

Міністерство освіти і науки України  
ДВНЗ „Криворізький національний університет”  
Криворізький педагогічний інститут  
Фізико-математичний факультет  
Кафедра фізики та методики її навчання

В. П. Ржепецький

**ПРАКТИКУМ З МЕТОДИКИ І ТЕХНІКИ  
ДЕМОНСТРАЦІЙНОГО ЕКСПЕРИМЕНТУ  
В КУРСІ ФІЗИКИ СЕРЕДНЬОЇ ШКОЛИ**

Кривий Ріг – 2015

УДК 373.5.016:53(075.8)(076.8)

ББК 74.202.5:22.3я73

P48

Ржепецький В. П. Практикум з методики і техніки демонстраційного експерименту в курсі фізики середньої школи : посібник для студ. фіз.-мат. факультетів / В. П. Ржепецький. – Кривий Ріг : КПІ ДВНЗ «КНУ», 2015. – 244 с.

**Автор:** Ржепецький В. П. – кандидат фізико-математичних наук, доцент кафедри фізики та методики її навчання Криворізького педагогічного інституту ДВНЗ «Криворізький національний університет».

**Рецензенти:** Величко С. П. – доктор педагогічних наук, професор кафедри фізики та методики її викладання Кіровоградського педагогічного університету імені Володимира Вінніченка.

Шарко В. Д. – доктор педагогічних наук, професор, завідувач кафедри фізики та методики її навчання Херсонського державного університету.

Теплицький І. О. – кандидат педагогічних наук, доцент кафедри інформатики і прикладної математики Криворізького педагогічного інституту ДВНЗ «Криворізький національний університет».

*Рекомендовано до друку*

*Вченою радою Криворізького педагогічного інституту  
ДВНЗ „Криворізький національний університет”*

*Протокол № 10 від 14.05.2015 р.*

## ЗМІСТ

Передмова . . . . .	4
Вступ . . . . .	5
<b>Частина 1. Загальне обладнання фізичного кабінету . . . . .</b>	<b>7</b>
Лабораторна робота № 1. Будова і дія насосів . . . . .	7
Лабораторна робота № 2. Електровимірювальні прилади . . . . .	17
Лабораторна робота № 3. Трансформатори . . . . .	27
Лабораторна робота № 4. Випрямлячі . . . . .	37
Лабораторна робота № 5. Електророзподільне обладнання . . . . .	47
<b>Частина 2. Демонстрації з механіки . . . . .</b>	<b>58</b>
Лабораторна робота № 1. Загальне обладнання до демонстрацій з механіки . . . . .	58
Лабораторна робота № 2. Кінематика. Відносність механічного руху . . . . .	68
Лабораторна робота № 3. Динаміка . . . . .	77
Лабораторна робота № 4. Статика . . . . .	85
Лабораторна робота № 5. Закони збереження . . . . .	93
Лабораторна робота № 6. Механічні коливання . . . . .	101
Лабораторна робота № 7. Механічні хвилі . . . . .	110
<b>Частина 3. Демонстрації з тем «Молекулярна фізика і термодинаміка» та «Електричне поле. Постійний електричний струм» . . . . .</b>	<b>117</b>
Лабораторна робота № 1. Основи молекулярно – кінетичної теорії та термодинаміки . . . . .	117
Лабораторна робота № 2. Властивості газів, рідин і твердих тіл . . . . .	125
Додаток 1 до роботи № 2. Спостереження за ростом кристалу . . . . .	137
Додаток 2 до роботи № 2. Вирощування кристалів . . . . .	139
Лабораторна робота № 3. Електричне поле . . . . .	142
Лабораторна робота № 4. Постійний електричний струм. Закон Ома . . . . .	158
Лабораторна робота № 5. Електричний струм в середовищах . . . . .	168
<b>Частина 4. Демонстрації з тем «Електромагнітні коливання і хвилі» та «Хвильова оптика і квантова фізика» . . . . .</b>	<b>182</b>
Лабораторна робота № 1. Магнітне поле . . . . .	182
Лабораторна робота № 2. Електромагнітні коливання . . . . .	194
Лабораторна робота № 3. Електромагнітні хвилі . . . . .	204
Лабораторна робота № 4. Хвильові властивості світла . . . . .	213
Лабораторна робота № 5. Квантові властивості світла. Будова атома . . . . .	226
Рекомендована література . . . . .	244

