийде з ладу.

3. Не слід залишати трубку в такому місці, де на її екран падає пряме сонячне світло, бо під його впливом люмінофор „старіє”, а це знижує яскравість світіння.

4. Працюючи з установками, що мають електронно-променеві трубки, не розміщуйте їх поблизу приладів, які створюють потужні

магнітні поля. Це дасть змогу запобігти спотворенням зображень на екрані трубки.

5. Для того щоб електронно-променева трубка передчасно не спрацювалась, потрібно стежити, щоб зміни напруги розжарення підігрівника катода не виходили за допустимі межі. Від надмірного розжарення руйнується активний шар катода, від недостатнього – поверхня активного шару не поповнюється новими атомами, які дифундують з товщі активного шару.

Вивчення електронно-променевої трубки починають з демонстрування її загального вигляду.

## **2. Основні властивості електронних пучків**

1. Вивчити основні властивості електронних пучків починаючи з демонстрування свічення люмінофору екрана трубки під дією потоку швидких електронів. Змінюючи яскравість і фокусування світної плями на екрані, показують різну інтенсивність свічення залежно від концентрації і потужності електронного пучка. Колір свічення екрану залежить від складу люмінофору. Щоб дістати свічення застосовують складні люмінофори.

2. Для демонстрування відхилень електронного пучка електричним полем складають установку, що складається з ВУПа, гальванометра з додатковим опором, електронно-променевої трубки. На клемах, з'єднані з горизонтально відхиляючими пластинами, подають постійну регульовану напругу від ВУПа (клема  $0 \dots \pm 100 \text{ В}$ ). Напругу вимірюють демонстраційним гальванометром (від вольтметра) з додатковим опором  $22 \text{ кОм}$ . При такому додатковому опорі на шкалі з нулем посередині ціна поділки становить  $10 \text{ В}$ .

Вмикають живлення приладів і, плавно змінюючи напругу, показують поступове зміщення світної плями вправо і вліво від центра екрана. Потім дослід повторюють, подаючи напругу на вертикально відхиляючі пластини. Звертають увагу учнів на те, що за допомогою електронно-променевої трубки можна виміряти напругу електричного струму.

3. Досліди на відхилення електронного пучка в магнітному полі починають з демонстрування дії поля постійного магніту. Для цього вмикають трубку, на екрані з'являється світна пляма. Потім з боку до трубки підносять дугоподібний магніт і спостерігають зміщення плями, користуючись правилом правої руки.

Для того щоб продемонструвати, як відхиляється електронний пучок полем електромагніту, на передній панелі підставки електронно-променевої трубки гвинтовими затискачами закріплюють відхиляючі котушки з осердям від лабораторного набору з електромагнетизму.

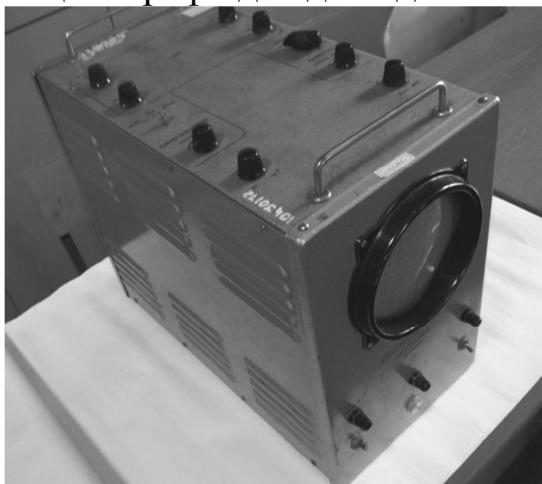
З'єднують котушки між собою так, щоб на кінцях, повернутих до трубки, утворювалися протилежні магнітні полюси. До котушок через вимикач і реостат приєднують акумулятор і спостерігають відхилення світної плями на екрані. Змінюючи силу струму в котушках, показують плавне зміщення плями. Потім змінюють напрям струму в котушках і демонструють, що пляма відхилилася вже в протилежний бік.

В осцилографах, де потрібна висока точність виміру, застосовують електростатичні трубки, а в телебаченні, де необхідна висока чіткість зображення, – трубки з магнітним керуванням.

### 3. Електронний осцилограф

**Мета:** вивчити шкільний осцилограф, оволодіти прийомами роботи з ним.

**Осцилограф** – пристрій для візуального спостереження та реєстрації функціональної залежності величин, що виражені в формі електричної напруги або струму (*мал. 2*). Найширше використовуються осцилографи для дослідження періодичних процесів.



В найпростішому випадку осцилограф складається із чотирьох блоків: блоку електронно-променевої трубки (ЕПТ), генератора розгортки (ГР), підсилювача дослідного сигналу (ПС) і блоку живлення (БЖ).

Для регулювання яскравості зображення осцилограф оснащений ручкою “яскравість”, щоб керувати потоком електронів у пучку.

Електричне поле між фокусуючим циліндром і анодом здатне фокусувати пучок електронів, що розходить. Фокусуючий електрод і анод складають електростатичну лінзу. Вимірювання різниці потенціалів між фокусуючим циліндром і анодом призводить до різного фокусування електронного пучка. Конструкцією осцилографа передбачено зміну фокусування ручкою “фокус”.

Сфокусований пучок електронів проходить між пластинками ХХ і УУ. Якщо на пластинки ХХ або УУ подано постійну напругу, то електронний пучок зміщується відповідно або по горизонталі, або по вертикалі; це фіксується як "Вправо-влево", "Вверх-вниз".

#### **4. Ознайомлення з органами керування електронного осцилографа і прийомами роботи з ним**

1. Розглядають передню і верхню панелі ОЕШ. З'ясовують призначення органів керування.

2. Розглядають задню панель ЕОШ і пристрій, в якому встановлено запобіжник. Потрібно щоб запобіжник і його положення відповідали напрузі мережі в лабораторії (при напрузі  $127\text{ В}$  запобіжник має бути на  $1,5\text{ А}$ ; при  $220\text{ В}$  – на  $1\text{ А}$ ).

3. Встановлюють ручки « $\leftrightarrow$ », « $\updownarrow$ », «яскравість», «фокус» в середнє положення. Решту ручок повертають до упору в напрямі проти годинникової стрілки.

4. Вмикають осцилоскоп у мережу. Через  $1-1,5\text{ хв}$  повертанням ручок «яскравість» і «фокус» одержують на екрані не яскраве, але чітке зображення точки. Обертаючи ручки « $\leftrightarrow$ », « $\updownarrow$ », стежать за переміщенням зображення на екрані.

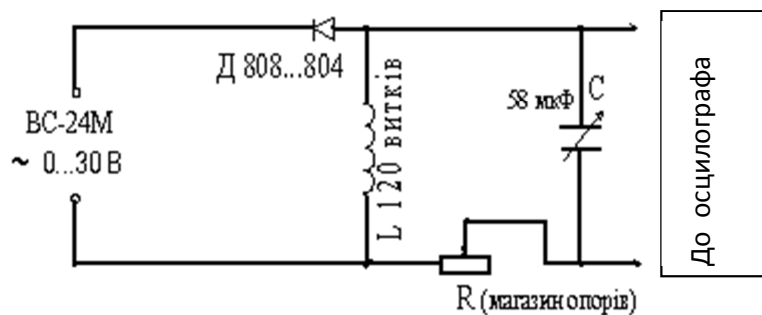
5. Перемикач генератора розгортки ставлять в положення « $30\text{ Гц}$ ». Встановлюють ручку виду синхронізації в положення «внутр.» На вертикальний вхід осцилографа подають контрольний сигнал, з'єднавши «Вхід  $Y$ » з клемою «Контрольний сигнал», розміщеною на задній стінці осцилографа. Діставши на екрані зображення, обертанням ручок спочатку «Частота плавно», а потім «Синхронізація підсилення» утворюють стійке зображення осцилограми.

#### **5. Застосування осцилографа для дослідження періодичних процесів**

Щоб одержати затухаючі коливання, потрібно зібрати коливальний контур за схемою, зображеною на мал. 3.

Під час замикання ключа діод протягом одного з півперіодів пропускати струм і конденсатор  $C$  заряджатиметься до певної напруги, а протягом другого – не пропускати струму. За цей час конденсатор буде розряджатись через котушку індуктивності  $L$  і реостат  $R$ . У контурі виникають затухаючі коливання, і на екрані осцилографа з'явиться їх осцилограма. Оскільки осцилограма затухаючих коливань утворюється за один півперіод змінного струму промислової частоти ( $t = 1/2 \cdot 5$ ,  $гц = 1/100\text{ с}$ ), то, порахувавши на осцилограмі кількість коливань  $n$ , можна знайти період затухаючих коливань  $T$ :

$$T = t / n.$$



**Мал. 3**

Знаючи період власних коливань контуру і його ємність з формули  $T = 2\pi\sqrt{LC}$ , знайти індуктивність котушки коливального контуру:

$$L = \frac{T^2}{4\pi^2 C}.$$

## 6. Шкільний звуковий генератор

Генератор звуковий шкільний (ГЗШ) – призначений для утворення синусоїдальних коливань звукової частоти від 20 до 20000 Гц при демонструванні дослідів з акустики і змінного струму (мал. 4).

Увесь діапазон частот поділено на три піддіапазони: 20-200 Гц; 200-2000 Гц; 2000-20000 Гц. Перехід з одного піддіапазону на інший здійснюється ступінчастою зміною значення  $R$ .



У межах кожного піддіапазону частоту можна змінювати плавно (зміною  $C$ ) за допомогою диска з шкалою, проградуєваною в герцах.

Вихід генератора розраховано на навантаження 5, 600 і 5000 Ом. Амплітуду вихідної синусоїдальної напруги регулюють ручкою «Підсилення» від 0 до 220 В (між клемми «Заг.» і «5000 Ом»).

Максимальна вихідна потужність ГЗШ становить 2 Вт.

Живиться ГЗШ від мережі змінного струму напругою 127 або 220 В.

## 7. Порядок ознайомлення з органами керування ГЗШ та прийомами роботи з ним

1. Розглядають передню панель ГЗШ. З'ясовують призначення органів керування.

2. Розглядають пристрій, в якому встановлено запобіжник. Стежать, щоб запобіжник і його положення відповідали напрузі мережі

в лабораторії (при напрузі  $127\text{ В}$  запобіжник має бути на  $1\text{ А}$ ; при напрузі  $220\text{ В}$  – на  $0,5\text{ А}$ ).

3. До вихідних клем («Заг.» і « $5\text{ Ом}$ ») приєднують динамічний гучномовець (без вихідного трансформатора).

4. Вмикають ГЗШ в мережу. Показують можливість плавно і стрибкоподібно змінювати частоту коливань.

5. Стежать, як зміниться гучність звучання динаміка, якщо його перемкнути на клема «Заг.» і « $600\text{ Ом}$ ». Пояснюють причину зміни гучності.

## **8. Виконання дослідів з використанням ОЕШ та ГЗШ**

1. Приєднують вихід « $5\text{ Ом}$ » звукового генератора до «Входу Y» осцилографа. Ручку діапазонів розгортки ставлять в положення « $150$ », а ручку синхронізації – в положення «внутр.». Встановлюють на ГЗШ частоту  $800\text{ Гц}$ , а ручку підсилення – в середнє положення.

Вмикають прилади і через  $1-1,5\text{ хв}$  обертанням відповідних ручок утворюють чітке нерухоме зображення синусоїди.

2. Не змінюючи частоти розгортки, утворюють на екрані зображення із збільшеним у 2 рази числом періодів синусоїди.

3. Не змінюючи частоти ГЗШ, утворюють на екрані зображення із зменшеним у 4 рази числом періодів синусоїди.

4. Перевіряють правильність градування шкали ГЗШ. Для цього ставлять ручку діапазонів розгортки осцилографа в положення « $30\text{ Гц}$ », а ручку синхронізації – у положення «від мережі».

Перемикач піддіапазонів частоти ГЗШ ставлять в перше положення. Увімкнувши живлення приладів і одержавши на екрані зображення, встановлюють по чергову ручку частоти ГЗШ в положення « $50\text{ Гц}$ », « $100\text{ Гц}$ », « $150\text{ Гц}$ » і « $200\text{ Гц}$ ». При цьому на екрані повинно утворитись послідовно зображення одного, двох, трьох і чотирьох періодів синусоїди.

5. Приєднують до «Вхід 2» осцилографа електронний комутатор. На перший вхід комутатора подають напругу (кілька вольтів) від знижувального трансформатора, а на другий – від виходу « $5\text{ Ом}$ » звукового генератора.

Увімкнувши живлення приладів, дістають на екрані зображення двох осцилограм.

## Лабораторна робота №8

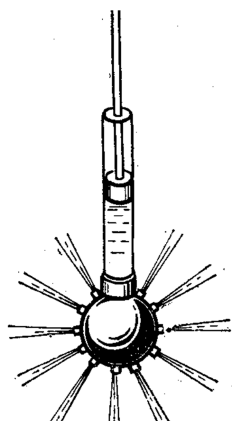
### Тиск твердих тіл, рідин і газів

**Мета:** оволодіти методикою і технікою постановки демонстрацій з теми “Тиск твердих тіл, рідин і газів”. Виконати шкільні лабораторні роботи, передбачені програмою.

**Завдання I.** Повторити навчальний матеріал теми “Тиск твердих тіл, рідин і газів” за шкільними та вузівськими підручниками.

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

#### 1. Передавання тиску рідинами і газами



Мал. 1

**Мета:** показати, що тиск рідин і газів передається у всі сторони однаково.

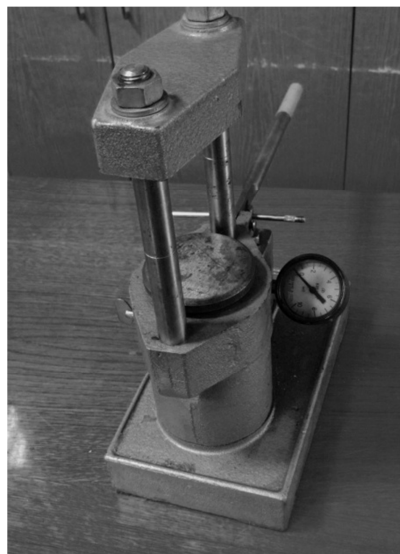
**Обладнання:** куля Паскаля, склянка із забарвленою водою, велике деко або акваріум.

Від приладу відгвинчують кулю і в циліндр наливають води (мал. 1). Закручують кулю. Повільно натискають на поршень. Оскільки молекули рідини рухомі, то тиск поршня передається однаково в усіх напрямках. Струмені рідини з вузьких отворів у кулі розбризкуються майже на однакові відстані.

Дослід буде ефективнішим, якщо воду забарвити (наприклад, флюоресцеїном) і струмені на фоні чорного екрана освітлювати збоку.

#### 2. Гідравлічний прес

**Мета:** вивчити будову і принцип роботи гідравлічного преса.



**Обладнання:** модель гідравлічного преса, гідравлічний (демонстраційний) прес з набором пристроїв для згинання зразків, дерев'яний брусок, сталевий стержень діаметром 4-6 мм, довжиною 7 см. склянка з водою.

Насамперед демонструють модель гідравлічного преса. Вужчу трубку з поршнем опускають у посудину з водою, піднімають поршень. Донний клапан закривається. У циліндр надходить рідина. Опускають поршень. Він тисне на рідину. Донний клапан при цьому закривається, тиск передається на проміжний клапан, який відкривається. Рідина надходить у широку трубку й піднімає поршень.



Після цього називають і показують основні частини гідравлічного преса: великий циліндр з поршнем і малий циліндр з нагнітальним плунжерним насосом, закріплені на платформі, та бак для масла. Циліндри сполучені між собою спеціальною колонкою з манометром і запобіжним клапаном.

Проводять дослід так. Пристрої для згинання (дві опорні чавунні плити з виступами) ставлять на плиту преса (мал. 2), закладають сталевий стержень або дерев'яний брусок. Проводять у дію рукоятку малого поршня і деформують зразок.

### 3. Тиск рідин на дно і стінки посудини

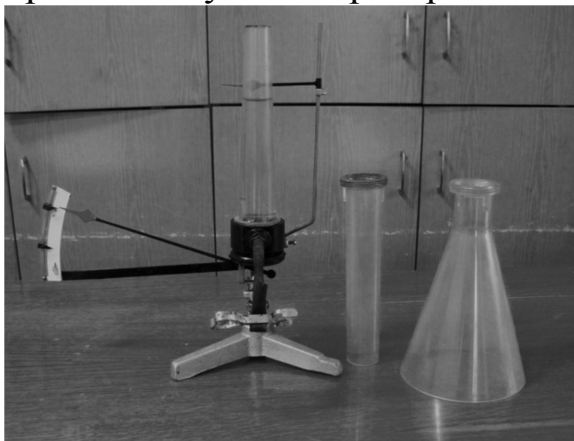
**Мета:** показати, від чого залежить тиск на дно і стінки посудини.

*а) Незалежність тиску рідини на дно посудини від її форми (гідростатичний парадокс)*

**Обладнання:** прилад Паскаля, вода, насичений розчин солі.

Прилад Паскаля (мал. 3) складається з підставки, на якій закріплено муфту з внутрішньою різьбою, в яку при виконанні дослідів встановлюють посудини різної форми. Дном установки є гумова плівка товщиною 0,3-0,35 мм, яку кріплять до муфти за допомогою гайки. Під час виконання дослідів під гумову плівку вміщують кружечок на підставці, яка ставиться на стрілку-важіль.

Налийте воду в циліндр приладу і відрегулюйте стрілку так, щоб при повному циліндрі стрілка не виходила за межі шкали.



При демонструванні на уроках гідростатичного парадокса досить ефективною може бути така методика роботи. Перед проведенням експерименту ставимо на столі перед учнями всі три посудини і циліндр приладу. Пропонуємо учням нарисувати в зошитах зображення всіх чотирьох посудин і вказати, в якій з них буде найбільший тиск на

дно. Учні відповідають, що найбільший тиск буде в посудині, яка розширена зверху, оскільки в цю посудину можна налити найбільшу кількість рідини. Найменший тиск, буде в посудині, яка звужується вгору. Погоджуючись з висновками учнів, запропонуйте перевірити запропоновану гіпотезу. Тепер можна приступити до виконання дослідів, які сприймаються учнями зі значним інтересом.

Налийте воду в циліндр до певної висоти, щоб стрілка відхилилась на досить значний кут. Відмітьте покази стрілки і рівня води в циліндрі.

Тепер злийте воду з приладу і встановіть у нього посудину іншої форми. Налийте в посудину води до тієї самої висоти, що і в попередньому випадку, відмітьте покази стрілки. Проробіть дослід з усіма посудинами і запропонуйте учням самостійно зробити відповідні висновки.

#### ***б) Залежність тиску на дно посудини від густини рідини***

Скориставшись попередньою установкою з циліндричною посудиною, покажіть, що тиск на дно посудини визначається не тільки висотою стовпа рідини, а й густиною. Для цього скористайтесь водним розчином кухонної солі. Звичайно, при демонструванні дослідів на уроках можна скористатись й іншими рідинами (гасом, олією тощо).

### **4. Сполучені посудини**

Дві трубки з'єднують гумовим шлангом і закріплюють у вертикальному положенні в штативах. Одну з них заповнюють підфарбованою водою. Після того, як крани відкривають, вода з однієї трубки почне переливатись до тих пір, поки рівень рідини в обох трубках не стане рівний.



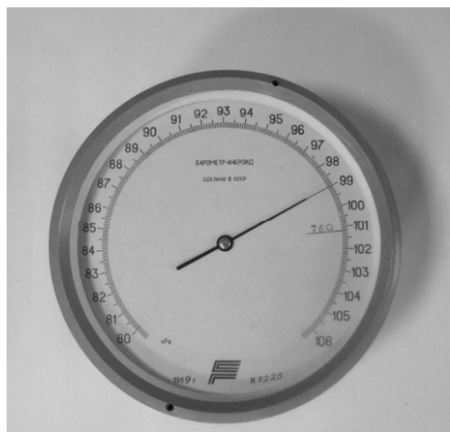
Після того як одну з трубок виймають із штатива і переміщують вгору і вниз, змінюють кут нахилу і звертають увагу учнів на те, що в усіх випадках рідина залишається на одному рівні.

Дослід повторюють із неоднорідною рідиною. Одну із трубок заповнюють підфарбованою рідиною до половини висоти трубки. В іншу трубку наливають підфарбований бензин до такого ж рівня.

Після того як крани будуть відкриті, рівень води знизиться, а рівень бензину збільшиться. Роблять висновок про справедливість закону сполучених посудин тільки для однорідної рідини.

### **5. Вимірювання тиску**

#### ***а) Будова і принцип роботи барометра-анероїда***



**Обладнання:** Барометр-анероїд шкільний (або МД-19) діючий і розібраний, тарілка з ковпаком від вакуумного насоса, насос Комовського, трубка гумова, таблиця “Барометр-анероїд”, епідіаскоп.

Показують учням спочатку діючий, а потім розбірний барометр-анероїд. Барометр призначений для вимірювання зовнішнього

атмосферного тиску. Окремі частини барометра проектують на екран. Використовують таблицю “Барометр-анероїд”, пояснюють будову і дію приладу.



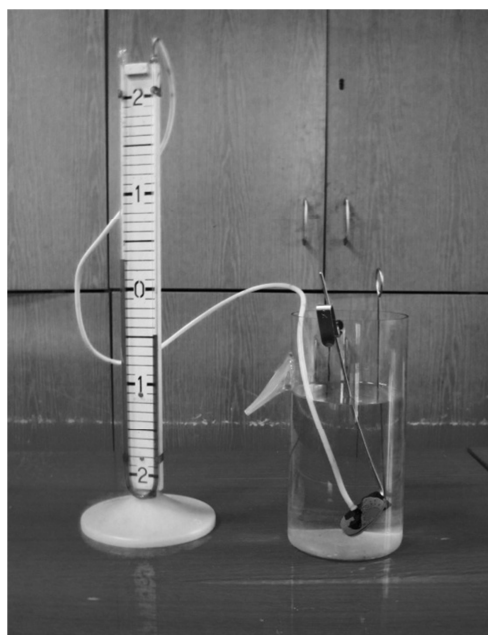
Прилад має одну або дві анероїдні вакуумні коробки, які реагують на зміну зовнішнього тиску. Повітря з коробок викачане, щоб прилад не реагував на зміну температури. Для еластичності коробки мають кільцеві концентричні гофри. Коли атмосферний тиск збільшується, коробка стискується, і навпаки. Зміщення коробок через систему важелів і ланцюжок передається на вісь стрілки, яка повертається на певний кут. Прилад має дві шкали. Нижня шкала проградуєвана в міліметрах ртутного стовпа (найменша поділка відповідає  $1 \text{ мм рт. ст.}$ ), верхня – у мілібарах.

Нагадують учням, що барометр-анероїд періодично градуують за ртутним барометром, повертаючи стрілку гвинтом, який знаходиться на зворотному боці анероїда.

Доводять, що барометр реагує на зміну тиску. Для цього його встановлюють на тарілці під ковпаком і спочатку викачують з-під ковпака повітря, а потім нагнітають. Стрілка барометра показує зниження, а потім підвищення тиску.

### **б) Вимірювання тиску рідинними манометрами**

**Обладнання:** манометри відкриті (демонстраційні), наповнені водою, бутель з двома шийками, які закриті пробками, крізь які пропущені скляні трубки, гумові трубки, насос ручний або Комовського, скляний трійник, вакуумна тарілка з ковпаком, затискачі – 2 шт., деко.



Відкриті демонстраційні  $U$ -подібні рідинні манометри використовують для вимірювання порівняно малих різниць тиску (до  $400 \text{ мм}$  водяного стовпа).

Принцип дії їх демонструють так. Бутель з двома шийками сполучають гумовою трубкою з манометром і насосом. Викачують повітря з бутля або нагрівають його. Покази манометра записуються.

Різниця рівнів рідини в колінах манометра залежить від густини манометричної рідини. Демонструють це так. Бутель через скляний трійник сполучають

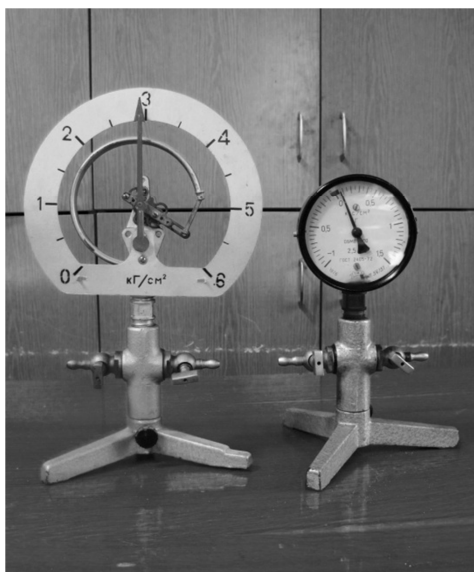
гумовою трубкою з водяним манометром і насосом. Нагрівають або відкачують повітря. Обидва манометри показують однакову різницю тисків, а різниця в рівнях їх рідин різна. Учні самі роблять висновок, що ртутним манометром можна вимірювати більшу різницю тисків, ніж водяним.

Порівняно значні розрідження газу вимірюють ртутним закритим манометром. Ліве коліно манометра запаяне і повністю заповнене ртуттю, яка не виливається під дією атмосферного тиску. Подібний манометр закріплюють біля тарілки до насоса Комовського.

Гумовою трубкою сполучають насос і тарілку з ковпаком і викачують повітря з-під ковпака. Ртуть у лівому коліні опускається, а в правому – піднімається. Різниця рівнів ртуті у відкритому і закритому колінах показує величину тиску під ковпаком.

Демонструють дію закритого манометра. Для цього бутель з двома шийками сполучають з насосом і манометром. Через незначний час від початку викачування повітря рівні ртуті в колінах манометра змінюються; це дає можливість визначити зменшення тиску в посудині порівняно з атмосферним.

#### ***в) Вимірювання тиску газу металевим манометром***



*Обладнання:* модель металевого манометра, манометр демонстраційний металевий типу МТ-150, різні технічні манометри, насос ручний.

У техніці використовують металеві манометри на тиск  $2,02 \cdot 10^6$  Па і більше. Щоб учні зрозуміли їх будову і дію, спочатку демонструють модель металевого манометра.

Основною частиною моделі є закрита гнучка латунна трубка еліптичного перерізу з отвором посередині, зігнута в кільце. Нагнітають повітря в отвір. Трубка випрямляється. Стрілка приладу показує збільшення тиску.

Показують учням демонстраційний манометр, яким можна вимірювати тиск від  $0,5 \cdot 10^5$  до  $6,06 \cdot 10^6$  Па. Прилад являє собою технічний манометр діаметром 150 мм (МТ-150), з якого знято корпус, шкалу замінено більшою шкалою і встановлено довшу стрілку. Основна частина приладу – зігнута по колу і закрита з одного кінця металева трубка еліптичного перерізу.

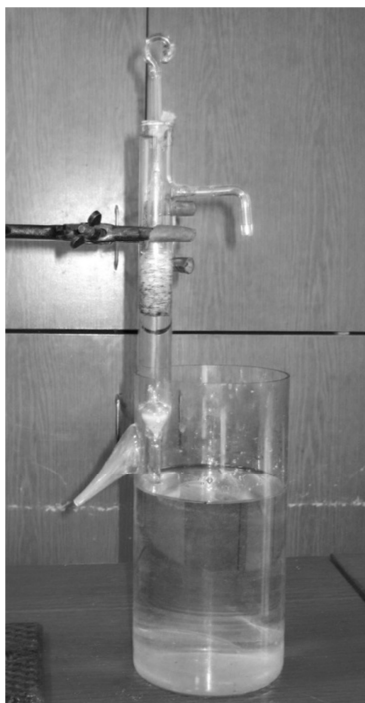
Дію манометра демонструють так. Легенько натискають пальцем на кінець трубки вгору, а потім униз. Стрілка переміщується спочатку вгору, а потім униз.

Закріплюють один кран манометра, а другий з'єднують спочатку з нагнітальним, а потім з розріджувальним ніпелем ручного насоса. Стрілка манометра показує спочатку збільшення, а потім зменшення тиску.

## 6. Насоси

**Мета:** вивчити будову і принцип роботи всмоктувального і нагнітального насосів для рідин.

**Обладнання:** скляні моделі всмоктувального і нагнітального насосів для рідин, посудина з водою, склянка місткістю 0,5 л, штатив, екран білий, прилади для підсвічування.



Модель всмоктувального насоса складається із скляного циліндра, поршня і клапанів. Один клапан розміщений нижче від поршня, другий – в отворі поршня. У верхній частині є відкрита трубка.

Піднімають поршень. Нижній клапан відкриває отвір, рідина надходить у циліндр. Опускають поршень. Нижній клапан закриває отвір у циліндрі, а верхній – відкриває отвір у поршні. Рідина надходить у верхню частину циліндра. Піднімають поршень (його клапан тепер закритий). Рідина виливається через відвідну трубку.

У нагнітальному насосі один клапан розміщений у дні циліндра, другий (випускний) – у бічній трубці. Піднімають поршень. Нижній (донний) клапан відкриває отвір, і рідина надходить у циліндр. У цей час закривається верхній отвір. Опускають поршень, донний клапан закриває нижній отвір. Випускний клапан відкривається. Рідина виливається через відповідну трубку під тиском, що передається від поршня.

## 7. Сила Архімеда для рідин і газів

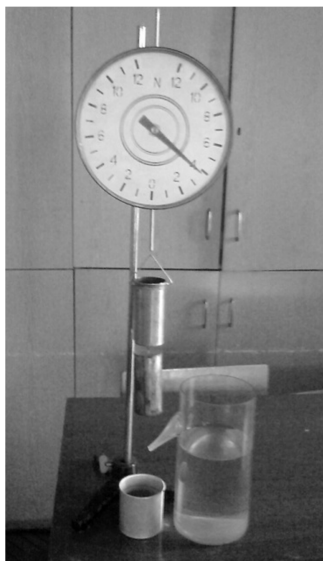
**Мета:** продемонструвати дію виштовхувальної сили в рідинах

**Обладнання:** відерце Архімеда, штативи – 2 шт, циліндр скляний з водою, підставка, посудина з водою, піпетка, мензурка місткістю 250-500 мл, динамометри демонстраційні круглі – 2 шт, відливна посудина.

Доводять, що об'єм циліндра дорівнює місткості відерця.

I. Динамометр закріплюють на штативі й підвішують до його гачка відерце, до якого прив'язаний циліндр. Положення диска динамометра відмічають на пластинці пересувним металевим покажчиком. Діють на відерце і циліндр рукою вниз вгору. Пружина скорочується. Зовнішня сила напрямлена вертикально вгору.

Знімають прилад і тримають однією рукою. Другою рукою ставлять на підставку штатива посудину з водою. Опускають циліндр у воду. Пружина динамометра скорочується. Покажчик піднімається вгору. Учні роблять висновок: вага тіла в рідині менша, ніж у повітрі,



виштовхувальна сила спрямована вертикально вгору.

Визначають величину виштовхувальної сили. Наливають у відерце вщерть води (останні краплини добавляють піпеткою). Пружина розтягується, і диск знову займає початкове положення. Це означає, що вага води у відерці дорівнює виштовхувальній силі.

II. Використовують демонстраційний динамометр з круглим циферблатом і відерце Архімеда. До гачка осі динамометра підвішують відерце і циліндр. Стрілка динамометра фіксує вагу циліндра і відерця (проти кінця стрілки на склі наклеюють смужку вологого паперу або повертають циферблат так, щоб стрілка була на нульовій поділці шкали). Дослід проводять так само, як і попередній.

## 8. Плавання тіл на поверхні і всередині рідини

**Мета:** з'ясувати умови плавання тіл.

**Обладнання:** куряче яйце, сира картоплина, циліндр скляний місткістю 3-5 л з водою, пляшка або невеликий бутель із забарвленою водою, циліндр скляний місткістю до 2 л,



циліндр скляний місткістю 3-5 л з розчином кухонної солі, лійка з довгою трубкою, сифон, штатив – 2 шт., динамометр пружинний з приставною шкалою, динамометр Бакушинського, стакан місткістю 500 мл., скляна пробірка, нитка, пробка коркова, пісок, ареометр на густину  $1,0 - 1,2 \frac{\text{г}}{\text{см}^3}$ .

На демонстраційний стіл ставлять два скляні циліндри – з водою і водним розчином солі. Опускають у воду картоплину і сире

яйце. Вони тонуть. Ці самі тіла у водному розчині солі плавають.

В один циліндр наливають половину води, а потім за допомогою лійки з довгою трубкою обережно наливають на дно насиченого водного розчину солі, поки посудина не наповниться майже повністю. Картоплина і куряче яйце плавають біля межі поділу води і розчину солі.

Пляшку або невеликий бутель частково наповнюють забарвленою водою, підвішують до динамометра, зважують і опускають у скляний циліндр з водою. Зменшують або збільшують кількість забарвленої води. Звертають увагу на те, що пляшка з водою тоне, плаває всередині або на поверхні рідини. Щоразу відмічають покази динамометра. Вони будуть різні.

## 10. Ареометри

**Мета:** вивчити будову і принцип роботи ареометрів.

**Обладнання:** ареометри рідинні – 2 шт., циліндри скляні на 500-1000 мл – 3 шт., гас – 500-1000 мл, розчин кухонної солі.

Дослід починають з демонстрації ареометрів, пояснення їх будови та принципу дії. Ареометр являє собою скляну трубку деяким з розширенням, на дні якої знаходяться свинцеві дробинки. Загальна вага трубки з дробинками та форма приладу підібрані так, щоб прилад стійко плавав в рідині.

Так як вага трубки з вантажем стала, то глибина занурення ареометра в рідині буде залежати від її густини, тобто від виштовхувальної сили, яка зрівноважується з силою тяжіння. Верхня частина трубки ареометра, на якій нанесена шкала густин, робиться циліндричною. Завдяки цьому залежність між густинами рідин і глибиною занурення ареометра носить лінійний характер, і шкала приладу буде рівномірною. Чим більша густина рідини, тим більша частина приладу виступає над поверхнею рідини.

Занурюючи у воду аерометр з меншою густиною і показують, як треба обчислювати густину рідини за шкалою (прилад покаже  $1,00 \text{ г/см}^3$ ). Потім його занурюють, наприклад, в гас і повторюють відлік (покази будуть  $0,81 \text{ г/см}^3$ ).

Після цього занурюють у воду другий ареометр і звертають увагу учнів, що він занурився дуже низько, а його покази  $1,00 \text{ г/см}^3$ . Якщо ж перенести прилад в циліндр з розчином кухонної солі, то ареометр зануриться менше і покаже, наприклад,  $1,15 \text{ г/см}^3$ .

Нарешті в воду занурюють обидва ареометри і учням стає зрозуміло, що один з ареометрів стає нібито продовженням іншого. Очевидно, може бути виготовлений один ареометр, який вимірював би

густину як з більшою, так і з меншою густиною. Але тоді він був би занадто великим.

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

### **1. Визначення виштовхувальної сили, яка діє на занурене в рідину тіло**

**Мета:** виявити на досліді виштовхувальну дію рідини на занурене в неї тіло і визначити виштовхувальну силу.

**Обладнання:** динамометр, штатив з муфтою і лапкою, два тіла різного об'єму, склянки з водою і насиченим розчином солі у воді.

#### **Теоретичні відомості**

Сила, яка виштовхує повністю занурене в рідину тіло, дорівнює вазі рідини в об'ємі цього тіла.

Сила, яка виштовхує тіло з газу, також дорівнює вазі газу, взятого в об'ємі тіла.

Силу, яка виштовхує тіло з рідини або газу, називають *архімедовою силою* на честь давньогрецького вченого Архімеда, який уперше вказав на існування цієї сили і обчислив її значення.

Отже, дослід підтвердив, що архімедова сила дорівнює вазі рідини в об'ємі тіла, тобто  $F_A = P_p = g m_p$ .

Масу рідини  $m_p$ , яку витісняє тіло можна виразити через її густину ( $\rho$ ) і об'єм тіла ( $V_T$ ), зануреного в рідину, тобто  $m_p = \rho V_T$ .

Тоді дістанемо:  $F_A = g \rho V_T$ .

Отже, архімедова сила залежить від густини рідини, в яку занурено тіло, і від об'єму цього тіла. Але вона не залежить від густини речовини тіла, яке занурюють у рідину.

#### **Порядок виконання роботи:**

1. Закріпіть динамометр на штативі й підвісьте до нього на нитці тіло. Позначте і запишіть у таблицю показ динамометра. Це буде вага тіла в повітрі.

2. Підставте склянку з водою й опускайте муфту з лапкою та динамометром, поки все тіло не опиниться під водою. Позначте і запишіть у таблицю показ динамометра. Це буде вага тіла у воді.

3. За отриманими даними обчисліть виштовхувальну силу, що діє на тіло.

4. Замість чистої води візьміть насичений розчин солі і знову визначте виштовхувальну силу, яка діє на те саме тіло.



5. Підвісьте до динамометра тіло іншого об'єму і визначте вказаним способом виштовхувальну силу, що діє на нього у воді.

6. Результати запишіть у таблицю.

Рідина	Покази динамометра в повітрі $P, H$		Покази динамометра в рідині $P_l, H$		Виштовхувальна сила $F = P - P_l, H$	
	$P_{V1}$	$P_{V2}$	$P_{lV1}$	$P_{lV2}$	$F_{V1}$	$F_{V2}$
Вода Насичений розчин солі у воді						

7. На основі виконаних дослідів зробіть висновки.

## 2. З'ясування умов плавання тіла в рідині

**Мета:** на досліді з'ясувати умови, при яких тіло плаває і за яких тоне.

**Обладнання:** терези, гирі, вимірювальний циліндр, пробірка-поплавець із пробкою, дротяний гачок, сухий пісок, фільтрувальний папір або суха ганчірка.

### Порядок виконання роботи:

1. Повторити тему: Плавання тіл.
2. Насипте в пробірку стільки піску, щоб вона, закрита корком, плавала в мензурці з водою у вертикальному положенні й частина її знаходилася над поверхнею води.
3. Визначте виштовхувальну силу, що діє на пробірку. Вона дорівнює вазі води, витісненої пробіркою. Щоб знайти цю вагу, визначте спочатку об'єм витісненої води. Для цього позначте рівні води в мензурці до і після занурення пробірки у воду. Знаючи об'єм витісненої води й густину, обчисліть її вагу.
4. Вийміть пробірку з води, протріть її фільтрувальним папером або ганчіркою. Визначте на терезах масу пробірки з точністю до  $1\text{ г}$  і обчисліть силу тяжіння, яка діє на неї, вона дорівнює вазі пробірки з піском у повітрі.
5. Насипте в пробірку ще трохи піску. Знову визначте виштовхувальну силу та силу тяжіння. Проробіть це декілька разів, поки закрита корком пробірка не потоне.
6. Результати вимірювань і обчислень запишіть у таблицю. Зазначте, коли пробірка плаває і коли тоне.

№ дослід	Виштовхувальна сила, що діє на пробірку, $H$ $F = \rho_p g V$	Вага пробірки з піском, $H$ $P = mg$	Поведінка пробірки у воді (плаває пробірка чи тоне)
1			
2			
3			

7. Зробити висновок про умову плавання тіл у рідині.

## Лабораторна робота № 9

### Вимірювачі й датчики часу

**Мета:** навчитися використовувати у навчальному експерименті вимірювачі й датчики часу. Оволодіти методикою і технікою проведення дослідів при формуванні уявлень про відносність механічного руху.

**Завдання I.** Повторити необхідний навчальний матеріал за шкільними та вузівськими підручниками.

**Завдання II.** Вивчити будову й дію приладів для вимірювання часу та набути практичних умінь і навичок у використанні таких вимірювачів і датчиків часу:

#### 1. Електромеханічний демонстраційний секундомір

Ознайомтеся з електромеханічним секундоміром-датчиком часу.

1. Огляньте зовнішній вид приладу. Знайдіть тумблер включення, тумблер переключення режимів роботи, кнопки старту й установки нуля.

2. Включіть прилад у мережу й здійсніть ручний пуск секундоміра. Поверніть стрілку на нуль.

3. Вивчіть електричне коло секундоміра за схемою.

4. Підключіть до клем «вхід» ключ. Включіть секундомір замиканням ключа. Поверніть стрілку на нуль.

5. Виміряйте вольтметром напругу на клеммах «вихід» секундоміра. Яка напруга на цих клеммах при роботі секундоміра?

6. Здійсніть включення приладу в режимі датчика часу, задавши інтервал часу (0,5 с).

Покажіть, що переміщення, яке здійснює тіло при рівноприскореному русі, пропорційні квадрату часу (при  $V_0=0$ ).

1. Надайте жолобові деякий нахил, забезпечивши рівноприскорене скочування кульки. Підберіть оптимальну частоту ударів метронома,

запустіть його. В такт з ударами метронома голосно скажіть: «нуль», «нуль», «нуль»,... Одночасно із одним з ударів метронома пустіть кульку вздовж жолоба і, продовжуючи рахунок ударів метронома: один, два, три,... Виміряйте час руху кульки до металевого циліндра, покладеного в кінці жолоба (змінюючи положення циліндра або нахил жолоба, потрібно добитися одночасності ударів кульки в циліндр із одним з ударів метронома). На основі вимірювання переміщення й часу визначте прискорення руху кульки й розрахуйте теоретично переміщення, що здійснює він за один, два, три, удари метронома.

Покажіть, що дослід підтверджує залежність  $S \sim t^2$ .

С цією метою покладіть стальний циліндр у розраховані місця траєкторії й покажіть одночасність ударів кульки в нього із ударом метронома (пуск кульки здійснюється завжди з одного й того ж місця жолоба одночасно з одним із ударів метронома на рахунок «нуль»).

## 2. Лічильник-секундомір, електронний шкільний

Ознайомтесь з електронним секундоміром.

1. Огляньте зовнішній вид приладу. Знайдіть тумблер включення, кнопки «пуск» й «сброс», перемикач режимів роботи.

2. Підготуйте секундомір до роботи для відліку часу. Включіть прилад в мережу, поставте перемикач в режим секундоміра і переведіть тумблер у положення «вкл». Через 1-2 хв натисніть кнопку «сброс». В декатронах біля цифри «0» повинен виникнути розряд.

3. Здійсніть ручний запуск секундоміра і через деякий час скиньте покази.

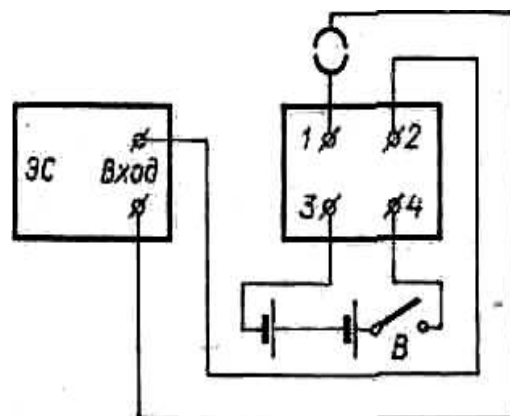
4. Здійсніть запуск секундоміра замиканням клем «вхід». Скиньте покази.

### Визначення миттєвої швидкості

За допомогою лічильника-секундоміра та машини Атвуда визначити миттєву швидкість тіла.