## Передмова

Основою викладання фізики в школі є навчальний експеримент, складовими частинами якого є демонстраційний експеримент, лабораторні роботи і роботи фізичного практикуму, фронтальні досліди та експериментальні задачі. Навчальний експеримент одночасно є джерелом знань, методом навчання і засобом наочності у навчанні фізики. У формуванні правильних уявлень про фізичні явища та закони найважливішу роль має демонстраційний експеримент – досліди, які виконує вчитель при поясненні нового матеріалу. Демонстраційні досліди роблять пояснення вчителя більш зрозумілими і переконливішими, сприяють появі інтересу до предмету.

Методика і техніка демонстраційного експерименту детально описана в [1, 2, 3, 8], проте ці книги видані більш ніж 30 років тому і для молодих учителів є малодоступними. Деяка коротка інформація про демонстраційні досліди міститься в заводських інструкціях до приладів, але нерідкі ситуації, коли прилад в кабінеті є, а інструкції немає. Крім того, з'явилося нове обладнання і нові прилади, які успішно використовуються в фізичному експерименті.

Все це спонукало написати посібник для студентів фізико-математичного факультету педагогічного університету, що навчаються за напрямом підготовки 6.040203 Фізика\*, який містив би детальний опис приладів та обладнання, рекомендації з їх експлуатації та обслуговування, опис демонстрацій, що ґрунтувалися б на реально виконаних дослідах. При написанні посібника використаний багаторічний досвід укладача з викладання фізики в середній школі.

Курс «Методика і техніка демонстраційного експерименту» входить до складу дисципліни «Методика навчання фізики», яка відноситься до професійно-педагогічної підготовки студентів. За навчальним планом на курс відводиться 68 годин лабораторних занять у 6 семестрі.

Орієнтування на лабораторний практикум вимагало певного обмеження в часі, який відводиться на виконання лабораторних робіт. Проте, на наш погляд, у посібнику охоплено всі найважливіші демонстрації, що ілюструють шкільний курс фізики.

Практикум складається з чотирьох частин. У першій частині студенти знайомляться з загальним обладнанням фізичного кабінету, в другу частину увійшли демонстраційні досліди з механіки. Третю частину складають демонстрації з молекулярної фізики і термодинаміки, електростатики та з постійного електричного струму. Завершує посібник четверта частина, в якій описані демонстрації з магнетизму, хвильової та квантової оптики.

При підготовці посібника автор враховував обладнання, яким укомплектовано в даний час фізичні кабінети шкіл. Всі описані досліди виконані під час проведення занять на фізико-математичному факультеті Криворізького педагогічного інституту ДВНЗ «Криворізький національний університет». Значна їх кількість виконувалась на уроках фізики в Криворізькому обласному ліцеї-інтернаті для сільської молоді та була представлена на семінарах вчителів фізики м. Кривого Рогу.

В описаннях демонстрацій наведено окремі рекомендації з методики і техніки їх виконання.

## Вступ

Переважна кількість фізичних явищ і закономірностей, які вивчаються в школі на уроках фізики, не може бути гарно засвоєна учнями без ретельно розробленої системи демонстраційних дослідів. Крім формування в учнів уявлень про явища, процеси і закони, демонстраційний експеримент готує учнів до самостійних експериментів, які вони виконують на лабораторних роботах і роботах фізичного практикуму.

Демонстраційний експеримент повинен бути органічно пов'язаний з вивченням навчального матеріалу на уроці. В зв'язку з цим час, витрачений на демонстрацію, не повинен бути значним, тому більшість демонстраційних експериментів мають якісний характер. Проте в окремих випадках лише кількісні розрахунки можуть переконати учнів у справедливості тих чи інших закономірностей. Кількісний демонстраційний експеримент повинен бути обов'язково заздалегідь підготовлений і апробований вчителем в ході підготовки до уроку.

Техніка демонстрування повинна забезпечити максимальний ефект досліду і його найкраще сприйняття учнями при дотриманні правил техніки безпеки. Демонстраційні прилади і обладнання повинні бути простими, їх конструкція повинна забезпечувати гарні умови спостереження навіть з останніх столів кабінету. Розташовуючи прилади на демонстраційному столі, учитель повинен використовувати підставки, екрани, ширми, освітлювачі. На демонстраційному столі не повинно бути обладнання, яке не використовується в даній демонстрації. З цієї точки зору демонстраційний стіл фізичного кабінету повинен зі сторони вчителя мати полиці для розташування приладів, які вже були використані на уроці чи будуть потрібні в наступній демонстрації.