Визначення миттєвої швидкості тіла в даній точці траєкторії ґрунтується на вимірюванні швидкості того рівномірного руху, із яким рухається тіло, якщо в даній точці траєкторії на нього перестає діяти сила.

1. До машини Атвуда додається кільце з двома клемми й сполученими з ними контакти у вигляді двох півкілець. Закріпіть це кільце на стояку машини Атвуда й уключіть його контакти в ділянку кола, що йде від електронного секундоміра до машини Атвуда (мал. 1).



Вантаж машини Атвуда зрівноважте й компенсуйте силу тертя.

На правий вантаж покладіть перевантаження, після чого ключ  $B$  розімкніть. При падінні перевантаження затримується кільцем й замикає собою електричні контакти. В цей момент секундомір умикається, а вантаж продовжує рухатись рівномірно. При ударі вантажу об столик секундомір вимикається.

Виміряйте декілька раз час рівномірного руху. Обчисліть його швидкість. Зробіть висновок про миттєву швидкість вантажу в момент проходження кільця. Для успіху досліду слідкуйте за тим, щоб столик на початку досліду був піднятий.

2. Продумайте й зробіть виміри миттєвої швидкості скочування кульки в будь-якій точці жолоба. Для вимірювання часу руху використовуйте метроном, електронний (або електромеханічний) секундомір із приставками.

Дайте порівняльну методичну оцінку цих двох варіантів досліду.

### **Визначення прискорення вільного падіння**

*Обладнання:* секундомір на декатронах, джерело струму, штатив із подовженим стояком, чотири муфти, демонстраційний метр, з'єднувальні провідники.

#### **Порядок виконання роботи:**

1. Для визначення прискорення вільного падіння за допомогою секундоміра на декатронах складають установку. Два стержні універсального штатива з'єднують і встановлюють видовжений стержень вертикально. За допомогою муфт закріплюють на ньому вгорі пристрій з електромагнітом, а внизу – пристрій “НЗ” з відкинутою горизонтальною поличкою, розміщуючи його так, щоб підвішена до електромагніта стальна кулька, що падає вертикально вниз, попадала на поличку. До верхніх клем пристрою з електромагнітом приєднують батарею акумуляторів. Нижні клем цього пристрою, клем пристрою “НЗ” і вхідні клем секундоміра з'єднують послідовно. Біля пристроїв встановлюють у вертикальному положенні демонстраційний метр. Пристрої розміщують так, щоб нижня точка підвішеної до електромагніта кульки була проти верхнього краю метра, а поличка пристрою “НЗ” – на потрібній відстані від неї. Перемикач роду роботи секундоміра ставлять у положення “Секунди”. Умикають у мережу і натискають кнопку “Пуск”. Пристрій “НЗ” опускають так, щоб відстань між його поличкою і нижньою точкою кульки становила 80 см. Ручку тумблера пристрою із електромагнітом перемикають у нижнє положення і підвішують кульку до його осердя. Переводять ручку тумблера в положення “Пуск”. При цьому одночасно починає падати



кулька і працювати секундомір. Кулька, що падає, досягнувши полицки, ударяє в неї, і секундомір зупиняється. Дослід проводять 2-3 рази і знаходять середнє значення часу падіння кульки.

2. Кожного разу, зменшуючи відстань між полицкою і нижньою точкою кульки на 10 см, проробити аналогічні виміри і записати в табл..

№	$H, м$	$T, с$	$T^2, с^2$
1	1		
2	0,9		
3	0,8		
4	0,7		
5	0,6		
6	0,5		
7	0,4		

3. Побудувати графік  $t^2 = f(h)$ .

4. З графіка за формулою  $g = 2h/t^2$  визначити прискорення вільного падіння.

Висновки:

## Лабораторна робота № 10

### Основи кінематики

**Мета:** оволодіти методикою й технікою фізичного експерименту з теми “Основи кінематики”.

**Завдання I.** Повторити за шкільними й вузівськими підручниками матеріал, що стосується основ кінематики.

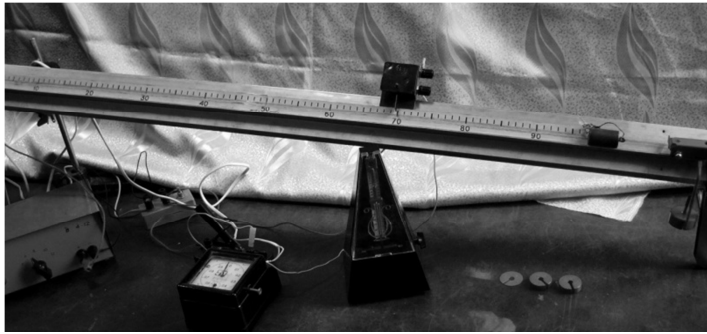
**Завдання II.** Набути умінь і навичок у виконанні таких демонстрацій:

#### 1. Рівномірний і нерівномірний рух

**Обладнання:** саморухомий візок, платформа без коліс, метроном, брусок.

Для проведення цього досліду візок налагодити так, щоб він рухався прямолінійно і мав найменшу швидкість. Потім його розташовують вздовж переднього краю демонстраційного столу і ставлять на стіл метроном, налагоджують на частоту 60 ударів за хвилину.

Пускають метроном і з одним із його ударів умикають двигун. Слідом за візком в такт із кожним ударом метронома на вертикальній



стороні стола наносять крейдою штрихи навпроти задньої стінки кузова.

В кінці стола візок зупиняють і звертають увагу учнів на відстані між сусідніми штрихами. Вони скрізь виявилися рівними.

Вимірявши відстані між сусідніми штрихами, визначають швидкість руху візка. Вона буде приблизно  $10\text{ см/с}$ .

Дослід повторюють, збільшивши частоту ударів метронома. Тепер мітки розташовуються густіше, але все одно на однаковій відстані одна від одної.

Виконані досліди дозволяють наочно розкрити учням означення рівномірного руху, при якому тіло за будь-які рівні проміжки часу проходить однакові відстані.

Для демонстрації нерівномірного руху, візкові дають можливість вільно рухатися вздовж похилої платформи, а потім по столу до повної зупинки.

Звертають увагу учнів, що тепер відстань, яку проходить візок за рівні проміжки часу, неоднакова. Це характерна ознака нерівномірного руху. На основі результатів досліду визначають середню швидкість руху візка.

Недоліком усіх видів запису руху є те, що вони відволікають увагу учнів від спостереження механічного руху. Крім того, в цих дослідах аналізу підлягає вже не саме явище – механічний рух, а деяка статистична картина, що є записом руху (система міток).

## 2. Прямолінійні й криволінійні рухи

*Обладнання:* саморухомий візок, платформа.

Візок установлюють на передній частині демонстраційного стола. Умикають струм і звертають увагу учнів на те, що візок переміщується весь час уздовж стола, тобто прямолінійно.

Потім показують криволінійний рух візка, попередньо повернувши його передні колеса. Для цього перевертають візок колесами вгору, послаблюють гвинт і, повернувши колеса на деякий кут, знову закріплюють гвинт.

Дослід слід продовжити й показати, що такі поняття кінематики, як траєкторія, шлях і швидкість, є відносними, тобто залежними від

систем відліку. Для цього виправляють передні колеса візка і встановлюють його на платформу, розташовану вздовж демонстраційного стола. Вмикають струм і звертають увагу учнів на прямолінійний рух візка відносно нерухомої платформи і демонстраційного стола.

Потім візок знову пускають вздовж платформи і повертають її на столі на деякий кут.

Обговорюючи з учнями цей дослід, встановлюють, що траєкторія візка відносно платформи прямолінійна, а відносно столу – криволінійна. Тобто траєкторія – поняття відносне.

Платформу з візком розташовують вздовж демонстраційного стола. Біля кінця платформи, у якого стоїть візок, ставлять на стіл брусок.

Пускають візок і одночасно рухають платформу вздовж стола в той же бік, куди рухається візок. Через деякий час зупиняють візок і одночасно платформу, показуючи різні шляхи, які пройшов візок відносно бруска й платформи. Роблять загальний висновок, що шлях і швидкість – відносні поняття, що залежать від вибору тіла відліку.

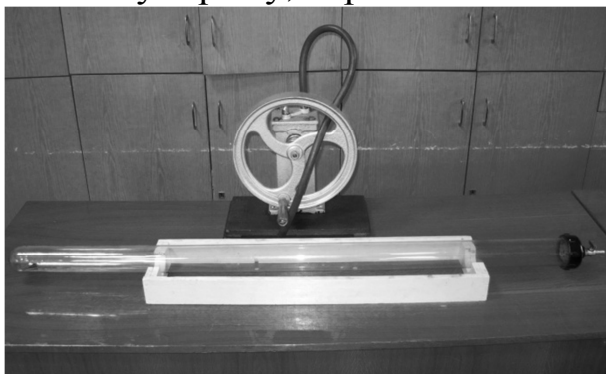
### **3. Падіння тіл у повітрі і розрідженому просторі**

*Обладнання:* паперовий і металевий круги, дві кульки однакового розміру, але різної маси, трубка Ньютона, насос Комовського.

В одну руку беруть металевий круг, а в другу паперовий і одночасно їх відпускають. Після того як металевий круг доторкнеться до стола, паперовий ще продовжує падати й досягне стола з великим запізненням.

Потім кладуть на руку горизонтально металевий круг і накладають на нього паперовий. Відпускають круги; вони, зберігаючи горизонтальне положення, падають на стіл одночасно. Цей дослід показує, що причиною неодногочасного падіння тіл є опір повітря. Достатньо його усунути, і легкий паперовий круг падає так, як металевий, для якого опір повітря малий в порівнянні із силою тяжіння.

У трубці Ньютона відкривають кран і, тримаючи її у вертикальному положенні краном доверху, звертають увагу учнів на пташину пір'їну, корок і шматочок свинцю, що лежать на дні приладу.



При швидкому перевертанні трубки краном униз чути удар свинцевого тягарця, потім видно, як падає корок і повільно опускається пір'їна.

Тоді сполучають товстостінним гумовим шлангом

вакуумний насос з вакуумметром, а вакуумметр – із трубкою Ньютона і відкачують повітря. Коли стрілка вакуумметра перестане переміщуватись, кран трубки Ньютона закривають.

Знявши гумовий шланг, знову перевертають трубку 2-3 рази. Учні чують стукіт шматка свинцю і спостерігають одночасно з ним падіння пір'їни й корка.

Дві кульки однакового розміру, але різної маси беруть в одну руку й одночасно відпускають. Кульки падають, і удари чути одночасно. Дослід засвідчує: якщо опір повітря невеликий порівняно з силою тяжіння, то всі тіла, незалежно від їх маси, падають з однаковим прискоренням.

#### **4. Лінійна й кутова швидкості при рівномірному русі по колу**

*Обладнання:* обертовий диск, магнітоелектрична машина, штатив із муфтою, білизняна гума, пластилін, різнокольоровий папір.

Стержень обертового диска затискають у муфті штатива так, щоб його площина була вертикальною. На диску вздовж радіуса приклеюють пластиліном вузьку паперову смужку і три паперові кружечки – “точки” *A*, *B*, *C*. На шківі магнітоелектричної машини, також уздовж його радіуса наклеюють таку саму смужку й кружечок – “точка” *D*. Усі “точки” повинні бути різного кольору.

Обертаючи диск рукою, з'ясовують, що кути повороту (кутові переміщення) радіусів точок *A*, *B*, *C* однакові і не залежать від того, на якій відстані розміщені від осі обертання. Оскільки час, за який точки здійснюють різні лінійні переміщення, однаковий, роблять висновок про те, що лінійні швидкості точок *A* і *C* однакові, а точки *B* – інша (менша). Кутові швидкості всіх трьох точок однакові.

Потім шків магнітоелектричної машини сполучають пасом із шківом диска. Пас виготовляють із гуми. Повертаючи шків магнітоелектричної машини, демонструють різні кутові і лінійні швидкості точок *B*, *D* і однакові – точок *A*, *C*. Кутове переміщення точок найкраще відлічувати від вертикалі, яка проходить через осі обертання шківів машини й диска.

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

#### **1. Визначення прискорення тіла при рівноприскореному русі**

*Обладнання:* жолоб, металева кулька, штатив з муфтою й затискачем, металевий циліндр, метроном, вимірювальна стрічка.

#### **Порядок виконання роботи:**



1. Закріпіть жолоб за допомогою штатива в похилому положенні під невеликим кутом до горизонту. Біля нижнього кінця жолоба покладіть металевий циліндр.

2. Відпустивши кульку (одночасно з ударом метронома) із верхнього кінця жолоба, підрахуйте кількість ударів метронома до зіткнення кульки з циліндром. Дослід зручно проводити при 120 ударах метронома за хвилину.

3. Змінюючи кут нахилу жолоба до горизонту і роблячи невеликі переміщення металевого циліндра, досягніть того, щоб між моментом відпускання кульки й моментом її зіткнення з циліндром було 4 удари метронома.

4. Обчисліть час руху кульки.

5. Вимірювальною стрічкою визначте довжину переміщення  $S$  кульки. Не змінюючи нахилу жолоба, повторіть дослід 5 разів, знову добиваються збігу четвертого удару метронома з ударом кульки об циліндр (для цього циліндр можна трохи пересувати).

6. За формулою  $S_c = \frac{S_1 + S_2 + S_3 + S_4 + S_5}{5}$  знайдіть середнє значення модуля переміщення, а потім обчисліть середнє значення модуля прискорення:  $a_c = \frac{2S_c}{t^2}$ .

7. Результати вимірювань і обчислень запишіть у таблицю.

№ п/п	$S, м$	$S_c, м$	Кількість ударів метронома	$t, с$	$a_c, \frac{м}{с^2}$

Висновки:

## 2. Вивчення прямолінійного рівноприскореного руху

**Мета:** дослідити залежність переміщення від часу руху тіла та залежність швидкості від часу руху тіла.

**Обладнання:** прилад із кінематики й динаміки, гирьки масою по 150 г – 2 шт., гирьки масою по 10 г – 2 шт., вимірювальна стрічка, секундомір, штатив.

Опис приладу: прилад складається з металевої рейки довжиною 100 см. На кінцях рейки закріплено обойму з блоком і електромагніт. Між ними може вільно переміщатися двоколісний візок.



Через блок в  
обоймі  
перекинута  
нитку, один  
кінець якої  
прив'язано до  
візка, а другий –  
до шальки з  
гирькою, маса  
якої 10 г. До  
обойми блока

підвішений металевий стержень із рухомим столиком, який призначений для зупинки додаткового тягарця під час вимірювання модуля миттєвої швидкості.

### Порядок виконання роботи:

#### *а) Дослідження залежності переміщення від часу руху тіла*

1. Установіть прилад у похилому положенні так, щоб візок рівноприскорено проходив усю довжину за 4-5 с.

2. Зафіксуйте візок за допомогою електромагніту на початку відліку.

3. Встановіть фіксатор на відстані приблизно 10 см від візка і пустіть його одночасно із секундоміром. У момент удару фіксатор зупинить секундомір. Переміщення візка й час руху запишіть у таблицю.

4. Зробіть аналогічні виміри, збільшуючи відстань на 10 см до 1 м.

5. На підставі результатів зробіть висновок про залежність модуля переміщення від часу рівноприскореного руху візка. Показати, що:

$$S_1:S_2:S_3:S_4:S_5=t_1^2:t_2^2:t_3^2:t_4^2:t_5^2$$

№ п/п	Переміщення візка $S$ , см	Час руху візка $t$ , с	Квадрат часу руху візка $t^2$ , $c^2$
1	30		
2	40		
3	50		

4	60		
5	70		
6	80		
7	90		

Висновки:

**б) Дослідження залежності швидкості від часу руху тіла**

1. Пересуваючи муфту по стояку штатива, нахиліть прилад так, щоб від легкого поштовху візок із тягарцем почав рухатись рівномірно по всій довжині дротини.

2. Прикладіть до візка деяку силу. Для цього перекиньте нитку через блок. Один кінець нитки прив'яжіть до візка, а другий – до шальки.

3. Установити візок біля електромагніта. Розмістіть фіксатор на відстані  $10\text{ см}$  і відпустіть візок одночасно з секундоміром. Запишіть час  $t'$  рівноприскореного руху візка.

4. Підвісьте до обойми блока стержень із рухомим столиком. Столик установіть так, щоб шалька торкалась столика тоді, коли візок буде біля фіксатора, тобто на відстані  $10\text{ см}$  від верхнього кінця стержня.

5. Поверніть візок у початкове положення і встановіть фіксатор на відстані  $50\text{ см}$  від візка. Знову пустіть візок одночасно із секундоміром. Запишіть час рівноприскореного й рівномірного переміщення візка  $t''$ .

6. Обчисліть модуль миттєвої швидкості візка в кінці його рівноприскореного переміщення.

7. Проробити аналогічні вимірювання, збільшуючи відстань рівноприскореного руху на  $10\text{ см}$ .

8. Результати вимірювань і обчислень запишіть у таблицю.

Рівноприскорений рух візка		Рівноприскорений і рівномірний рухи		Рівномірний рух візка		Миттєва швидкість
Переміщення $S', \text{ см}$	Час, $ct'$	Переміщення $S'', \text{ см}$	Час, $ct''$	Переміщення $S'' - S', \text{ см}$	Час, $t'' - t'$	$V, \text{ см/с}$

9. На підставі знайдених результатів, врахувавши допущені похибки, зробіть висновок про залежність модуля миттєвої швидкості від часу рівноприскореного руху візка.

Висновки:

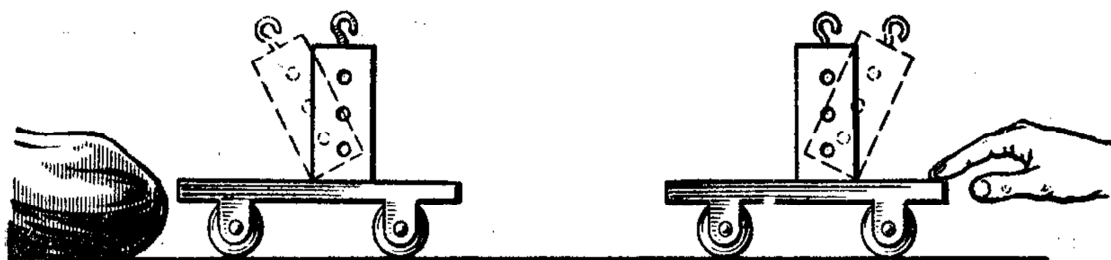
## Лабораторна робота № 11

### Основи динаміки

**Мета:** оволодіти методикою й технікою фізичного експерименту з теми "Основи динаміки".

**Завдання I.** Повторити за шкільними й вузівськими підручниками матеріал. Ознайомитися з особливостями експерименту з даної теми.

**Завдання II.** Виробити уміння й навички при виконанні таких



Мал. 1

демонстрацій:

#### 1. Прояви інерції.

**Обладнання:** візок, брусок дерев'яний, невеликий мішок із піском.

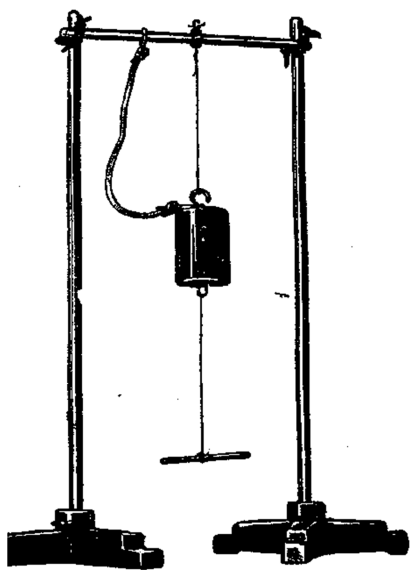
Розглянемо два характерних випадки прояву інерції.

Для цього досліду скористаємось візком із вертикально розміщеним на ній дерев'яним бруском (мал. 1). Різким поштовхом візок приводять у рух, при цьому брусок падає.

Повернувши візок у початкове положення, знову встановлюють на ньому брусок і плавно розганяють вздовж стола; натрапивши на перешкоду, візок різко зупиняється, а брусок падає вперед.

#### 2. Інертність тіл.

**Обладнання:** гиря масою 2 кг, штатив універсальний, нитка довжиною 2 м, міцна



Мал. 2

мотузка.

Перед дослідом готують декілька однакових кусків міцної нитки із зав'язаними на кінцях петлями. На стояку, зібраному з деталей універсального штатива, підвішують гирку 2 кг за допомогою одного із заготовлених кусків нитки. Другий відрізок нитки прив'язують до нижньої петлі тягарця (мал. 2).

Щоб гиря при розриванні нитки не падала, її прив'язують до перекладини стояка вільно звисаючою міцною мотузкою. Узявшись за рукоятку, вставлену в петлю нижньої нитки, різко смикають вниз. При цьому обривається нижня нитка, гиря лишається висіти на верхній нитці.

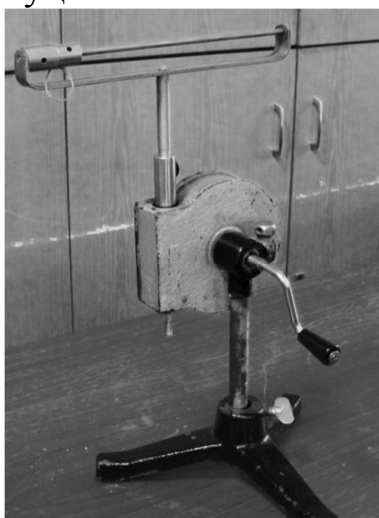
Під час руху сила натягу нижньої нитки досягає граничного значення за такий короткий час, протягом якого масивна гиря не може помітно опуститися й надати зусилля верхній нитці так, щоб вона обірвалася.

Після цього замінюють розірвану нитку новою і повільно натягують її, поступово збільшуючи натяг. Тепер обривається верхня нитка і гиря зависає на запобіжній мотузці. В цьому випадку сила натягу верхньої нитки раніше досягає граничного значення, оскільки вона в будь-який момент дорівнює сумі ваги тягарця й сили натягу нижньої нитки.

### 3. Порівняння мас тіл за їхньою взаємодією

*Обладнання:* прилад „Тіла різної маси”, відцентрова машина.

Для введення поняття маси може служити прилад, який являє собою лоток, що ставиться горизонтально в шпинделі машини, із двома суцільними стальним і алюмінієвим циліндрами зв'язаними шнурком.



Циліндри встановлюють по обидва боки від осі обертання спочатку на рівних відстанях. Показують, що навіть при дуже повільному обертанні циліндри не лишаються на місці, а рухаються на край лотка в бік сталюого циліндра.

Після цього циліндри розташовують на стержні так, щоб вони, описуючи кола різних радіусів, утримували один одного і лишились на своїх місцях. Таке положення циліндрів попередньо знаходять дослідним шляхом.

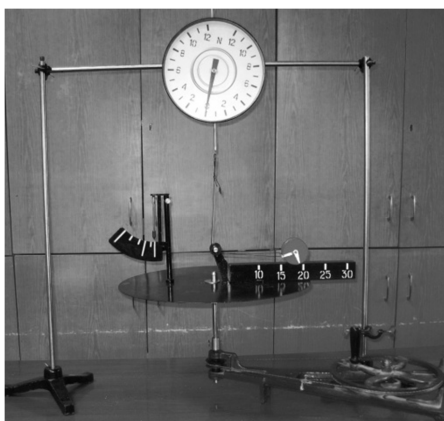
Вимірявши радіуси обертання, показують, що для алюмінієвого циліндра радіус обертання в три рази більший, ніж для сталюого.

Цей результат служить основою для введення поняття маси та дозволяє зробити висновок про те, що відношення абсолютних значень прискорень двох взаємодіючих тіл дорівнює оберненому відношенню їх маси, тобто:

$$\frac{a_1}{a_2} = \frac{m_2}{m_1}.$$

Висновки:

#### 4. Другий закон Ньютона



*Обладнання:* обертовий диск, котки, динамометр, тасьма.

Прикріплюючи до динамометра котки різної маси і, приводячи диск в обертання від руки, добиваються щоразу однакових показів динамометра ( $3\text{ Н}$ ). Дослід показує, що із збільшенням маси котка для отримання сили в  $3\text{ Н}$  треба зменшити відстань котка від осі обертання або кутову швидкість обертання ( $\omega = 2\pi n$ ). На практиці зручніше залишити кутову швидкість обертання сталою, а вимірювати відстань. Результати записати в таблицю і переконати учнів, що мірою сили є величина

$$ma = 4\pi^2 n^2 R.$$

№	Маса котка $m, \text{ кг}$	Частота обертання диска $n, \text{ с}$	Відстань котка від осі обертання $R, \text{ м}$	Покази динамометра $F, \text{ Н}$

#### 5. Третій закон Ньютона

*Обладнання:* демонстраційні динамометри, універсальний штатив, обертальний диск, три кульки, тахометр.

##### Демонстрація третього закону динаміки за допомогою демонстраційних динамометрів

1. Один із демонстраційних динамометрів закріпіть у верхній частині універсального штатива. Потягніть за гачок динамометра вниз. При цьому він покаже значення сили, із якою ви подіяли на нього. Візьміть другий динамометр у руки і розтягуйте за його допомогою

пружину першого динамометра. Обидва динамометри покажуть однакові за значенням сили, із якими динамометри взаємодіють.

2. Закріпіть на диску, який обертається, стержень з трьома підвішеними кульками та тахометр. Покажіть, що при обертанні диска з постійною кутовою швидкістю маятники відносно диска знаходяться в стані спокою, хоча сили, які діють на них, не зрівноважені.

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

### 1. Вивчення другого закону Ньютона

**Мета:** дослідити залежність прискорення від діючої сили при постійній масі тіла та залежність прискорення від маси рухомого тіла при постійно діючій силі.

**Обладнання:** прилад з кінематики й динаміки з рухомим візком, електронний секундомір, стрічка вимірювальна з поділками, штатив для фронтальних робіт.

#### Порядок виконання роботи:

##### Завдання 1

1. Підготувати таблицю: при  $m = const$ .
2. Ознайомитись з установкою.
3. Покладіть на столик візка даний вантаж відомої маси і нахиліть прилад, так щоб візок рухався рівномірно.
4. Прикладіть до візка деяку силу. Для цього потрібно перекинути нитку через блок.
5. Розмістіть фіксатор від візка на відстані 80-95 см і пустіть візок одночасно із секундоміром.
6. Виміряти модуль переміщення візка. Знаючи модуль переміщення й час, обчисліть модуль прискорення його руху за формулою:

$$a = \frac{2S}{t^2}.$$

7. Збільшити силу тяги в 2 рази, не змінюючи масу рухомих тіл. Для цього зніміть із візка один вантаж і покладіть на тарілку, прив'язану до другого кінця нитки.



8. Знову підрахуйте модуль прискорення.

9. Зробіть висновок про залежність

модуля прискорення від діючої сили при постійній масі тіла.

### Завдання 2

1. Підготувати таблицю при  $F = \text{const}$ .
2. Зніміть вантаж і знайдіть модуль прискорення при сталій силі.
3. Покладіть на столик візка вантаж відомої маси
4. Обрахуйте модуль прискорення його руху при тій же силі тяги.
5. Встановіть залежність між модулем прискорення й масою при постійній силі.
6. Результати дослідів занести до таблиці.

№	Сила $F, \cdot 10^{-3} \text{ Н}$	Маса $m, \cdot 10^{-3} \text{ кг}$	Переміщення $S, \text{ м}$	Час $t, \text{ с}$	Прискорення $a, \text{ см/с}^2$
1					
2					
3					

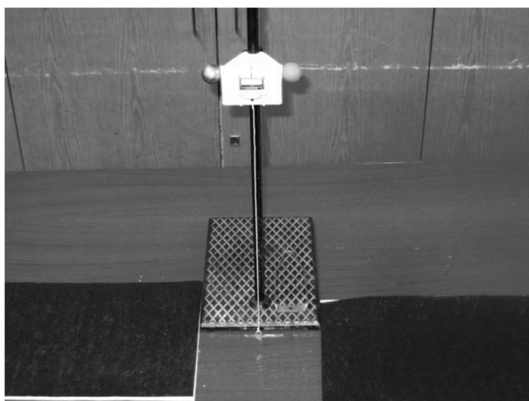
7. Зробіть відповідні висновки.

## 2. Визначення відношення прискорень двох тіл під час взаємодії

**Мета:** перевірити сталість відношення прискорень двох тіл під час взаємодії.

**Обладнання:** прилад для перевірки закону збереження імпульсу, штатив для фронтальних робіт, лінійка або вимірювальна стрічка з сантиметровими поділками, рівень, аркуші паперу для письма й копіювання – по 2 шт.

### Теоретичні відомості



Для виконання роботи використовують прилад (мал. 1), який складається з платформи 1, двох снарядів 2, 3 із змінними кульками 4, 5.

Пластмасова платформа має жолоб, в якому встановлюють снаряди. Всередині платформи змонтовано плоску пружину із скобою і кнопкою 7, після натискання якої скоба входить у середину корпусу платформи. Крім того, на корпусі платформи є рухомий показчик із виском 8 для визначення початку відліку відстаней, які пролітають снаряди, і стержень для закріплення приладу в муфті штатива.



Снаряди – це пластмасові циліндри однакових розмірів. В один з них уставлена пружина. Довжину робочої частини пружини можна змінювати, вкручуючи її у внутрішню порожнину снаряда або, викручуючи її з неї, чим змінюють зусилля, потрібне для стискання пружини. Другий циліндр має виступ, який під час з'єднання снарядів входить у середину першого і стискує пружину. На протилежних кінцях циліндрів є стержні з різьбою, на яких кріплять знімні кульки. Циліндричні частини обох снарядів мають кільцеві виточки для фіксації снарядів на платформі в з'єднаному стані.

Під час натискання кнопки снаряди одночасно вивільняються і внаслідок взаємодії розлітаються в різні боки. Початкові швидкості снарядів дорівнюють нулю.

Рух снарядів під час взаємодії можна розглядати як рівноприскорений з середнім прискоренням  $a_1$  і  $a_2$ . Тому  $a_1 = \frac{v_1}{t}$  і  $a_2 = \frac{v_2}{t}$ , де  $a_1$  і  $a_2$  – модулі прискорень, а  $v_1$  і  $v_2$  – модулі горизонтальних складових швидкостей, набутих снарядами внаслідок взаємодії,  $t$  – час взаємодії, однаковий для обох снарядів.

Виходячи з цього, можна записати, що:

$$\frac{a_1}{a_2} = \frac{v_1}{v_2} \quad (1)$$

На снаряди, які рухаються в горизонтальному напрямі, діють лише сили опору повітря, якими через їх малість можна знехтувати, тому рух снарядів у цьому напрямі можна розглядати як рівномірний. Отже,

$$x_1 = v_1 t_1 \quad x_2 = v_2 t_2$$

де  $x_1$  і  $x_2$  – відстані, пройдені снарядами в горизонтальному напрямі,  $t_1$  і  $t_2$  – час падіння снарядів з тієї самої висоти. Оскільки час однаковий, то

$$\frac{v_1}{v_2} = \frac{x_1}{x_2} \quad (2)$$

Порівнявши вирази (1) і (2), дістанемо:

$$\frac{a_1}{a_2} = \frac{x_1}{x_2} \quad (3)$$

Отже, щоб визначити відношення модулів прискорень снарядів під час взаємодії, треба знайти відношення дальностей польоту в горизонтальному напрямі.

Для спрощення вимірювань слід врахувати, що розміри снарядів значно менші за відстань, яку вони пролітають у горизонтальному

напрямі. Тому розмірами снарядів можна знехтувати і координати точок падіння можна відраховувати від точки, над якою розміщений висок.

**Порядок виконання роботи:**

1. Підготуйте в зошиті такі дві таблиці для записування результатів вимірювання:

*Снаряди з пластмасовими кульками*

№ досліду	Дальність польоту снарядів		Відношення дальностей польоту снарядів $x_1/x_2$
	$x_1, м$	$x_2, м$	

*Один снаряд із пластмасовою кулькою, другий із сталюю*

№ досліду	Дальність польоту снарядів		Відношення дальностей польоту снарядів $x_1/x_2$
	$x_1, м$	$x_2, м$	

2. Складіть установку. Закріпіть прилад на висоті 20-30 см від поверхні стола. Перевірте горизонтальність установки платформи за допомогою рівня.

3. Нитку виска закріпіть так, щоб його вістря було біля поверхні стола. Покладіть снаряди на платформу. Зробіть пробний постріл.

4. На стіл у місцях падіння снарядів покладіть папір для письма, накрийте його копіювальним і натисніть основою штатива.

5. Зробіть 3-4 постріли. Щоразу вимірюйте дальність польоту снарядів. Обчисліть середнє значення дальностей для кожного снаряда. Результати обчислень занести в таблицю.

6. Виконайте ще два досліди, змінивши спочатку довжину робочої частини пружини, а потім висоту встановлення платформи.

7. Для кожного досліду обчисліть відношення і порівняйте.

8. Повторіть досліди, замінивши на одному зі снарядів пластмасову кульку металевою. Результати вимірювань і обчислень занесіть у таблицю.

9. Обчисліть відносну похибку вимірювань.

10. На підставі результатів виконання дослідів зробіть висновок.

## Лабораторна робота № 12

### Сили природи

**Мета:** оволодіти методикою й технікою фізичного експерименту з теми “Сили природи”.

**Завдання I.** Повторити за шкільними й вузівськими підручниками матеріал, що стосується теми “Сили природи”.

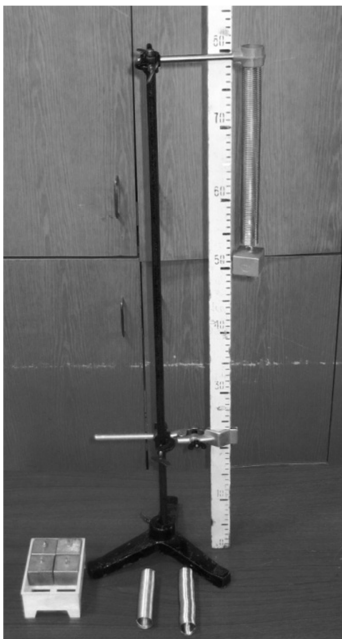
**Завдання II.** Виробити уміння й навички при виконанні таких демонстрацій:

#### 1. Залежність сили пружності від деформації

**Мета:** показати залежність сили пружності від видовження та ввести поняття жорсткості.

**Обладнання:** декілька пружин різної жорсткості, набір гирьок масою по 100 г. з двома гачками, лінійка, штатив універсальний.

Для виконання досліду використовують комплект із двох пружин різної жорсткості. Одну з них підвішують на штативі. Витки пружини, звичайно, тісно притиснуті одна до одної. Щоб пружина діяла



нормально, її треба трохи розтягнути. Для цього до нижнього гачка пружини підвішують саморобну плоску гирьку з двома гачками, масою приблизно 50 г. Край цієї гирьки буде служити показчиком для відліку видовження. Навпроти неї на лінійці, яка закріплена в лапці штатива, крейдою роблять початкову мітку.

Одна підвішена гирька викликає помітну деформацію пружини, навпроти показчика, крейдою, роблять мітку на лінійці.

Якщо дослід проводять із пружиною більшої жорсткості, то установка дозволяє підвісити послідовно ще дві гирьки.

Учні бачать, що відстань між сусідніми мітками однакові. Це показує, що між силою пружності пружини та її видовженням існує лінійна залежність (закон Гука), яка виражається формулою:

$$F_{np} = -kx.$$

Поділивши відповідну силу пружності на відстань між будь-якою парою сусідніх міток, знаходять чисельне значення коефіцієнта пропорційності.

Наголошують, що знайдена величина характеризує пружні властивості даної пружини і називається коефіцієнтом жорсткості. Далі подібним методом знаходять коефіцієнт жорсткості іншої пружини.

## **2. Різні види пружних деформацій**

*Обладнання:* прилад для демонстрування пружних деформацій, штатив із лапкою й муфтою, пружина або гумовий шнур, гирьки з двома гачками, стрілка-показчик, нитки, ножиці, стальна або пластмасова лінійка

Для демонстрування різних видів пружних деформацій випущено спеціальний комплект приладів, який складається зі шматка поролону або пористої гуми, розміченої на рівні квадрати; касети з прозорою передньою стінкою для закладання поролону; дерев'яного циліндра і двох дерев'яних рейок. За допомогою цього приладу можна продемонструвати різні види деформацій та виникнення пружних сил у різних деформаціях. Для демонстрування деформації кручення дерев'яний циліндр обгортають поролоном. Після кожного досліду демонструють, що поролон відновлює свою форму під дією пружних сил.

Щоб продемонструвати, що сили пружності, які виникають під час деформації тіл, мають напрям, протилежний напрямку зміщення частинок тіл, проводять такі досліди. Верхній кінець пружини затискують у лапці штатива. До нижнього її кінця підвішують на нитці гирьки з гачками. Підкреслюють, що частини пружини (її витки) зміщуються вниз у напрямі дії ваги гирьок. Деформація пружини (її видовження) зростає із збільшенням деформуючої сили – ваги підвішених гирьок. Учні пригадують закон Гука, за яким сила пружності пружини зростає пропорційно деформації. Якщо припинити навантажування пружини, припиняється її деформація: деформуюча сила компенсується силою пружності розтягнутої пружини. Якщо тепер перерізати нитку, на якій підвішені гирьки, тобто усунути деформуючу силу, то пружина внаслідок дії некомпенсованої сили пружності скоротиться. Отже, сила пружності має напрям, протилежний зміщенню частинок під час деформації тіла, або сила пружності напрямлена протилежно напрямку деформуючої сили.

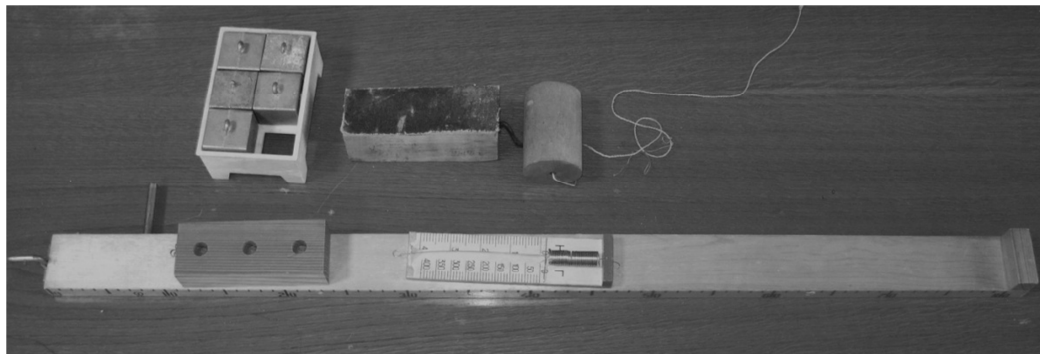
Є інший варіант цього досліду. Під дією гирьки лінійка деформується – сили пружності відновлять форму лінійки, повертаючи її у вихідне положення. Отже, у цьому випадку сила пружності та деформуюча сила напрямлені протилежно і зумовлюють рух частинок тіла в різних напрямках.

## **3. Сила тертя спокою й ковзання**

### **а) Залежність сили тертя від сили тиску і стану поверхонь**

*Обладнання:* дерев'яний брусок із гачком, наждачний папір, динамометр із круглою шкалою, три гирі масою по  $0,5\text{ кг}$  кожна, ящик – підставка, нитки.

На брусок установлюють одну гирю ( $0,5\text{ кг}$ ). Якщо тіло внаслідок прикладеної до нього сили тяги рухається рівномірно, це означає, що



воно перебуває під дією скомпенсованих сил. Отже, сила тяги, яку показує динамометр

р, компенсується такою самою за значенням силою тертя ковзання. Значення сили тертя ковзання, як показує дослід, трохи менше від значення сили тертя спокою в момент переходу тіла до стану руху, а її напрям завжди протилежний напрямку відносної швидкості тіл.

Поставивши на брусок дві, а потім три гирі по  $0,5\text{ кг}$ , переконуються, що сила тертя пропорційна силі тиску. Потім на брусок, обгорнутий наждачним папером, ставлять одну гирю ( $0,5\text{ кг}$ ), вимірюють силу тертя і помічають, що вона збільшилась порівняно з попереднім її значенням. Отже, коефіцієнт пропорційності між силою тертя і силою тиску залежить від стану поверхонь. Так вводять поняття про коефіцієнт тертя.

#### **б) Незалежність сили тертя від площі поверхонь, які піддаються тертю**

*Обладнання:* дерев'яний паралелепіпед, динамометр.

Щоб довести, що сила тертя не залежить від площі дотику тертьових тіл, найкраще скористатись паралелепіпедом, три грані якого помітно відрізняються своїми розмірами. Три різні за площею суміжні грані обклеюють однаковим матеріалом (папером, картоном, тканиною) для того, щоб був однаковий коефіцієнт тертя. Брусок установлюють на демонстраційному столі так, щоб він міг ковзати по столу, спираючись на найменшу грань. При рівномірному переміщенні по столу, динамометр буде показувати значення сили тертя. Дослід повторюють, поставивши паралелепіпед на другу, а потім на третю грань. Сили тертя в усіх випадках будуть однаковими.

### в) Залежність сили тертя кочення й ковзання

**Обладнання:** візок, демонстраційний динамометр, гиря (0,5 кг), дротина або нитки.

Щоб довести, що сила тертя кочення значно менша від сили тертя ковзання, візок із загальмованими колесами (для цього колеса прив'язують дротиною до платформи або між колесами і платформою вставляють клин), встановлюють на демонстраційному столі і, зачепивши крючком динамометра, рівномірно рухають. Вимірюють силу тертя ковзання, потім розгальмовують колеса і вимірюють силу тертя кочення. Порівнюючи обидві сили тертя, переконуються, що сила тертя кочення значно менша від сили тертя ковзання.

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

#### 1. Визначення жорсткості пружини

**Мета:** визначити коефіцієнт жорсткості пружини.

**Обладнання:** штатив із муфтами й лапкою, спіральна пружина, набір гирьок, маса, кожної з яких дорівнює 100 г, лінійка з міліметровими поділками.

#### Теоретичні відомості

Визначити жорсткість пружини за вимірюванням її видовження при різних значеннях сили тяжіння  $F=mg$ , що зрівноважує силу пружності  $F_{np}$ , на основі закону Гука:  $k = \frac{F_{np}}{|x|}$ . У кожному з дослідів

жорсткість визначають для різних значень сили пружності й видовження, тобто умови досліду змінюються. Тому при знаходженні середнього значення жорсткості пружини не можна скористатися середнім арифметичним значенням кількох вимірювань. Скористаємося графічним способом визначення середнього значення, який можна застосувати в таких випадках. За результатами кількох дослідів побудуємо графік залежності модуля сили пружності  $F_{np}$ , від модуля видовження  $|x|$ . У побудованому за результатами досліду графіку експериментальні точки можуть не лежати на одній прямій, яка відповідає формулі  $F_{np}=k|x|$ . Це пов'язано з похибками вимірювання. У такому разі графік треба проводити так, щоб приблизно однакова кількість точок була з різних боків від прямої. Коли графік побудовано, досить узяти будь-яку точку на прямій (в середній частині графіка), визначити за ним відповідні цій точці значення сили пружності та видовження й обчислити жорсткість  $k$ . Вона і буде шуканим середнім значенням жорсткості пружини  $k$ .