Якщо демонстраційна установка розташована горизонтально, то під час виконання демонстрації слід використовувати велике плоске дзеркало, розташувавши його під кутом  $45^\circ$  до площини приладу. При демонстрації об'єктів малих розмірів треба використовувати діапроекцію або з допомогою мультимедійного обладнання показувати паралельно з дослідом фотографії явищ, які демонструються.

Місце демонстраційного досліду визначається методикою вивчення нового навчального матеріалу. При евристичному методі ведення уроку бесіда вчителя повинна підвести учнів до питання, відповідь на яке дає демонстраційний експеримент. Проте в деяких випадках дослід може бути поставлений до бесіди з метою створення певної проблемної ситуації, яка буде вирішена в ході уроку.

У багатьох випадках демонстраційний експеримент виконують після теоретичного пояснення фізичних закономірностей. Такий експеримент є ілюстрацією даної закономірності. Іноді буває доцільно показати демонстрацію двічі: один раз на початку уроку з метою створення проблемної ситуації, а другий раз – після пояснення вчителем даного явища.

Обов'язковою умовою будь-якої демонстрації є дотримання правил техніки безпеки. Під час роботи з електричними установками, джерелами тепла

та випромінювання, з хімічними реактивами необхідно дотримуватись заходів, що забезпечують безпеку виконання дослідів і виключають механічні пошкодження, опіки, ураження електричним струмом та інші травми людини. Ураження електричним струмом можливе не тільки при значній напрузі. Важливою є сила струму: струм 0,1 А може бути смертельним.

Збираючи електричні кола слід дотримуватися наступних правил:

- з'єднувальні провідники повинні мати наконечники, забезпечені запобіжними ізоляційними чохлами, і не пошкоджену ізоляцію.
- складання і розбирання електричного кола треба виконувати лише при вимкненому джерелі живлення.
- збираючи електричні кола, слід уникати перетинів провідників.
- не можна доторкатися до елементів кола, на яких немає ізоляції і які перебувають під напругою; не можна доторкатися до затискачів вимкненого конденсатора.
- при виявленні несправності слід негайно вимкнути джерело живлення.
- вмикати джерело живлення зібраної електричної схеми можна лише після перевірки схеми викладачем чи лаборантом.

Під час роботи з хімічними реактивами, джерелами тепла чи випромінювання слід дотримуватися наступних правил:

- категорично забороняється нюхати реактиви чи пробувати їх на смак.
- розчини кислот готують в тонкостінному скляному посуді, поставленому на рознос. Кислоту ллють у воду тоненьким струменем, помішуючи розчин скляною паличкою. Для нейтралізації розчину кислоти необхідно мати 3%-ний розчин питної соди.
- розчин їдкового луку готують в тонкостінному скляному або емальованому посуді, насипаючи у воду подрібнений луг невеликими порціями. Для нейтралізації луку необхідно мати 3%-ний розчин оцтової кислоти або 2%-ний розчин борної.
- не можна використовувати спиртівку, якщо її гніт не пропущений через металеву трубочку з кільцем. Забороняється запалювати одну спиртівку від другої.
- не можна використовувати електронагрівні прилади з відкритим нагрівним елементом. При використанні електронагрівних приладів необхідно прибрати з робочого місця всі легкозаймісті матеріали.
- під час роботи з електричною дугою та кварцовою лампою необхідно користуватися захисними окулярами.
- промінь лазера не повинен попадати в очі учнів.
- не можна торкатися руками джерел радіоактивного випромінювання.

## Частина 1. ЗАГАЛЬНЕ ОБЛАДНАННЯ ФІЗИЧНОГО КАБІНЕТУ

### ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 1

#### БУДОВА І ДІЯ НАСОСІВ

**Мета роботи:** Ознайомитись з будовою і принципом роботи насосів, які використовуються під час проведення демонстрацій в шкільному курсі фізики. Навчитись використовувати насоси для проведення демонстрацій.