Результат вимірювання записують у вигляді виразу  $k = k_c \pm \Delta k$ , де  $\Delta k$  – найбільша абсолютна похибка вимірювання. З курсу алгебри (7 кл.) відомо, що відносна похибка  $\varepsilon_k$  дорівнює відношенню абсолютної похибки  $\Delta k$  до значення величини  $k$ :  $\varepsilon_k = \Delta k / k$ , звідки  $\Delta k = \varepsilon_k k$ . Існує правило для обчислення відносної похибки: якщо величину, яку визначають на досліді, знаходять в результаті множення або ділення наближених величин, що входять до розрахункової формули, то відносні похибки додаються. У цій роботі  $k = \frac{mg}{|x|}$ , тому  $\varepsilon_k = \varepsilon_g + \varepsilon_x$

(1).

### Порядок виконання роботи:

1. Закріпіть на штативі кінець спіральної пружини (другий кінець пружини має стрілку-показчик і гачок).
2. Поряд із пружиною чи за нею встановіть і закріпіть лінійку з міліметровими поділками.
3. Запишіть значення поділки лінійки, проти якої знаходиться стрілка-показчик пружини.
4. Підвісьте до пружини гирьку відомої маси і виміряйте видовження пружини.
5. До першого тягарця додайте другий, третій і т.д., записуючи щоразу видовження пружини. Результати вимірювань запишіть у таблицю.
6. За результатами вимірювань побудуйте графік залежності сили пружності від видовження і, користуючись ним, визначте середнє значення жорсткості пружини.
7. Обчисліть найбільшу відносну похибку, з якою знайдено значення  $k_c$  (з досліду з однією гирькою). У формулі (1):

$$\varepsilon_m = \frac{\Delta m}{m} = \frac{0,002 \text{ кг}}{0,100 \text{ кг}} = 0,02;$$

$$\varepsilon_g = \frac{\Delta g}{g} = \frac{0,02 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}}{10 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}} = 0,002$$

оскільки похибка при вимірюванні видовження  $\Delta x = 1 \text{ мм}$ , то:

$$\varepsilon_x = \frac{\Delta x}{x} = \frac{1 \text{ мм}}{25 \text{ мм}} = 0,04.$$

8. Знайдіть  $\Delta k = \varepsilon_k k_c$  і запишіть відповідь у вигляді:  $k = k_c \pm \Delta k$ .

№ п/п	$m, \text{кг}$	$\Delta m, \text{кг}$	$mg, \text{Н}$	$ x , \text{м}$
----------	----------------	-----------------------	----------------	-----------------




## 2. Визначення коефіцієнта тертя ковзання

**Мета:** визначити коефіцієнт тертя дерев'яного бруска, що ковзає по дерев'яній лінійці.

**Обладнання:** динамометр, дерев'яний брусок, дерев'яна лінійка, набір гирьок.

Динамометром вимірюють силу, з якою треба тягти брусок з гирьками по горизонтальній поверхні так, щоб він рухався рівномірно. Ця сила за модулем дорівнює силі тертя, що діє на брусок. За допомогою такого самого динамометра можна знайти вагу бруска з вантажем. Ця вага за модулем дорівнює силі нормального тиску бруска на поверхню, по якій він ковзає. Визначивши таким способом значення сили тертя для різних значень сили нормального тиску. Побудувати графік залежності сили тертя від сили нормального тиску і знайти середнє значення коефіцієнта тертя (див. роботу №1).

Основним вимірювальним приладом у цій роботі є динамометр. Він має похибку  $\Delta F = 0,05 \text{ Н}$ , яка дорівнює похибці вимірювання, коли покажчик збігається із штрихом шкали. Якщо ж у процесі вимірювання покажчик не збігається із штрихом шкали (чи коливається), то похибка вимірювання сили дорівнює  $\Delta F = 0,1 \text{ Н}$ .

### Порядок виконання роботи:

1. Покладіть брусок на горизонтально розміщену дерев'яну лінійку. На брусок поставте вантаж.
2. Прикріпіть до бруска динамометр і якомога рівномірніше тягніть його вздовж лінійки. Запишіть при цьому показ динамометра.
3. Зважте брусок і вантаж.
4. До першого вантажу додайте другий, третій вантажі, щоразу зважуючи брусок і вантажі та вимірюючи силу тертя.
5. Результати вимірювань запишіть у таблицю.

№ п/п	$P, \text{Н}$	$\Delta P, \text{Н}$	$F_t, \text{Н}$	$\Delta F_t, \text{Н}$

--	--	--	--	--

6. За результатами вимірювань побудуйте графік залежності сили тертя від сили тиску і, користуючись ним, визначте середнє значення коефіцієнта тертя (див. роботу №1)

7. Обчисліть максимальну відносну похибку вимірювання коефіцієнта тертя. Оскільки  $\mu = \frac{F_b}{P}$ , то:

$$\varepsilon_\mu = \varepsilon_F + \varepsilon_P = \frac{\Delta F_m}{F_m} + \frac{\Delta P}{P} \quad (1)$$

З формули (1) випливає, що з найбільшою похибкою вимірюний коефіцієнт тертя в досліді з однією гирькою (бо в цьому випадку знаменники мають найменше значення).

Знайдіть абсолютну похибку  $\Delta\mu = \varepsilon_\mu \mu_c$  і запишіть відповідь у вигляді  $\mu = \mu_c \pm \Delta\mu$ .

## Лабораторна робота № 13

### Застосування законів динаміки

**Мета:** оволодіти методикою й технікою фізичного експерименту з теми “Застосування законів динаміки”.

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

**Завдання II.** Набути вмінь та навичок у проведення таких демонстрацій:

#### 1. Рух тіла під дією сили пружності

**Обладнання:** пружина спіральна з гачком – 2 штуки, гирі масою 1 і 2 кг, штатив універсальний, шкала демонстраційна саморобна з нулем посередині.



При демонстрації коливального руху під дією сили пружності важливо, щоб ці коливання були достатньо повільними і слабо затухаючими. Це дає можливість учням без особливого зусилля слідкувати за всіма фазами руху: визначати напрям сили, прискорення, спостерігати за їхньою зміною.

Біля верхнього кінця стійки штатива підвішують спіральну пружину, а внизу в лапці - затискають вертикально шкалу (мал. 1).

На вільний кінець пружини підвішують гирю масою 1 кг і закріплюють шкалу так, щоб її

нульова поділка була розташована проти центра тяжіння нерухомої гирі.

Вантаж приводять у коливальний рух уздовж вертикальної лінії і дають учням час спостерігати рух вантажу, звертаючи увагу на його характерні моменти.

В описаному досліді на гирю, крім сили пружності, діє ще й . Але вона не впливає на характер руху гирі. Оскільки сила тяжіння стала за величиною і за напрямком, то вона лише зміщує гирю нижче положення рівноваги, біля якого відбуваються коливання.

Щоб компенсувати силу тяжіння, за допомогою саморобного хомутика з блоком підвішують гирю масою 2 кг на горизонтально закріпленому стержні штатива. Тоді між гачками гирі і вертикальними стійками злегка натягують дві однакові пружини. Приводячи гирю в коливальний рух, повторюють спостереження. В даній установці сила тяжіння завжди зрівноважена реакцією опори.

## 2. Рух тіла, кинутого під кутом до горизонту

*Обладнання:* метр демонстраційний, циркуль-вимірювач демонстраційний, бачок водонапірний з гумовою трубкою (наконечником), столик підйомний, штатив універсальний, кювета для дослідів із водою.

Наконечник, для отримання водяного струменя, представляє собою металеву трубку. Вона з одного кінця закрита і має отвором біля 1 мм, просвердлений на її бічній поверхні. Наконечник через ебонітовий кран з'єднують гумовою трубкою з водонапірним бачком і затискають у горизонтальному положенні в муфті штатива. Демонстраційний метр розміщується горизонтально у двох муфтах так щоб нульова поділка шкали була проти наконечника.



Відкривши кран, повертають наконечник так, щоб досягнути найбільшої дальності витікання струменя. Потім наконечник затискають у муфті і встановлюють водонапірний бак на такій висоті, щоб дальність падіння води була приблизно рівна 60 см, і закривають кран. На цьому завершується підготовка установки.

На початку демонстрації струмінь направляють горизонтально, після цього

поступово збільшують кут нахилу до горизонту від  $0$  до  $90$  градусів.

Звертають увагу, що при збільшенні кута дальність польоту струменя спочатку зростає, потім починає спадати і при куті  $90$  градусів рівна нулю.

Повторюючи окремі етапи досліду, встановлюють, що найбільша дальність досягається при куті  $45$  градусів. При цьому за допомогою циркуля-вимірювача знаходять, що висота підйому струменя дорівнює  $15$  см. Коли струмінь, направлений вертикально вгору, висота підняття досягає максимального значення і дорівнює  $30$  см – половині максимальної дальності.

Якщо  $t$  – час досягнення частинки води вершини траєкторії;  $v_z$  – горизонтальна складова початкової швидкості;  $v_g$  – вертикальна складова;  $l$  – дальність, то:  $h = \frac{v_g}{2} t$ ; а  $l = 2tv_z$ , але при куті  $45^\circ$ :  $|v|_z = |v_g|$ .

Звідси,  $l = 2t \cdot \frac{2h}{t}$ , або  $h = \frac{l}{4}$ .

При вертикальному напрямі струменя частинки води піднімається на максимальну висоту  $H$ , початкова швидкість дорівнює  $v$ . Тоді  $v^2 = 2gH$  висота підняття пропорційна квадрату початкової швидкості. Звідси:

$$H = \frac{|v_0|^2}{2g}.$$

Порівнюючи  $H$  і  $h$ , знаходимо  $H = 2h$ .

### 3. Рух тіла, кинутого горизонтально

*Обладнання:* прилад для демонстрації незалежності дії сил, метр демонстраційний.

Основою приладу (мал. 3), який використовується в даному досліді служить панель  $1$  із прямокутним отвором  $2$  для кріплення в лапці штатива і двома отворами  $3$  для насаджування на шурупи, які вкручені в раму класної дошки. На панелі підвішений стержень  $4$ . Нижній кінець стержня відігнутий під прямим кутом і на нього можна досить вільно насадити кульку  $5$ . Друга кулька  $6$  встановлюється на горизонтальній полиці кронштейна  $7$ , в якій зроблена невелика лунка. Пружна скоба  $8$  служить упором, що обмежує рух стержня вправо, а також затискачем для обох кульок при зберіганні приладу.

Прилад кріплять на класну дошку (мал. 4). Кулька  $6$  у даному досліді не потрібна її затискають під правий кінець скоби  $8$ , а кронштейн  $7$  повертають, звільняючи шлях для кульки  $5$ . На лоток дошки, де буде падати кулька ( $98$  см), кладуть змочену водою велику ганчірку.

Узявши рукою кульку, відводять її разом із стержнем уліво на висоту, рівну довжині стержня ( $30$  см), і відпускають. Кулька й

стержень падають, описуючи дугу. Досягнувши упору, стержень зупиняється, а кулька продовжує за інерцією рухатись горизонтально і під дією сили тяжіння описує параболу. Покладена на лоток ганчірка повністю поглинає енергію кульки (вона залишається на місці падіння).

Аналізуючи рух кульки, розглядають його як вільне падіння в системі координат, що переміщуються рівномірно в горизонтальному напрямку з швидкістю, досягнутою кулькою в момент зісковзування зі стержня. Час падіння визначається за формулою:

$$t = \sqrt{\frac{2h}{g}}.$$

Далі визначають шляхи (5, 15, 25 і 35 см), які проходить кулька при вільному падінні за послідовно-рівні проміжки часу, по 0,1 с кожен, і відповідні відрізки відмічають вздовж лівого краю дошки.

Пройдений шлях в горизонтальному напрямку ділять на чотири рівні відрізки. На перетині вертикалі й горизонталі знаходять положення кульки в кожен із розглядуваних моментів часу. Проводячи через знайдені точки плавну криву, одержують траєкторію руху кульки в нерухомій системі координат.

Дослід повторюють і показують учням повне співпадання траєкторії руху з накресленою параболою.

#### 4. Вага тіла, що рухається з прискоренням

##### І. Зменшення ваги при рівноприскореному русі тіла вниз

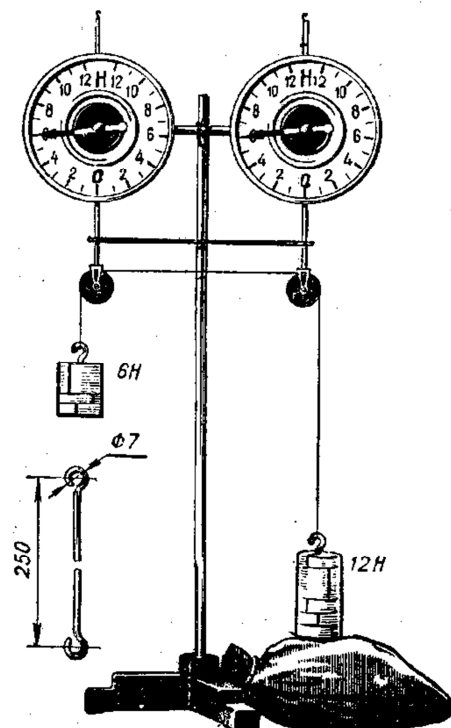
Підвісьте вантаж масою 0,5 кг до демонстраційного динамометра і закрийте паперовим півкругом верхню частину шкали, включаючи стрілку. Покажіть, що при різкому опусканні вантажу стрілка стає видимою.

##### 5. Рух тіл під дією сили тяжіння

а) *Обладнання:* демонстраційний динамометр з круглою шкалою, гиря масою 0,5 кг, нитки.

Цей дослід є основним при вивченні ваги тіл, що рухаються з прискоренням.

До крючка демонстраційного динамометра за допомогою петлі з міцної нитки підвішують гирю масою 0,5 кг. Узявши динамометр в руку, тримають його нерухомо, стежачи за показами



Мал. 5

стрілки ( $5\text{ Н}$ ). Потім переміщують його рівномірно вгору і вниз. Покази стрілки залишаються незмінними. Оскільки динамометр показує вагу тіла, уточнюється означення ваги.

Потім рухають динамометр з сталим прискоренням вгору і помічають збільшення ваги гирі, а під час прискореного опускання – зменшення. Звертають увагу учнів на покази стрілки, коли динамометр, який рухається з прискоренням вгору, починає сповільнювати свій рух. При цьому помічають, що стрілка наближається до поділки  $5\text{ Н}$ , що свідчить про зменшення ваги гирі, а в момент зупинки показує  $5\text{ Н}$ . Якщо динамометр опускати з прискоренням, яке поступово зменшується, покази стрілки також зростають до значення  $5\text{ Н}$  в момент зупинки. Роблять висновок про залежність ваги тіла від прискорення його руху й напряду прискорення відносно швидкості тіла.

б) *Обладнання:* 2 демонстраційних динамометри, 2 штативи з подвоєними стояками, 2 комплекти набірних гирьок загальною масою  $2\text{ кг}$ , штативний стояк з трьома муфтами, міцна нитка, мішок з піском.

Зміну ваги тіл під час рівнозмінного руху демонструють на установці (мал. 5). Щоб під час руху гирьок стержні динамометрів залишались вертикальними, їх з'єднують дротяною скобою завдовжки  $250\text{ мм}$ . На нижні стержні динамометрів насаджують блоки з комплекту пристроїв до них. До кінців нитки, перекинutoї через блоки, підвішують набірні гирьки вагою  $12$  і  $6\text{ Н}$ .

Права гирька ( $12\text{ Н}$ ) стоїть на столі, ліва – піднята майже до гачка лівого динамометра. Обидва динамометри показують  $6\text{ Н}$ . Якщо підтягнути більшу гирьку, взявшись рукою за меншу, і утримувати нитку рукою, обидва динамометри будуть показувати  $12\text{ Н}$ .

Підвішують до нитки обидві гирьки, а потім лівий динамометр рухають рівномірно вниз рукою. Права гирька піднімається. Обидва динамометри показують  $12\text{ Н}$ .

Ліву утримують біля поверхні стола, праву – піднімають майже до блока. Якщо підпустити ліву гирьку, система починає рухатись з прискоренням. Обидва динамометри показують  $8\text{ Н}$ .

Масу лівого поступово зменшують і переконуються, що прискорення руху гирьок збільшуються, а покази динамометрів зменшуються, що означає зменшення ваги правої гирьки. Нарешті, ліву відщеплюють зовсім і права вільно падає. Обидва динамометри показують  $0\text{ Н}$ . Тіло, що вільно падає, перебуває в стані невагомості.

## **6. Невагомість при падінні тіл**

*Обладнання:* набір гирьок масою  $1\text{ кг}$ , штатив універсальний, шнур, папір, мішок з піском, смужка паперу, прилади для демонстрації невагомості тіла, яке вільно падає.



На міцному шнурі, який пропущений через кільце штатива, підвішують вантаж масою  $1\text{ кг}$ . На другому кінці шнура роблять петлю, яку закріплюють за гачок муфти. Між гилями набірною вантажу кладуть папір і вільний його кінець затискають в лапці штативу. Відчепивши петлю шнура, повільно опускають вантаж. Останній натягує і розриває паперову смужку. Робимо висновок, що паперова смужка була достатньо сильно притиснута гилями. Замінюють порвану смужку такою ж цілою, відчіпляють шнур і відпускають його. Гиля вільно падає, а паперова смужка, вивільнившись, повисає в лапці штатива. Дослід показує, що при вільному падінні тиск гиля на опору відсутній, тобто гиля знаходиться в невагомості.

## 7. Рух тіла під дією кількох сил

Описані нижче варіанти дослідів ілюструють конкретні задачі механіки.

а) *Обладнання:* скляна пластинка ( $150 \times 700\text{ мм}$ ), легкий металевий брусок, машинне масло.

Перед виведенням формули для прискорення руху тіла, яке ковзає по похилій площині, корисно показати дослід. На скляну пластинку, змащену машинним маслом, кладуть легкий металевий брусок з гладенькою поверхнею, якою він дотикається до скла. Піднявши один кінець скляної пластинки, демонструють прискорений рух бруска до її основи. Поступово збільшуючи нахил пластинки, спостерігають, що прискорення бруска збільшується. Розв'язуючи відповідну задачу, знаходять залежність прискорення бруска від відношення висоти похилої площини до її довжини (від кута нахилу площини до горизонту).

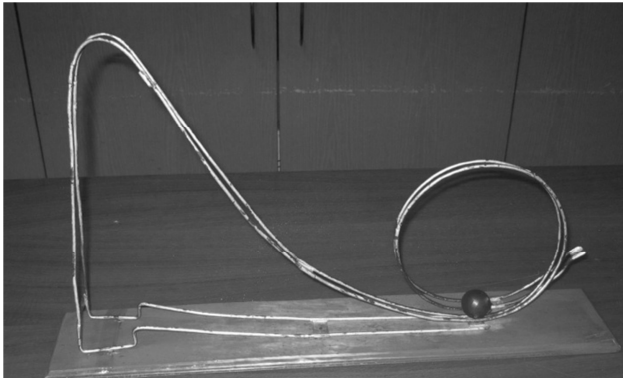
б) *Обладнання:* колесо від дитячого велосипеда або диск з фанери.

Розв'язуючи задачі на знаходження кута нахилу тіл під час їх руху на заокруглених ділянках, демонструють такий дослід. Колесо чи диск діаметром  $15\text{--}30\text{ см}$  встановлюють вертикально і легенько відштовхують. Спостерігають прямолінійний рух колеса. Потім повторюють дослід, трохи нахиливши колесо. Воно майже відразу (від слабого поштовху) починає рухатись по криволінійній траєкторії, напрям повороту якої збігається з напрямом початкового нахилу колеса.

в) *Обладнання*: дитяче іграшкове відерце.

У невелике іграшкове відерце (бажано з прозорої пластмаси) наливають трохи підфарбованої води і, взявшись за дужку, обертають його у вертикальній площині. При достатній швидкості вода з відерця не виливається. Можна використати плетену сітку, в яку вставляють відерце.

г) *Обладнання*: відцентрова дорога (“мертва петля”) (мал. 7).



Ця задача завжди викликає інтерес в учнів, особливо, коли перед її розв’язанням продемонструвати такий дослід. Спочатку пускають кульку з найбільшої висоти, а потім, зменшуючи її, досягають випадання кульки в деякій точці петлі. Роблять потрібні розрахунки

і перевіряють їх на досліді. Розбіжність розрахунків з експериментом пояснюється тим, що не враховувались тертя і обертання кульки.

д) *Обладнання*: обертовий диск, стійка з трьома кульками з комплекту приладів до обертового диска.

Розв’язуючи задачі на знаходження кута відхилення маятника під час його обертання навколо вертикальної осі, яка проходить через точку підвісу, демонструють дослід з трьома маятниками, що містяться на обертовому диску. Для цього стійку з трьома кульками встановлюють на диску так, щоб один з трьох маятників у стані спокою був розміщений над центром диска. Обертаючи диск, демонструють відхилення від вертикалі двох інших маятників.

е) *Обладнання*: парафінова кулька з осердям, висока циліндрична мензурка або широка скляна трубка, вода.

Щоб продемонструвати падіння тіл у газах або в рідині, проводять такий дослід. З підігрітого парафіну виготовляють кульку діаметром 10-20 мм. Щоб вона тонула у воді, в неї вплавляють кілька дробинок. Для цього дробинки кладуть на поверхню кульки і підігрівають паяльником. Кількість дробинок на досліді визначають так, щоб кулька тонула повільно. Виготовлену кульку опускають у воду, налиту у високу скляну посудину. Для цього можна використати, наприклад, балон лампи денного світла, відрізавши від нього один кінець. Корисно на посудині робити позначки (наклеївши смужки паперу), тоді можна визначити швидкість падіння кульки у воді.



## 8. Відцентрові механізми

а) *Обладнання:* модель центрифуги, відцентрова машина, три пробірки, зубний порошок, вода, проекційний ліхтар.