**Прилади і матеріали:** Ручний повітряний насос (насос Шінца), насос Комовського, вакуумний насос з електродвигуном, водоструминний насос, вакуумна тарілка, магдебурзькі півкулі, трубка Ньютона, лійка з гумовою мембраною, колба з круглим дном об'ємом 250–300 мл, електроплитка лабораторна, електричний дзвінок із джерелом живлення, штатив універсальний з муфтою і лапкою, дитяча гумова кулька, склянка з водою, гумові трубки товстостінні, водопровід.

#### Теоретичні відомості.

В багатьох демонстраціях шкільного курсу фізики використовуються різноманітні насоси: ручний повітряний насос, насос Комовського, вакуумний насос з електродвигуном. Для раціонального вибору типу насосу слід познайомитись з його будовою і технічними характеристиками.

#### 1. Ручний повітряний насос (насос Шінца, рис. 1).

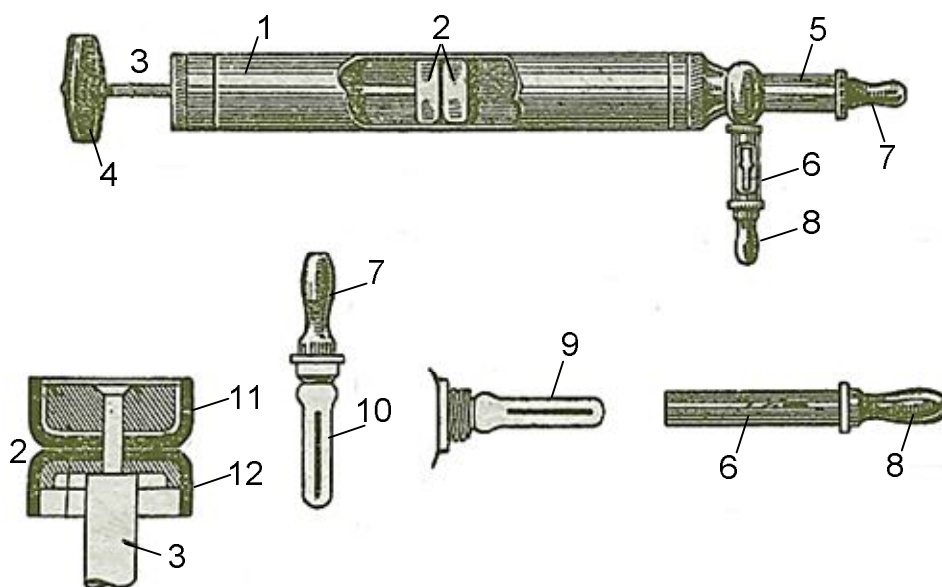


Рис. 1

Цей насос відноситься до найпростіших повітряних насосів подвійної дії, тобто таких, що можуть працювати як на нагнітання, так і на розрідження. Насос дає розрідження до 40 мм рт. ст. і нагнітання до 4 ат. Потужність насосу незначна,

тому при його використанні треба брати посудини невеликого об'єму.

Насос (рис. 1) складається з металевого циліндра 1, в якому переміщується поршень 2, закріплений на кінці стержня 3. На кінці стержня є ручка 4. Від циліндра відходять два патрубків 5 і 6 з ніпелями 7 і 8 для надівання гумових трубок. В середині патрубків розташовані два клапани 9 і 10, що мають вид гумових трубочок з закритим кінцем. На одній з бічних сторін цих трубочок прорізана тонка щілина, через яку клапан пропускає повітря лише в одну сторону (з середини назовні). Клапан 9, встановлений відкритим кінцем до внутрішньої частини насоса, пропускає повітря з циліндра назовні (нагнітальний клапан), а клапан 10, встановлений отвором назовні, пропускає повітря ззовні в циліндр насоса (розріджувальний клапан). Тому для розрідження повітря в резервуарі його треба з'єднувати з ніпелем 7 насоса, а при нагнітанні резервуар з'єднують з ніпелем 8.

Поршень 2 складається з двох шкіряних манжет 11 і 12, конструкція яких забезпечує двосторонню дію поршня. Під час руху вглиб циліндра поршень стискає перед собою повітря і через нагнітальний клапан 9 виштовхує повітря з циліндра чи в атмосферу, чи в резервуар для накачування. Під час зворотного руху поршня утворюється розріджений простір і через розріджувальний клапан 10 всередину циліндра всмоктується повітря чи з атмосфери, чи з того резервуару, де треба створити розрідження.

Для з'єднання насоса з приладами бажано використовувати товстостінні гумові трубки з внутрішнім діаметром 8 мм. Використовуючи насос, слід пам'ятати, що в момент припинення роботи треба перекрити трубку з допомогою крана чи затискача.

Догляд за насосом полягає в періодичному змащенні поршня технічним вазеліном чи солідолом і заміні гумових клапанів. Для заміни клапанів слід відгвинтити патрубок 6 разом з ніпелем 8 і ніпель 7, до якого прикріплений клапан. Зіпсовані клапани видаляють, зрізавши їх ножом, і замінюють новими. Для виготовлення клапану потрібна гумова трубочка довжиною 2,5 – 3 см діаметром 7 мм з товщиною стінок 1 – 2 мм. Щілину клапана довжиною біля 10 мм прорізують лезом безпечної бритви, вставивши попередньо в трубочку дерев'яний стержень.

## 2. Насос Комовського (рис. 2).

Насос Комовського є більш потужним насосом, здатним створювати розрідження до 0,3 мм рт. ст. (40 Па) і нагнітання до 4 ат (0,39 МПа).

Принцип дії насоса проілюстрований рисунком 3. Насос складається з циліндра Ц, в якому вгору і вниз рухається поршень П. Рух поршня забезпечує кривошипно-шатунний механізм (К, Ш), який, в свою чергу, приводиться в рух маховиком з ручкою. До нижнього отвору циліндра з допомогою пружини притискається дно Д, яке одночасно служить і клапаном. При верхньому положенні поршня відкривається боковий отвір, зроблений в циліндрі і з'єднаний з трубкою В, через яку відбувається відкачування повітря.

Циліндр з поршнем вміщений у корпус, заповнений вакуумним маслом. Хід



поршня розрахований таким чином, щоб у нижньому положенні поршень натискав на клапан (дно Д), відкривав його і частково виходив у простір з маслом.

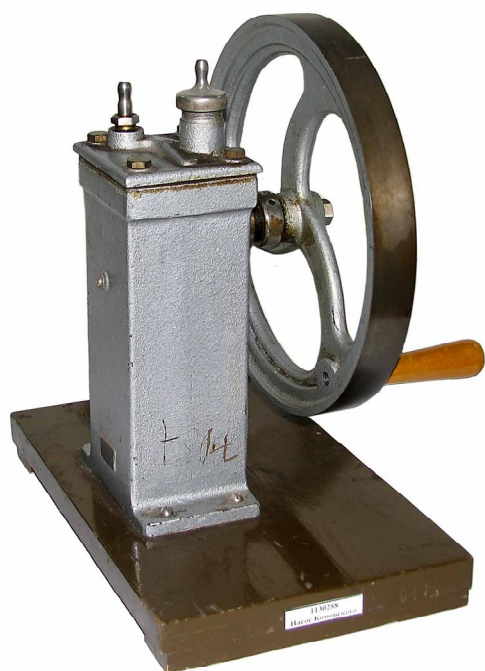


Рис. 2

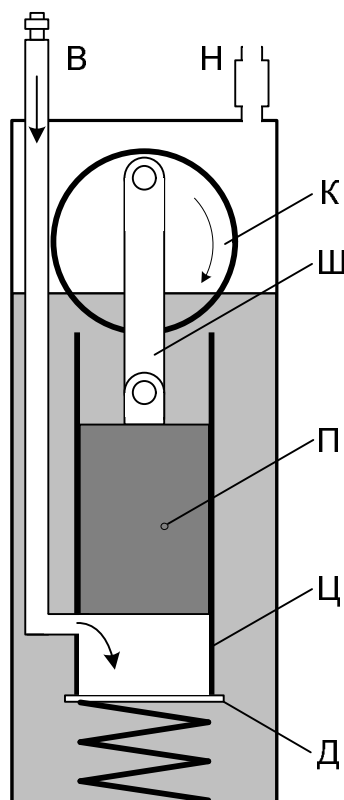
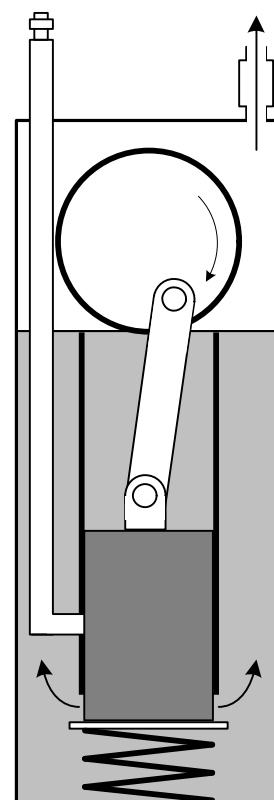