Модель центрифуги встановлюють на відцентровій машині (мал. 8). У кожну з трьох пробірок наливають воду (приблизно на 0,75 висоти пробірки). У дві пробірки насипають потрохи зубного порошку або потовченої крейди і ретельно перемішують. Одну з пробірок з крейдою залишають як контрольну, а дві інші – вставляють у корзини центрифуги. Швидко обертають центрифугу протягом 1-1,5 хв, потім виймають пробірку з крейдою і демонструють, що вода в ній майже чиста, а крейда осіла на дно пробірки. Потім порівнюють з контрольною пробіркою, проектуючи на екран за допомогою проекційного ліхтаря.

б) *Обладнання:* модель відцентрової сушарки, відцентрова машина, клаптик тканини, вода.

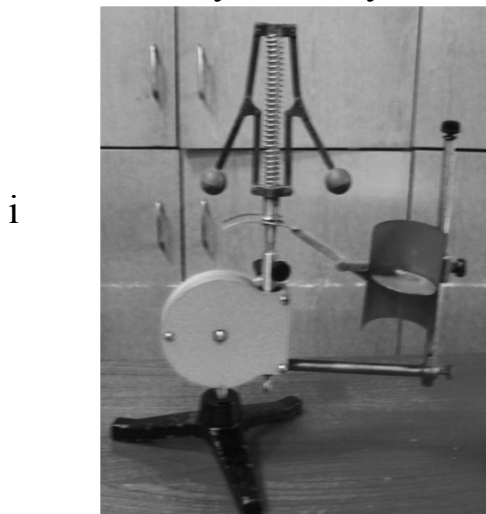
Спочатку демонструють модель відцентрової сушарки в розібраному вигляді, потім складають її і встановлюють на відцентровій машині. У сушарку закладають клаптик тканини або вату, змочений водою. Обертають сушарку протягом 1-2 хв, зупиняють і демонструють, що тканина майже суха.

в) *Обладнання:* модель відцентрового насоса з універсальним двигуном, гумові шланги, дві хімічні склянки по 1-1,5 л, хімічна склянка на 0,5 л, підфарбована флуоресцеїном вода, невелика скляна лійка, тринога від штатива, два ящики підставки.

Модель відцентрового насоса сполучають з універсальним двигуном, встановлюють на тринозі. До всмоктувального і нагнітального штуцерів насоса приєднують гумові шланги, кінці яких опускають в склянки. Їх треба встановити на ящики-підставки так, щоб кінці шлангів були вище від нагнітального штуцера насоса. Потім заливають насос водою (в шланг всмоктувального штуцера вставляють лійку і ллють воду з малого стакана до заповнення насоса). Шланг всмоктувального штуцера опускають в стакан, куди наливають воду для перекачування. Вмикають двигун і спостерігають перекачування води.

г) *Обладнання:* модель відцентрового регулятора, модель заслонки парової машини, відцентрова машина

Щоб продемонструвати принцип дії відцентрового регулятора, складають установку. Якщо швидко обертати регулятор, штанги з кульками розходяться, піднімаючи муфту і стискаючи пружину. Вилка заслонки повертається на деякий кут, повертаючи її. Завдяки цьому перекривається доступ пари зменшується швидкість руху поршня машини. Із зменшенням частоти обертання регулятора опускаються штанги і відкриваються заслонки.



У такого типу механізмах реалізується принцип зворотного зв'язку.

д) *Обладнання:* гнучкі обручі, відцентрова машина.

Для демонстрування того, що тіло, яке обертається навколо осі, стискається вздовж осі. Не потрібно обертати обручі дуже швидко, бо вони можуть зламатись і травмувати експериментаторів.

е) *Обладнання:* латунна трубка приладу Тіндаля, парафін, спиртівка, відцентрова машина, склянка з водою, штатив з лапкою і муфтою.

Трубку Тіндаля затискають в лапці штатива і заповнюють парафіновою стружкою з таким розрахунком, щоб розплавлений парафін зайняв половину трубки. Трубку нагрівають на спиртівці. Після того, як парафін розплавиться, трубку швидко закривають гумовою пробкою і затискають у шпинделі відцентрової машини в горизонтальному положенні. Швидко обертають шпиндель 3-4 хв. Після того, як парафін затвердне, трубку трохи підігрівають на спиртівці і вибивають виліток.

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

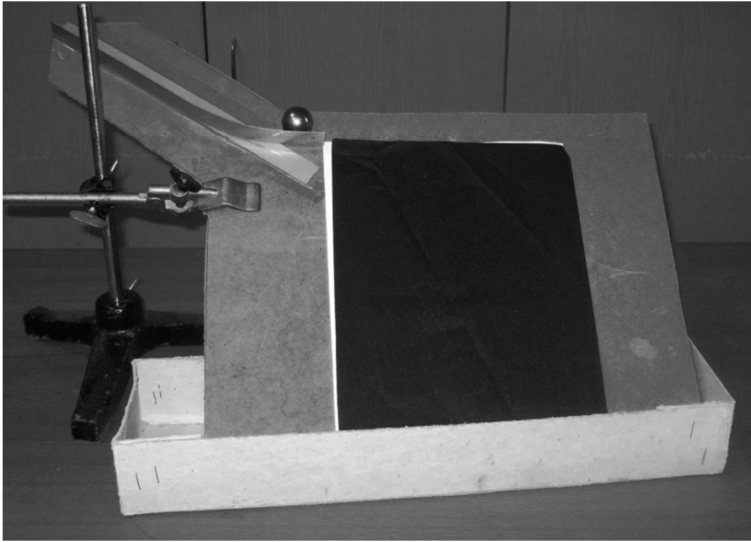
### **1. Вивчення руху тіла, кинутого горизонтально.**

**Мета:** визначити час польоту кульки, кинутої горизонтально.

*Обладнання:* жолоб у вигляді дуги, металева кулька, висок, лінійка, штатив з однією муфтою і затискачем, довга смужка паперу. копіювальний папір, кнопки.

#### **Теоретичні відомості:**

Робота полягає у вивченні сліду, що його залишає кулька, якій надано початкової швидкості в горизонтальному напрямі і яка скочується потім по похилій площині. Цей дослід і є траєкторією руху кульки.



Якщо кульку кинута горизонтально вздовж похилої площини, то вона рухається по параболі. Коли точка рухається по параболі, проекція цієї точки на вісь  $X$  рухається рівномірно, а її проекція на вісь  $Y$  рухається рівноприскорено. У цьому можна переконатися, дослідивши траєкторію

руху кульки.

Проведемо осі координат  $OX$  і  $OY$ , прийнявши за початок координат початкове положення кульки. Вибравши на осі  $OX$  деякий відрізок  $OA$ , поділимо його на кілька рівних частин:  $Ox_1, x_1x_2, \dots$ . З точок поділу проведемо перпендикулярні до перетину з траєкторією руху кульки. Потім з точок, в яких ці перпендикуляри перетинаються з траєкторією руху, опустимо перпендикуляри на вісі  $OY$ .  $y_1, y_2, \dots, B$  – координати кульки вздовж осі  $OY$  у ті моменти часу, коли координатами кульки вздовж осі  $OX$  були  $x_1, x_2, \dots, A$ .

Уздовж осі  $OX$  рівні між собою відрізки  $Ox_1, x_1x_2, \dots$  проекції кульки проходять за однакові відрізки часу. Уздовж осі  $OY$  рух рівноприскорений, тому різниця відстаней, які проходить проекція кульки вздовж осі  $OY$  за послідовні однакові проміжки часу, однакова. Саме в цьому й треба переконатися на досліді.

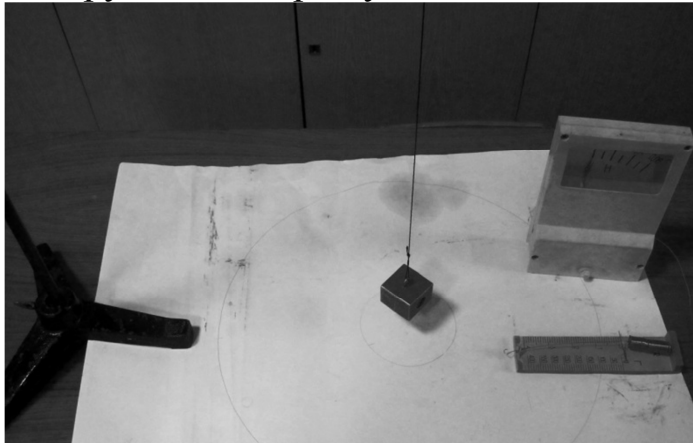
### Порядок виконання роботи:

1. За допомогою штатива укріпити дошку з фанери під кутом  $30^\circ$  до площини стола. При цьому тією ж самою лапкою затиснути виступ лотка. Загнутий кінець лотка повинен бути горизонтальним.
2. Прикріпити до дошки кнопками аркуш паперу.
3. Змастити кульку вазеліном і пустити її по жолобу. Спочуючись по папері, вона залишить на ньому темний слід.
4. Витерти кульку фільтрувальним папером.
5. Накреслити олівцем криву вздовж сліду кульки.
6. Провести на аркуші паперу осі координат і позначити на них координати точок кривої через рівні проміжки часу.
7. Переконатися в тому, що  $y_1y_2 - Oy_1 = y_3y_2 - y_2y_1 = By_3 - y_3y_2$
8. Повторити побудову, поділивши відрізок  $OA$  на більшу кількість рівних частин.

## 2. Рух тіла по колу під дією декількох сил

**Мета:** Вивчити рух тіла по колу.

**Обладнання:** гирька масою  $100\text{ г}$  з двома гачками, нитка, довжиною  $1\text{ м}$ , штатив з муфтою і затискачем, секундомір, аркуш паперу з колами радіусами від  $5$  до  $20\text{ см}$ , динамометр.



### Порядок виконання роботи:

1. Записати характеристики динамометра і тягарця.
2. Закріпити у штативі тіло на нитці довжиною приблизно  $50\text{ см}$  так, щоб тіло ледве не дотикалося стола.
3. На стіл покласти аркуш паперу, щоб центр кола був під центром тіла.

4. Затиснути пальцями нитку біля підвісу і привести тіло в рух так, щоб воно рівномірно рухалося по накреслених колах. Виміряти час  $t$  приблизно  $30$  обертів тіла, радіус траєкторії  $r$ , кількість обертів  $N$ , масу тіла  $m$  і записати в таблицю.

5. Виміряти рівнодійну силу  $F_{np}$ , яка надає тілу доцентрового прискорення (виміряти силу, прикладену до кульки в горизонтальному напрямі, якщо за допомогою динамометра кульку відхилити на такий самий кут, як і під час обертання її по колу).

6. Обчислити добуток маси тіла на доцентрове прискорення

$$F_{\partial} = ma = m\omega^2 r = \frac{4\pi^2 N^2 mr}{t^2}.$$

6. Дані досліду і обчислень занести в таблицю.

$N_{\partial}$	$t, \text{ с}$	$t_{\partial}, \text{ с}$	$N$	$m, \text{ кг}$	$r, \text{ м}$	$a, \text{ м/с}^2$	$F_{\partial}, \text{ Н}$	$F_{np}, \text{ Н}$

7. Порівняти  $F_{\partial}$  і  $F_{np}$ . Зробити відповідні висновки.

## 3. Рух тіла, кинутого під кутом до горизонту

**Мета:** Визначити рух тіла, кинутого горизонтально, вертикально і під кутом до горизонту.

**Обладнання:** балістичний пістолет, штатив з трубкою, муфтою і затискачем, дошка з фанери, довга смужка паперу, кнопки, копіювальний папір.

### Порядок виконання роботи:

1. Закріпити пістолет на краю стола і встановити його під кутом  $45^0$  до горизонту, зробивши пробний постріл.
2. Змінюючи стиск пружини, досягти щоб кулька падала на протилежний край стола.
3. Закріпити на столі довгу смужку паперу, щоб кулька, падаючи, потрапляла на неї. Зверху покласти копіювальний папір.
4. Встановити пістолет під кутом  $20$  градусів до горизонту і зробити постріл.
5. Виміряти дальність польоту  $L$  і найбільшу висоту підйому кульки  $H$ . Для вимірювання  $H$  встановити екран з прикріпленням до нього аркушем чистого копіювального паперу на відстані  $\frac{L}{2}$  від точки кидання.
6. Зробити постріл. Виміряти відстань від міток на поверхні стола.
7. Аналогічно дослідити під кутами  $30, 40, 50, 60, 70, 80, 90$  градусів до горизонту.
8. Поряд з пістолетом поставте вертикально лінійку і закріпіть її так, щоб початок відліку збігався з центром снаряда. Зробіть кілька пострілів і визначте висоту піднімання снаряда.
9. Спрямувавши пістолет вертикально вгору, і зробивши кілька пострілів, вимірюють висоту піднімання снаряда. Потім, знаючи  $H$  і  $g$ , обчислюють модуль початкової швидкості снаряда за формулою:

$$v_0 = \sqrt{2gH}.$$

10. Визначити час польоту кульки за формулою:
$$t = \frac{2v_0 \sin \alpha}{g}.$$

11. Обчислити дальність польоту за формулою:

$$L = v_{0x} t = \frac{2v_0^2 \sin \alpha \cos \alpha}{g} = \frac{v_0^2 \sin 2\alpha}{g}.$$

12. Обчислити максимальну висоту підйому:

$$H = \frac{v_0^2 \sin^2 \alpha}{2g}$$

13. Порівняти теоретичні дані з експериментальними.

## Лабораторна робота № 14

### Статика

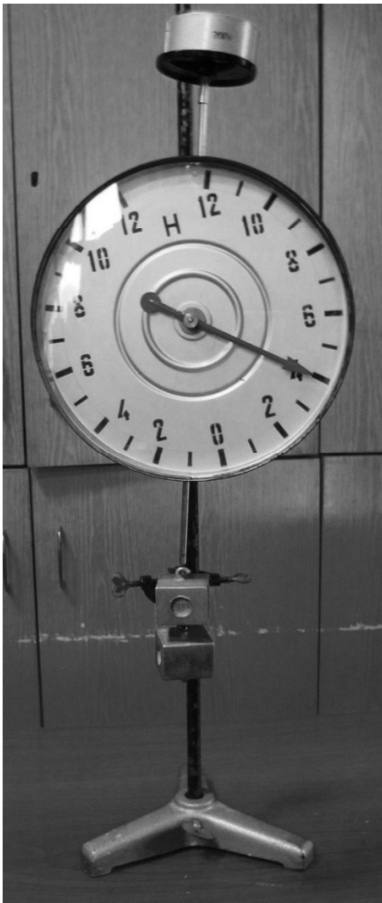
**Мета:** Оволодіти методикою і технікою проведення демонстрацій за темою „Статика”.

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

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

#### 1. Додавання сил, що діють на тіло по одній прямій

**Мета:** На дослідах показати, чому дорівнює рівнодійна сил, що діють на тіло по одній прямій



**Обладнання:** динамометр демонстраційний з круглим циферблатом, набір приладів до нього, гиря  $200\text{ г}$ , набір гирьок з двома крючками у футлярі (6 шт.), блок на стержні, штативи лабораторні з муфтами (2 шт.), нитка довжиною  $50\text{--}60\text{ см}$ .

#### Сили діють в одному напрямі

Динамометр закріплюють у муфті штатива (для цього на зворотному боці динамометра є короткий стержень). На верхній рухомий стержень динамометра насаджують круглий столик (мал. 1) з набору до динамометрів. Обертаючи циферблат динамометра навколо осі, встановлюють його стрілку на нуль. До нижнього рухомого стержня підвішують три гирьки по  $100\text{ г}$  з двома крючками і звертають увагу учнів на те, що стрілка динамометра повертається за годинниковою стрілкою на 3 поділки (ціна поділки –  $1\text{ Н}$ ). Знімають гирі. На столик ставлять гирю  $200\text{ г}$  і помічають, що стрілка повертається також за годинниковою стрілкою на 2 поділки. Знову підвішують знизу три гирьки: стрілка повертається в той самий бік ще на 3 поділки. Роблять висновок про числове значення і напрям рівнодійної двох сил, які діють на тіло по одній прямій в одному напрямі.

#### Сили діють у протилежних напрямках



Складають установку. Підвішують до динамометра три гирьки і спостерігають, що стрілка його повернулася за годинниковою стрілкою на 3 поділки. Знімають гирьки. До гачка верхнього рухомого стержня динамометра підвішують через блок дві гирьки і помічають, що стрілка повернулася проти годинникової стрілки на 2 поділки. Знову підвішують три гирьки, стрілка повертається в протилежний бік і встановлюється на 1-й поділці. Роблять висновок про значення і напрям рівнодійної двох сил, що діють на тіло по одній прямій у протилежних напрямках. Після цього слід показати варіант досліду з іншим співвідношенням сил, а саме: більшу силу прикласти зверху.

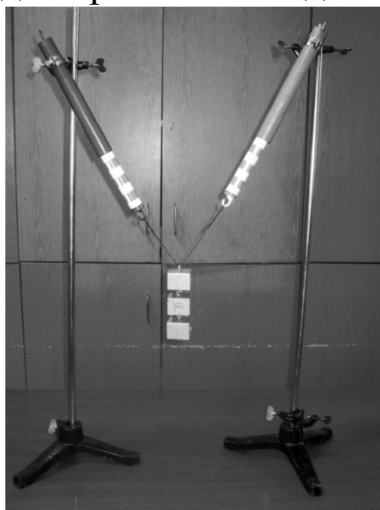
## 2. Додавання сил, що діють на тіло під кутом

**Мета:** Показати, що сили додаються геометрично, і тим самим довести, що сила – векторна величина.

**Обладнання:** набір із статики.

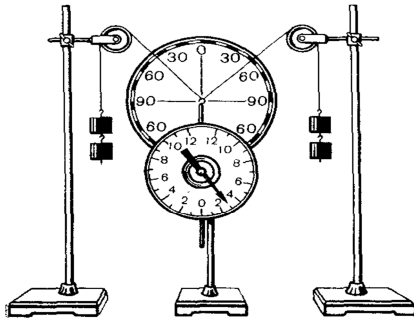
На щиті закріплюють тримач із вставленим у нього штифтом. На штифт надівають пружину і підвішують на неї, наприклад, три гирьки. До кільця пружини прив'язують нитку, перекидають її через блок і відтягують динамометром із силою 2 од. (мал. 3). Положення кільця пружини позначають на щиті крейдою. Звертають увагу учнів на те, що деформація пружини зумовлена дією на неї двох сил: 3 од. і 2 од.

Після цього динамометр знімають, а пружину довантажують ще двома гирьками. Учні переконуються, що кільце пружини в цьому випадку займе попереднє положення. Отже, нова сила 5 од. за своєю дією рівнозначна двом силам: 3 од. і 2 од., тобто є їх рівнодійною.

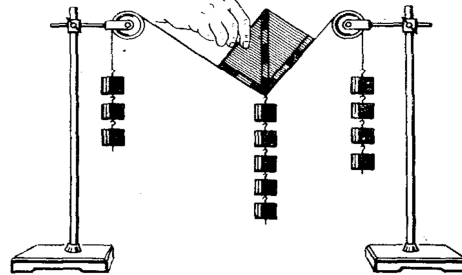


в) **Обладнання:** демонстраційний динамометр з круглим циферблатом, два блоки на стержнях, два штативи з п'ятьма муфтами, стержень металевий від штатива, паралелограм з картону, два набори гирьок з двома крючками (12 шт.), шнур бавовняний завдовжки 1 м.

Складають установку за мал. 4 а. Динамометр закріплюють у муфті штатива. Звертають увагу учнів на те, що на динамометр діють дві сили під кутом, які розтягують пружину динамометра із силою  $4\text{ Н}$ . Пояснюють, що ці дві сили можна замінити однією силою, результат дії якої буде такий самий, і демонструють це (мал. 4 б). Користуючись заздалегідь виготовленими паралелограмами з картону (див. нижче), вивчають явище, з'ясовують природу рівнодійної і зрівноважувальної



Мал. 5



Мал. 6

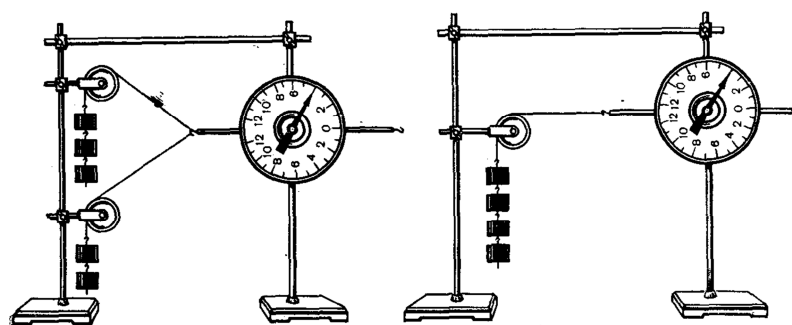
сил. Пересовуючи блоки, змінюють кут між силами і досліджують зміну значення рівнодійної сили.

*а* – вигляд установки під час дії на динамометр складових сил;

*б* – під час дії на динамометр рівнодійної сили.

Установку можна змінити, склавши її за мал. 5. Замість паралелограмів з картону тут використовується диск з приладу для вивчення законів оптики.

Якщо у фізкабінеті немає демонстраційних динамометрів з круглим циферблатом, можна використати установку, зображену на мал. 6. Гачок верхньої гирьки не прив'язують до шнура, а чіпляють за



*а*

*б*

Мал. 4

нього (щоб він міг вільно ковзати по шнурові). Відповідний паралелограм з картону прикладають до шнура і, проаналізувавши результат досліду, роблять висновки.



#### 4. Рівновага твердого тіла, яке має вісь обертання.

##### Момент сили.

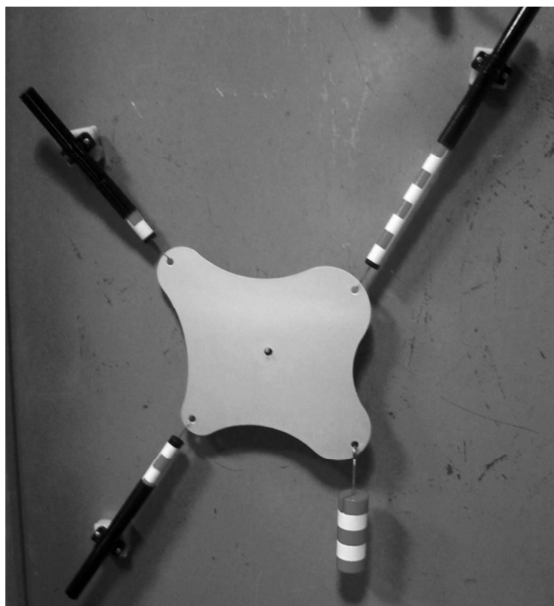
а) *Обладнання:* диск дерев'яний з металевою втулкою для осі, лінійка з кольоровими поділками (або метр демонстраційний), набір гирьок з двома крючками (6 шт.), штатив з двома муфтами і лапкою, висок, шнурки бавовняні завдовжки 50 см (4-5 шт.), вісь для диска, крючки дротяні або шпильки (3-4 шт.).

Дерев'яний диск з металевою втулкою закріплюють на осі в муфті штатива (за вісь можна взяти цвях). Під диском на штативі закріплюють лінійку з кольоровими поділками або демонстраційний метр для визначення плечей сил. До осі диска підвішують висок. У заздалегідь просвердлені отвори вставляють маленькі дротяні крючки або шпильки і підвішують до них певну кількість гирьок. Дослід треба провести 2-3 рази, змінюючи значення сил і плечей.

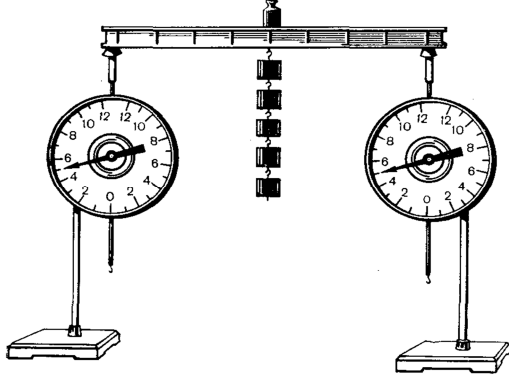
Для того, щоб була можливість змінювати напрям сили, гирьки підвішують до шнурка, перекинутого через блок, закріплений на штативі біля приладу.

Опущений з осі на напрям сили (або його продовження), вимірюють прямокутним косинцем або за допомогою концентричних кіл, накреслених на поверхні диска через однакові відрізки радіуса, як показано на мал. 10.

б) *Обладнання:* набір із статки, демонстраційний метр, вимірювальний циркуль.



На щиті закріплюють пластину і три динамометри так, щоб вони давали покази в цілих одиницях. На пластині позначають крейдою довільну точку  $A$ , відносно якої визначатимуть моменти сил. Для зручності відліку плечей сил через точки прикладання сил проводять прямі, уздовж яких діють сили (у тому числі й сила тяжіння пластини). Перед проведенням досліду пластину зважують, звертають увагу учнів на те, що її центр ваги  $C$  збігається з отвором у її середній частині. За допомогою вимірювального циркуля і демонстраційного метра вимірюють плечі сил. Обчисливши суми моментів сил, що діють за годинниковою стрілкою і проти неї, виводять правило моментів. Дослід бажано повторити для випадків, коли точка, відносно якої визначають моменти



Мал. 12

сил, збігається з точкою прикладання однієї із сил і розміщена поза пластиною.

#### а) Додавання паралельних сил

*Обладнання:* лінійка з кольоровими поділками і бавовняними шнурками на кінцях, два блоки на стержнях, два набори гирьок з двома гачками (12 шт.), два штативи з муфтами.

Дерев'яну лінійку завдовжки 48 см із сантиметровими поділками і дротяними крючками на кінцях підвішують на двох блоках, закріплених у муфтах штативів. Звертають увагу учнів на те, що лінійка зрівноважена двома маленькими гирками, які прив'язані до кінців бавовняних шнурків. На кожний шнурок чіпляють певну кількість гирьок з двома гачками. Зрівноважувальну силу прикладають до вушка дротяного гачка, який охоплює лінійку і може пересуватися вздовж неї.

#### б) Демонстрування правила моментів сил

Пересувають навантажений гачок у бік більшої сили доти, поки не встановиться рівновага. Визначають відстані від точки прикладання рівнодійної до точок прикладання складових сил і встановлюють, що вони обернено пропорційні значенням сил. Повторюють дослід ще 2-3 рази, змінюючи значення сил. Встановлена закономірність щоразу зберігається. Роблять висновки з дослідів і формулюють правило.

*Обладнання:* набір із статики.

До двох пружин підвішують стержень. Двома паралельно розміщеними динамометрами відтягують пружини і позначають крейдою положення кінців стержня. Знімають динамометри, записавши їх покази. Стержень повертають у попереднє положення, діючи на нього одним динамометром. Точку зчеплення динамометра із стержнем підбирають експериментально. Порівнявши значення виміряних динамометрами сил і відстані між точками їх прикладання, виводять правило додавання паралельних сил.

#### в) Розкладання сили на дві паралельні складові

*Обладнання:* динамометри демонстраційні з круглим циферблатом (2 шт.), набір приладів до динамометрів, набір гирьок з двома гачками (6 шт.), гиря 500 г.

Обидва демонстраційні динамометри закріплюють у муфтах штативів і на їх верхні рухомі стержні насаджують дерев'яні призми з набору (мал. 12). На нижній край моделі двотаврової балки (з набору), яку ставлять на призми динамометрів, чіпляють плоский металевий гачок. Стрілки динамометрів встановлюють на нулі. На середину моделі

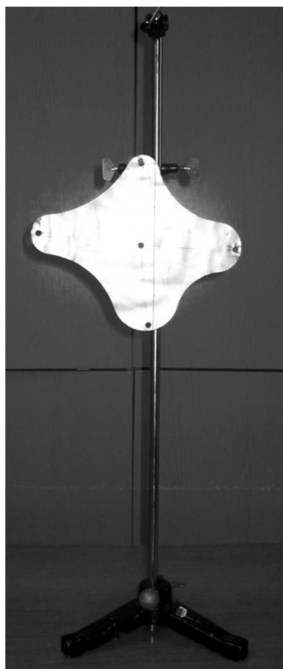
балки ставлять гирю і спостерігають, що динамометри показують однакове навантаження (по  $2,5\text{ Н}$ ). Переставляють гирю в інше місце і констатують, що один з динамометрів показує навантаження, у стільки разів більше, у скільки разів відстань від гирі до нього менша за її відстань від другого динамометра. Роблять відповідні висновки.

Замість гирі можна використати набір гирьок з двома гачками, їх підвішують до гачка на моделі балки. Дослід можна трохи змінити. Замість моделі двотаврової балки на призми динамометрів кладуть тоненьку дощечку, яка імітує ферму моста. За допомогою динамометра визначають вагу іграшкового автомобіля і ставлять його на дощечку над одним з динамометрів. Пояснюють, що динамометр показує вагу автомобіля. Потім пересувають автомобіль уздовж дощечки, стежачи за перерозподілом навантаження між динамометрами. Роблять відповідні висновки.

## 5. Рівновага тіл. Центр ваги і дослідне його визначення.

**Мета:** визначити центр ваги плоскої пластини довільної форми.

**Обладнання:** пластина з жерсті довільної форми, висок, підставка з вістрям для магнітної стрілки, штатив з муфтою і лапкою, набір фігур для демонстрування центра ваги, підйомний столик, лінійка.

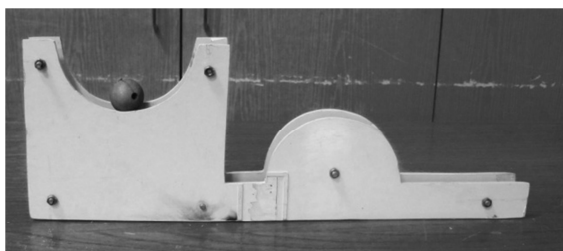


Пофарбовану в чорний колір пластинку довільної форми з прив'язаними в кількох місцях біля краю нитками підвішують за одну з ниток до лапки штатива. Перед пластиною підвішують висок. Прямовисну лінію проводять на поверхні пластини крейдою (її можна заздалегідь помітити білою фарбою). Потім підвішують пластину за другу нитку і проводять на пластині другу лінію. Точка перетину цих ліній є центром ваги тіла. У цьому учні переконуються, встановивши пластину на вістрі підставки для магнітної стрілки (у центрі ваги заздалегідь роблять маленьку заглибину).

Доцільно встановити центр ваги різних геометричних фігур (круга, квадрата, прямокутника, трикутника тощо). Радимо заздалегідь пофарбувати фігури чорною фарбою, нанести на них білою фарбою осі симетрії і в центрі ваги зробити заглибини для встановлення фігур на вістрі підставки.

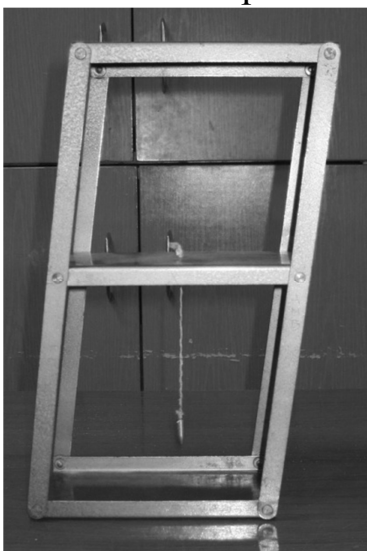
## 6. Демонстрування різних видів рівноваги

**Обладнання:** прилад для демонстрування рівноваги тіла, призма на шарнірах, рівень, кусочки картону.



Щоб продемонструвати різні види рівноваги, зручно скористатися саморобним приладом. Бічні щічки його виготовляють з фанери, органічного скла, гетинаксу тощо. Їх скріплюють трьома гвинтами з гайками на деякій відстані одна від одної, залежно від діаметра наявних кульок.

Для демонстрування стійкої рівноваги, кульку кладуть на середину вгнутої поверхні, трохи відхиляють її від положення рівноваги і звертають увагу на те, що кулька знову повертається в положення рівноваги (рівновага стійка). Потім встановлюють кульку на опуклій поверхні. При найменшому відхиленні від положення рівноваги кулька ще більше віддаляється від нього (рівновага нестійка). На горизонтальній поверхні кулька перебуватиме в рівновазі де завгодно (байдужа рівновага).

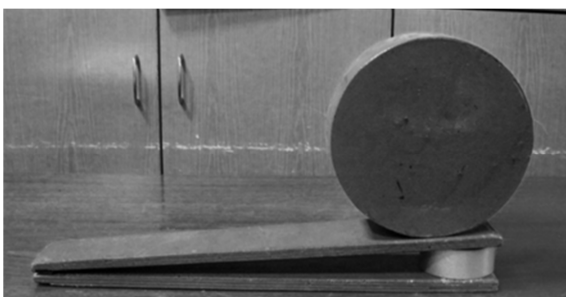


Умови рівноваги тіла, що має площу опори, демонструють за допомогою спеціального приладу. Він складається з трьох чотирикутних пластин, шарнірно з'єднаних у кутах з чотирма тонкими металевими рейками. Призму можна закріпити в будь-якому положенні за допомогою двох затискачів на середній пластинці. До центра ваги призми підвішено маленький висок. Якщо призмі надавати різного нахилу, то можна показати, що вона перебуватиме в стійкій рівновазі доти, поки нормаль з центра ваги перетинає площу її основи.

## 7. Циліндр, що котиться вгору

Діаметр основи циліндра 20 см, висота 5 см.

Циліндр виготовляють з товстого картону. До однієї з основ циліндра



прикріплюють кружечок із свинцю діаметром 5 см і товщиною 0,5 см. Циліндр фарбують у білий колір, а свинцевий кружечок – у чорний. Похила дощечка має розміри 45×8×1 см; її висота нахилу 2,5 см.

На стіл кладуть похилу дощечку, на середину її ставлять циліндр і тримають його в такому положенні (мал. 16).

Циліндр *a* і подвійний конус *б*, що котяться вгору, причому кусочок свинцю повинен бути з боку вчителя. Учні запитують, в який бік покотиться циліндр. Як правило, відповідають, що він покотиться

вниз. Відпускають циліндр. Спочатку він котиться вгору по похилій дощечці. Потім циліндр ставлять на середину дощечки так, щоб кусочок свинцю був знизу. Після цього циліндр залишиться в спокої на похилій дощечці.

Пояснюючи дослід, повертають циліндр на дощечці так, щоб учні бачили кусочок свинцю. Надаючи циліндру різного положення, пояснюють його будову. Кусочок свинцю змінює положення центра ваги циліндра. Якби в першому випадку циліндр покотився вниз, а в другому – у будь-який бік, то його центр ваги піднімався б. А це неможливо.

## 7. Подвійний конус, що котиться вгору



Прилад складається з подвійного конуса, виготовленого з дерева, і похилої площини, яку утворюють дві шарнірно з'єднані дощечки. Демонструючи дослід, підставку приладу встановлюють уздовж демонстраційного стола, похилі

дощечки підставки розсувають, ставлять на їх нижню частину подвійний конус. Він котиться вгору. При цьому його центр ваги опускається вниз. Це можна показати учням, встановивши прилад поперек стола.

## 8. Рівновага сил на простих механізмах

а) *Обладнання:* важіль демонстраційний, набір гирьок з двома гачками (6 шт.), блок на стержні, два штативи з муфтами, шнурок бавовняний завдовжки 50 см, метр демонстраційний.



Рівновагу сил на важелі, точка опори якого міститься між точками прикладання сил, демонструють так. Вісь демонстраційного важеля закріплюють у муфті штатива.

Вивчення на досліді умов рівноваги сил, прикладених до важелів першого *а* і другого *б* роду.

Зрівноважують важіль, переміщуючи гайки на його кінцях. В отвори важеля вставляють дротяні гачки і підвішують до них потрібну для рівноваги кількість гирьок. Дослід повторюють тричі, змінюючи умови. Пояснюють поняття: плече сили, момент сили; правило моментів при рівновазі важеля.

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

### **1. Вивчення умови рівноваги важеля.**

**Мета:** навчитися вимірювати моменти сил і з'ясувати умову рівноваги важеля.

**Обладнання:** штатив, важіль, набір гирьок масою  $100\text{ г}$  з двома гачками, лінійка з поділками, динамометр.

#### **Теоретичні відомості**

Тіло, яке може обертатися навколо закріпленої осі, перебуває в рівновазі, коли сума моментів сил відносно осі обертання, що обертають тіло за годинниковою стрілкою, дорівнює сумі моментів сил відносно тієї ж осі обертання, які обертають тіло проти годинникової стрілки.

Легко сформулювати правило важеля: важіль перебуває в рівновазі, коли діючі на нього сили обернено пропорційні їх плечам.

Опис приладу: Для виконання роботи використовують установку, зображену на мал. 18. Основною її частиною є важіль - дерев'яна рейка з отвором посередині, яку насаджують на горизонтальну вісь, закріплену в штативі. На кінцях важеля є гайки, за допомогою яких його зрівноважують. Гирьки прикріплюють до важеля за допомогою гачків.

#### **Порядок виконання роботи:**

1. Визначити і записати характеристики засобів вимірювання, що використовуються в роботі.

2. Зрівноважити важіль за допомогою гайок на його кінцях і підвісити до нього гирьки по  $100\text{ г}$ , як показано на мал. 18. Пересуваючи їх уздовж важеля, зрівноважити його.

3. Виміряти значення сили, яка діє на важіль проти годинникової стрілки і за годинниковою стрілкою, а також значення їх плечей.

4. Результати вимірювань записати в таблицю. Похибками вимірювання сил  $F_1$  і  $F_2$  знехтувати. Це можливо, коли відносні похибки вимірювання сил значно менші, ніж похибки вимірювання їхніх плечей.

#### **Обробка результатів експерименту:**

1. Обчислити значення моменту дій сил відносно осі обертання із строгим обліком похибок.

2. Порівняти значення, зробити висновки. Обчислити відносну похибку вимірювань, на основі яких зроблено висновки.

**Примітка:** Межа інструментальної похибки гирьок масою  $100\text{ г}$  з двома гачками наближено дорівнює  $3\text{ г}$ .

## 2. Знаходження центра мас (тяжіння) плоских пластин.

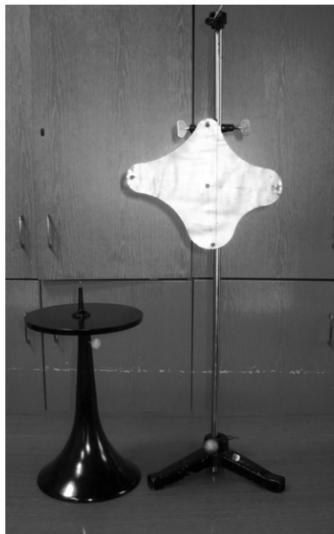
**Мета:** навчитися визначати координати центра мас плоских пластин.

**Обладнання:** лінійка, плоскі пластини (3 шт.), висок, шпилька з великою головкою на пробці, штатив з муфтою і затискачем.

### Теоретичні відомості

Центром мас називають точку перетину прямих, уздовж яких повинні бути напрямлені сили, що спричиняють поступальний рух тіла. Під час вільного падіння сила тяжіння надає всім частинкам тіла однакового прискорення і тіло рухається поступально. На підставі цього, можна зробити висновок, що при будь-якому положенні тіла, рівнодійна сил тяжіння, прикладених до всіх частин тіла, проходить через його центр мас. Тому центр мас тіла називають і центром тяжіння тіла.

Якщо на тіло, яке має нерухому вісь обертання, діють лише сила тяжіння і реакція осі, то в рівновазі воно буде за умови, що момент рівнодійної сил тяжіння відносно осі обертання дорівнює нулю.



Це можливо, коли напрям рівнодійної сил тяжіння проходить через вісь. Цим і користуються під час визначення центра мас плоских пластин. Оскільки сила тяжіння напрямлена вертикально, то знаходження центра мас плоскої пластини зводиться до визначення двох вертикальних напрямків на пластині, які проходять через осі обертання, коли пластина перебуває в рівновазі.

Опис приладу: Для визначення центра мас плоских пластин потрібний набір їх. Кожна пластина має свій номер, і на ній нанесено координатні осі, відносно яких слід знайти її центр маси. До штатива разом з пластиною підвішують висок – металеву кульку на нитці для визначення вертикального напрямку.

### Порядок виконання роботи:

1. Закріпити в затискачі штатива пробку. За допомогою шпильки, яку треба вколоти в пробку, підвісити плоску пластину №1 за один із отворів. На шпильку надіти петельку нитки-виска. Коли висок прийде в стан спокою, відмітити положення нитки виска на нижньому краї пластини (мал. 19). Після цього, зняти пластинку і провести пряму через точку підвісу і мітку. Повторити дослід, підвісивши пластину за інший отвір. Точка перетину ліній буде шуканим центром мас.

2. Зрівноважити пластину на вістрі шпильки. Переконатися, що точка опори пластини збігається із знайденим центром мас.

3. Виміряти і записати координати центра мас плоскої пластини відносно осей координат, нанесених на пластині. Вказати номер пластини.

## **Лабораторна робота № 15**

### **Закони збереження**

**Мета:** оволодіти методикою і технікою постановки демонстрацій з теми „Закони збереження”. Виконати шкільні лабораторні роботи, передбачені програмою.

**Завдання I.** Повторити за шкільними та вузівськими підручниками питання, що стосуються законів збереження.

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

#### **1. Рівність робіт при використанні важеля і рухомого блока**

**Мета:** перевірка відсутності виграшу в роботі під час піднімання вантажу важелем і рухомих блоком.

**Обладнання:** важіль демонстраційний, рухомий блок, динамометр, метр демонстраційний, набір гирьок масою  $100\text{ г}$  з двома гачками, нитка, штатив універсальний.

1. Складають установку. Спочатку важіль зрівноважують тягарцями, так щоб він розмістився горизонтально. Відмічають початкове положення плечей і положення точок прикладання сил. Обчислюють роботу, виконану силами. Переконаються в рівності цих робіт.

Таким чином, користуючись важелем, не дістають виграшу в роботі. Можна виграти або в силі, або у відстані. В скільки разів виграємо в силі, в стільки разів програємо у відстані.

2. Складають установку. До звислого кінця нитки, перекинutoї через нерухомий блок, прикріплюють динамометр. Відмічають початкове положення рухомого блока з вантажем і динамометра. Потім динамометр рівномірно переміщують на деяку відстань вниз з таким зусиллям, щоб його покази лишалися сталими. За цей час рухомий блок з вантажем підніметься лише на половину відстані, на яку опустили динамометр. Обчислюють роботу, виконану кожною силою. Переконаються в тому, що ці роботи рівними між собою. Отже, рухомий блок дає виграш у силі в два рази і програш у переміщенні в два рази. Виграшу в роботі не дає.

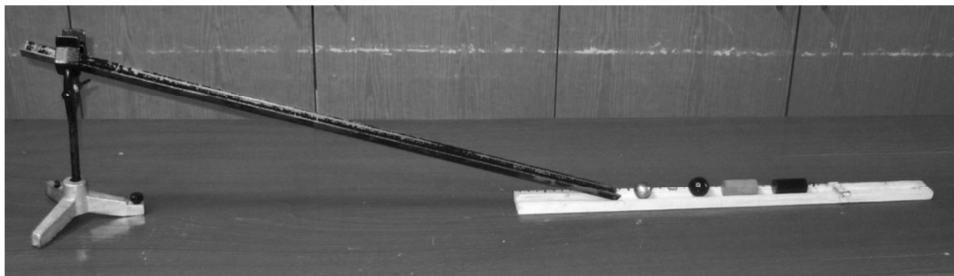


## 2. Виконання роботи за рахунок кінетичної енергії тіла.

### Кінетична енергія кульки, що скочується по жолобу.

**Мета:** показати, що робота виконується тоді, коли змінюється кінетична або потенціальна енергія системи тобто:  $A = \Delta E_k$  і  $A = \Delta E_n$ .

**Обладнання:** довгий жолоб або довга гладенька дошка, клин або підставка, кусок фанери, брусок або циліндр з дерева, металеві кульки різної маси, штатив.



Під певним кутом до горизонту встановлюють довгий жолоб

(або дошку). Його продовженням у горизонтальному напрямі є другий жолоб або дошка з брусом.

Одну кулю кладуть на похилий жолоб і відпускають. Скочуючись, вона вдаряє брусок і переміщує його на певну відстань  $S$ , тобто виконує роботу.

Повторюють дослід, трохи збільшивши кут нахилу жолоба до горизонту. У цьому випадку швидкість руху кульки зростає, оскільки збільшилася висота її підняття, а отже, і потенціальна енергія, яка перетворюється у кінетичну, коли кулька скочується без тертя.

Повторюють дослід з іншими кульками. Зменшують і збільшують кут нахилу жолоба до горизонту. Кульки, ударяючи брусок, переміщують його на ту чи іншу відстань. Кінетична енергія кульок витрачається на виконання роботи при переміщенні бруска. Вона залежить від швидкості руху і маси кульки.

## 3. Закон збереження імпульсу

**Мета:** показати, що в ізольованій системі тіл векторна сума імпульсів взаємодіючих тіл залишається сталою.

Дослід полягає в тому, що на біфілярних підвісах підвішують декілька стальних кульок однакових мас. Першу з них відводять в сторону і відпускають її. Після удару відхиляється остання кулька ряду і піднімається на таку ж приблизно висоту. Якщо відхилити перші дві кульки, то після удару відхиляться дві останні, а решта залишаються нерухомими.

## 4. Реактивний рух

**Мета:** пояснити принцип роботи і будову реактивних двигунів.

**Обладнання:** лійка скляна, трубка гумова, наконечник скляний Г-подібний, штатив учнівський, модель ракети з пусковим пристроєм, насос ручний.



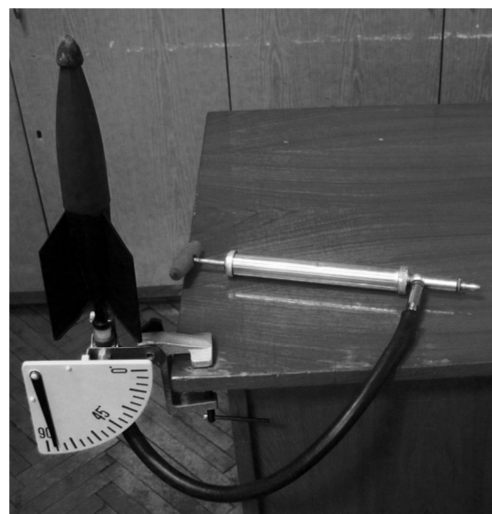
1. Скляну лійку з гумовою трубкою (мал. 1) і Г-подібним наконечником вставляють в кільце штатива і підставляють кювету. Наливаючи у лійку воду, звертають увагу на відхилення трубки в сторону, протилежну напрямку витікання води.

2. Перед запуском ракети через лійку наливають в неї біля 60 мл води. Після цього в отвір ракети вставляють трубку пускового пристрою і скріплюють їх між собою скобою. З'єднують насос з пусковим пристроєм, повертають її головною частиною вгору і накачують в корпус ракети повітря (15-20 накачувань).

3. Після накачування повітря придержують насос у вертикальному положенні (мал. 2), і тягнуть за шнурок пускової скоби.

Ракета з великою швидкістю рухається вгору, і досягнувши висоти 35-40 м, падає, тому запускати ракету потрібно на вулиці.

Якщо запустити ракету на відкритому місці не можна, потрібно показати реактивний рух ракети під дією стиснутого повітря. В цьому випадку роблять так, як було сказано вище, але воду в прилад не наливають. Ракета піднімається на висоту 1-1,5 м.



## 5. Перехід потенціальної енергії в кінетичну і навпаки

**Мета:** продемонструвати взаємоперетворення потенціальної і кінетичної енергії.

Вантаж, підвішений на нитці до рамки класної дошки, відхилити на кут 45 градусів. Спостерігають його коливання в площині, паралельній дошці. Потім крейдою на дошці відмічають його нижнє і верхнє положення. Через ці мітки проводять горизонтальні прямі. Потім відхиляють вантаж до відміченого верхнього рівня і відпускають його. Вантаж, пройшовши через нижнє положення, знову досягає попереднього рівня.

Дослід повторюють, але в площині коливання маятника встановлюють деяку перешкоду. Показують, що в цьому випадку нитка огинає перешкоду, а вантаж знову піднімається на попередню висоту.

## 6. Залежність тиску газу від швидкості його течії



**Мета:** показати справедливість теоретично одержаних співвідношень.

**Обладнання:** повітродувка, кулька для гри в настільний теніс.

Встановити повітродувку вихідним отвором вертикально вгору (мал. 3). Електричний двигун ввімкнути спочатку не на повне число обертів. У встановлений повітряний потік внести кульку на деякій відстані від вихідного отвору і відпустити її. Кулька висить в повітряному потоці. Потім повільно пересунути всю установку з повітродувкою на столі. Кулька

слідє за потоком.

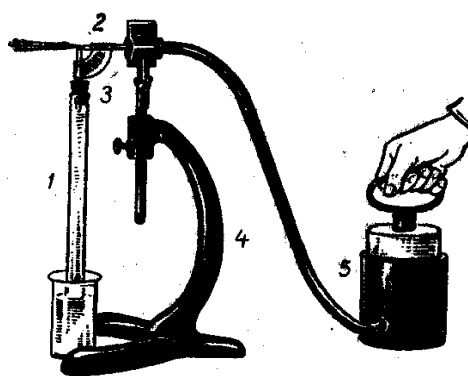
## 7. Пульверизатор і водоструминні насоси

**Мета:** розглянути будову і принцип роботи пульверизатора і водоструминного насоса.

**Обладнання:** пульверизатор демонстраційний, модель водоструминного насоса, проекційний апарат, склянка з водою, циліндр для демонстрації пружності газів, гумові трубки, гумова груша від гігрометра, скляні трубки.

1. Пульверизатор (мал. 4) складається з скляних трубок 1 і 2, які з'єднані під прямим кутом за допомогою простого тримача 3. Широка вертикальна трубка має зверху скляний відтягнутий наконечник. Горизонтальна трубка закріплюється в лапці штатива.

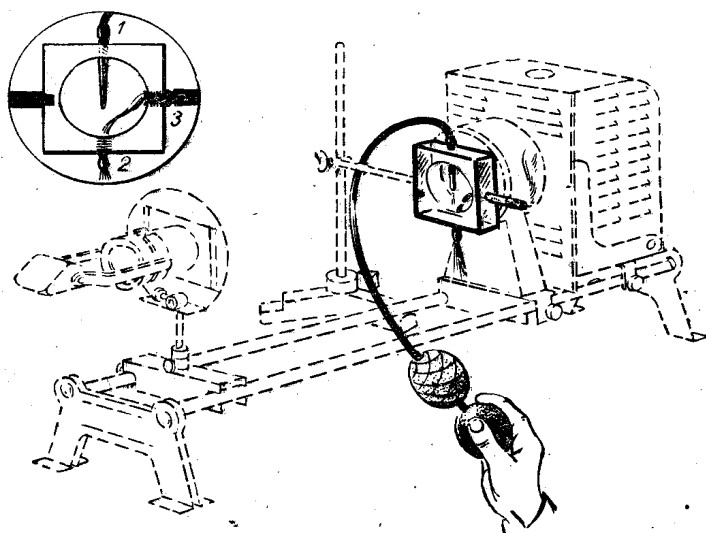
При русі поршня вниз виникає досить сильний потік повітря, який викидається з горизонтальної трубки. В результаті, над виступаючим вертикальної трубки виникає тиск. Вода піднімається до верху (висота 15-20 см), повітряним потоком і розпилюється 2. Модель водоструминного насоса виготовлена із прозорої органічного скла і призначена проектування на екран.



трубки. В кінці понижений самого втягується

(мал. 5), пластинки для

Мал. 4



Мал. 5

Складають установку зображену на мал. 5. Потім, використавши як індикатор дим, показують дію приладу. Для цього повільно продувають повітря гумовою грушею через вхідний ніпель 1. На екрані добре видно, як дим надходить через ніпель 3 в камеру, а потім захвачується повітряним потоком і виходить назовні.

Потім демонструють дію того ж насоса з струменем води і манометром. Склянку з водою встановлюють на столику, який закріплюється у муфті на стержні штативу, закріпленою на столику. На вихідний ніпель надівають гумову трубку і спрямовують її в кювету. До ніпеля 3 насоса приєднують манометр. Відкривають кран і пускають воду. Манометр показує пониження тиску, яке може досягати *10-15 см вод.ст.*

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

### 1. Порівняння роботи сили пружності із зміною кінетичної енергії тіла

**Обладнання:** штатив для фронтальних робіт – 2 шт., динамометр технічний, кулька, нитки, лінійка вимірвальна, терези технічні з штативом, гирі ГЧ-210.

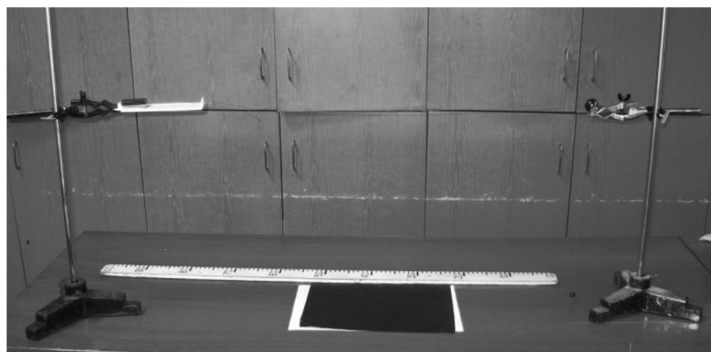
#### Теоретичні відомості

Теорема про кінетичну енергію твердить, що робота сили, прикладеної до тіла, дорівнює зміні кінетичної енергії тіла:

$$A = E_{k_1} - E_{k_2} = \Delta E.$$

Для експериментальної перевірки цього твердження можна скористатись установкою, яку зображено на мал. 1.

У лапці штатива закріплюють горизонтально динамометр. До його гачка



прив'язують кулю на нитці завдовжки 60-80 см. На другому штативі на такій самій висоті, як і динамометр, закріплюють лапку. Встановивши кулю на краю лапки, штатив разом з кулею відсувають від першого штатива на таку відстань, щоб на кулю діяла сила пружності з боку пружини динамометра. Після цього кулю відпускають. Під дією сили пружності кулька набуває швидкості  $v$ , а її кінетична енергія змінюється від 0 до  $\frac{mv^2}{2}$ . Отже,  $\Delta E_k = \frac{mv^2}{2}$ .

### Порядок виконання роботи:

1. Закріпити на штативах динамометр і лапку для кульки на однаковій висоті  $H=40$  см від поверхні столу. Зачепити гачком динамометра нитку з прив'язаною кулею.

2. Тримавши кулю на лапці, відсувати штатив доти, поки показ динамометра дорівнюватиме  $2H$ . Відпустити кулю з лапки і позначити місце її падіння на столі.

3. Виміряти масу кулі за допомогою терезів і обчислити зміну кінетичної енергії кулі під дією  $F_{np}$ :

$$\Delta E_k = \frac{mv^2}{2} = \frac{mS^2 g}{4H}.$$

4. Виміряти деформацію пружини динамометра  $x$  і обчислити роботу розтягу пружини за формулою:

$$A = F_{прс} x = \frac{1}{2} F_{пр1} x.$$

5. Оцінити межі похибки обчислення значень зміни кінетичної енергії і роботи сили пружності.

6. Порівняти знайдені значення роботи  $A$  сили пружності і зміни кінетичної енергії  $\Delta E_k$  кульки. Зробити висновок.

## 2. Дослідження залежності потужності на валу електродвигуна від навантаження

*Обладнання:* прилад для визначення потужності електродвигуна, секундомір, штангенциркуль, джерело постійного струму напругою 40 В.

### Теоретичні відомості

Прилад для визначення потужності електродвигуна змонтовано на панелі 1. Він складається з електродвигуна 2, металевого стояка 3 з поздовжнім прорізом, по якому можна пересувати планку 4 з закріпленим на ній динамометром, тримача з лічильником числа обертів 5 і пускового реостата 6, на валу електродвигуна закріплений дерев'яний шків 7. Шків охоплює гальмівна стрічка.

При вмиканні електродвигуна шків починає обертатись і між ним і гальмівною стрічкою виникає сила тертя. Під дією цієї сили стрічка захоплюється шківом в сторону обертання, і покази одного динамометра стають більшими, ніж другого. Різниця показів динамометрів рівна силі тяги двигуна. Робота цієї сили за один оберт виражається так:

$$A = \pi D F,$$

де  $A$  – робота, яка виконується електродвигуном за один оберт;  $D$  – діаметр шківа;  $F$  – сила тяги електродвигуна.

Якщо шків робить за  $t$  секунд  $n$  обертів, то потужність, яку розвиває електродвигун на шківі, буде рівна

$$N = \frac{\pi D F n}{t} = \frac{2\pi n}{t} \cdot R F = \omega R \cdot F.$$

Діаметр шківа вимірюють штангенциркулем. Число обертів шківа визначають за допомогою лічильника, час – секундоміром, силу тяги – за різницею показів динамометра.

#### Порядок виконання роботи:

1. Підготуйте в зошиті таблицю для запису результатів вимірювань і обчислень:

Номер досліду	1	2	3	4	5	6	7
Покази лівого динамометра, $H$							
Покази правого динамометра, $H$							
Сила тяги, $H$							
Число обертів двигуна, $n$							
Час, $t$							
Кутова швидкість, $c^{-1}$							
Потужність, $Вт$							

2. Ознайомтесь з будовою приладу і підготуйте його до виконання роботи. Для цього планку з динамометром опустити вниз, щоб покази динамометра були на нулі. Лічильник обертів з'єднати з валом електродвигуна.

3. Виміряйте і запишіть діаметр шківа.

4. Приєднайте електродвигун до джерела постійного струму  $40\text{ В}$ . Після цього підняти динамометр і натягнути стрічку так, щоб динамометр, який вимірює більшу силу, показував  $0,3\text{ Н}$ . Запишіть покази другого динамометра.

5. Визначити час, протягом якого шків електродвигуна робить  $100$  обертів. Результат записати в таблицю.

6. Дослід повторіть 5-6 разів, збільшуючи щоразу натяг гальмової стрічки приблизно на  $0,3\text{ Н}$ .

7. Для кожного навантаження визначити кутову швидкість шківа і відповідно потужність електродвигуна.

8. Побудувати графік залежності механічної потужності електродвигуна від кутової швидкості обертання його якоря.

З графіка визначити, при якому навантаженні електродвигун розвиває найбільшу потужність.

## Список літератури до лабораторного практикуму з методики і техніки шкільного фізичного експерименту

1. Анцферов Л.И., Пищиков И.М. Практикум по методике и технике школьного физического эксперимента. – М.: Просвещение, 1984. – 225 с.
2. Демонстрационный эксперимент по физике в средней школе: Пособие для учителей. /Под ред. А.А. Покровского. Ч.1. Механика, молекулярная физика, основы электродинамики. – М.: Просвещение, 1973. – 351 с.
3. Демонстрационный эксперимент по физике в средней школе: Пособие для учителей. /Под ред. А.А. Покровского. Ч.2. Колебания и волны. Оптика. Физика атома. – М.: Просвещение, 1979. – 287 с.
4. Демонстрационные опыты по физике в 6-7 классах средней школы. /Под ред. А.А. Покровского. – М.: Просвещение, 1974. – 272 с.
5. Коршак Є.В., Миргородський Б.Ю. Методика і техніка шкільного фізичного експерименту: Практикум. – К.: Вища школа, 1981. – 280 с.
6. Марголис А.А. и др. Практикум по школьному физическому эксперименту: Учеб. пособие для студентов физ.-мат. фак. пед. ин-тов. – 3-е изд., перераб. – М.: Просвещение, 1977. – 304 с.
7. Миргородський Б.Ю., Шабаль В.К. Демонстраційний експеримент з фізики: Механіка: Посібник для вчителів. – К.: Рад. школа, 1980. – 140 с.
8. Миргородський Б.Ю., Шабаль В.К. Демонстраційний експеримент з фізики: Молек. фізика: Посібник для вчителів. – К.: Рад. школа, 1982. – 140 с.
9. Мисечко Є.М. Навчальний фізичний експеримент в школі: Посібник для студентів і вчителів. – Житомир, 1995. – 117 с.
10. Гайдучок Г.М., Нижник В.Г. Фронтальний експеримент з фізики в 7-11 класах середньої школи: Посібник для вчителя. – К.: Рад. школа, 1989. – 175 с.
11. В.А. Буров и др. Практикум по физике в средней школе: Дидакт. материал. /Под ред. А.А. Покровского. 2-е изд. – М.: Просвещение, 1982. – 192 с.



12. Практикум з фізики в середній школі: Дидакт. матеріал: Посібник для вчителя /За ред. В.О. Бурова, Ю.І. Діка. – К.: Рад. школа, 1990. – 176 с.
13. Миргородський Б.Ю., Шабаль В.К. Демонстраційний експеримент з фізики. Електродинаміка: Посібник для вчителів. – К.: Радянська школа, 1983. – 176 с.
14. Миргородський Б.Ю., Шабаль В.К. Демонстраційний експеримент з фізики. Коливання і хвилі: Посібник для вчителів. – К.: Радянська школа, 1985. – 168 с.
15. Фронтальные лабораторные занятия по физике в средней школе: Пособие для учителей. /Под ред. А.А. Покровского. 2-е изд., перераб. – М.: Просвещение, 1974. – 208 с.
16. Чепуренко В.Г., Нижник В.Г., Гайдучок Г.М. Лабораторні роботи з фізики у 8-10 класах: Посібник для вчителів. – К.: Радянська школа, 1976. – 248 с.
17. Шульга М.С. Методика і техніка демонстраційних дослідів з фізики у 6 і 7 класах: Посібник для вчителів. – К.: Рад. школа, 1977. – 192 с.
18. Абдурахманов С.Д. Исследовательские работы по физике в 7-8 классах сельских школ: Книга для учителя. – М.: Просвещение, 1990. – 112 с.
19. Буров В.А. и др. Фронтальные экспериментальные задания по физике в 6-7 классах средней школы: Пособие для учителей. – М.: Просвещение, 1981. – 112 с.
20. Буров В.А. и др. Фронтальные экспериментальные задания по физике, 8 класс: Пособие для учителя. – М.: Просвещение, 1985. – 64 с.
21. Грабовский М.А. и др. Лекционные демонстрации по физике. /Под ред. В.И. Ивероновой. – М.: Наука, 1965. – 572 с.
22. Клос С.С. та ін. Лабораторний практикум з фізики. – Львів: Університет, 1973. – 168 с.
23. Клос С.С. та ін. Фізика: Практикум. – Львів: Вища школа, 1989. – 192 с.
24. Коршак Є.В. Коливання і хвилі. – К.: Рад. школа, 1974. – 120 с.
25. Сергеев А.В. Наблюдения учащихся при изучении физики на первой ступени обучения: Пособие для учителей. – К.: Рад. школа, 1987. – 152 с.

26. Сергеев А.В. Наблюдения учащихся при изучении физики на второй ступени обучения: Пособий для учителей. – К.: Рад. школа, 1988. – 176 с.

27. Терентьев М.М. Демонстрационный эксперимент по физике в проблемном обучении: Пособие для учителей. – М.: Просвещение, 1978. – 104 с.

28. Учебное оборудование по физике в средней школе: Пособие для учителей. /Под ред. А.А. Покровского. – М.: Просвещение, 1973. – 480 с.

29. Хорошавин С.А. Техника и технология демонстрационного эксперимента: Пособие для учителей. – М.: Просвещение, 1978. – 174 с.

30. Хорошавин С.А. Физический эксперимент в средней школе: 6-7 классы. – М.: Просвещение, 1988. – 175 с.

31. Цілико М.Г. Виготовлення і використання модульної системи електронних вимірювальних приладів у навчальному експерименті з фізики: Методичні рекомендації. – Житомир: ЖДПІ, 1988. – 56 с.

32. Шамало Т.Н. Учебный эксперимент в процессе формирования физических понятий: Книга для учителя. – М.: Просвещение, 1986. – 96 с.

33. Шахмаев Н.М., Каменецкий С.Е. Демонстрационные опыты по электродинамике: Пособие для учителей. – М.: Просвещение, 1973. – 352 с.

34. Шахмаев Н.М., Шилов В.Ф. Физический эксперимент в средней школе. – М.: Просвещение, 1989. – 255 с.

35. Шахмаев Н.М., Павлов Н.И., Тыщук В.И. Физический эксперимент в средней школе: Колебания и волны. Квантовая физика. – М.: Просвещение, 1991. – 223 с.

36. Шилов В.Ф. Техника безопасности в кабинете физики: Пособие для учителей. – М.: Просвещение, 1979. – 80 с.

37. Шульга М.С. Молекулярна фізика і термодинаміка в демонстраційних дослідах. – Ж.: Рад. школа, 1974. – 176 с.