Рис. 3



Під час руху поршня вгору між ним і дном циліндра утворюється розрідження, куди входить повітря в той момент, коли поршень дійде до початку бокового отвору. При зворотному русі поршень закриває цей отвір в циліндрі, відсікає повітря, що увійшло в циліндр, і виштовхує його в простір, заповнений маслом. Назвні повітря виходить через ніпель Н.

Використовуючи насос, слід пам'ятати, що в момент припинення роботи треба перекрити трубку з допомогою крана чи затискача. Невиконання цієї вимоги може привести до потрапляння масла в простір, з якого відкачувалось повітря.

Догляд за насосом полягає в періодичній перевірці рівня масла в насосі. Для цього пробку, розташовану на корпусі зі сторони, протилежній шківу, треба викрутити. Насос розбирати не треба, масло можна доливати, втягуючи масло через ніпель для всмоктування В. Наповнення припиняють, коли з отвору пробки почне витікати масло. Після цього пробку закручують, трубку, через яку подавали масло, знімають і деякий час продовжують обертати шків, щоб видалити масло з ніпеля для всмоктування.

### 3. Насос вакуумний з електродвигуном.

Тип насосу – пластинчато-роторний, одноступінчатий. Приводиться в дію однофазним електродвигуном, розрахованим на напругу 220 В, потужністю 0,27 –

0,4 кВт. Насос забезпечує розрідження повітря до 0,1 мм рт. ст. і нагнітання до 4 ат. Прилад складається з наступних вузлів (рис 4): власне насосу 1, електродвигуна 2, пускача 3, захисної огорожі 4, пасової передачі 5 і підставки 6.

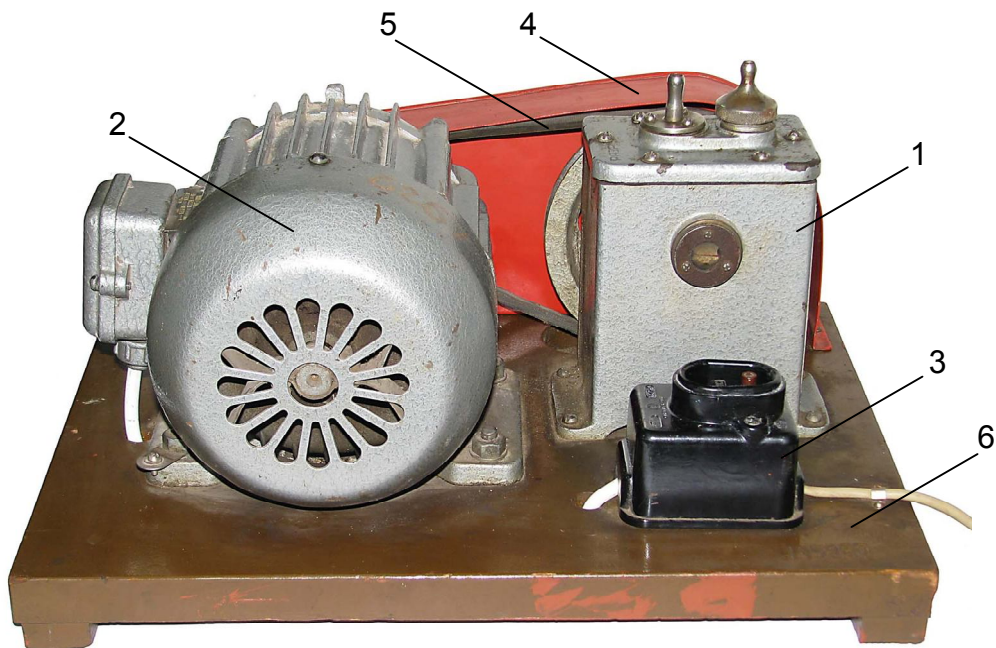


Рис. 4

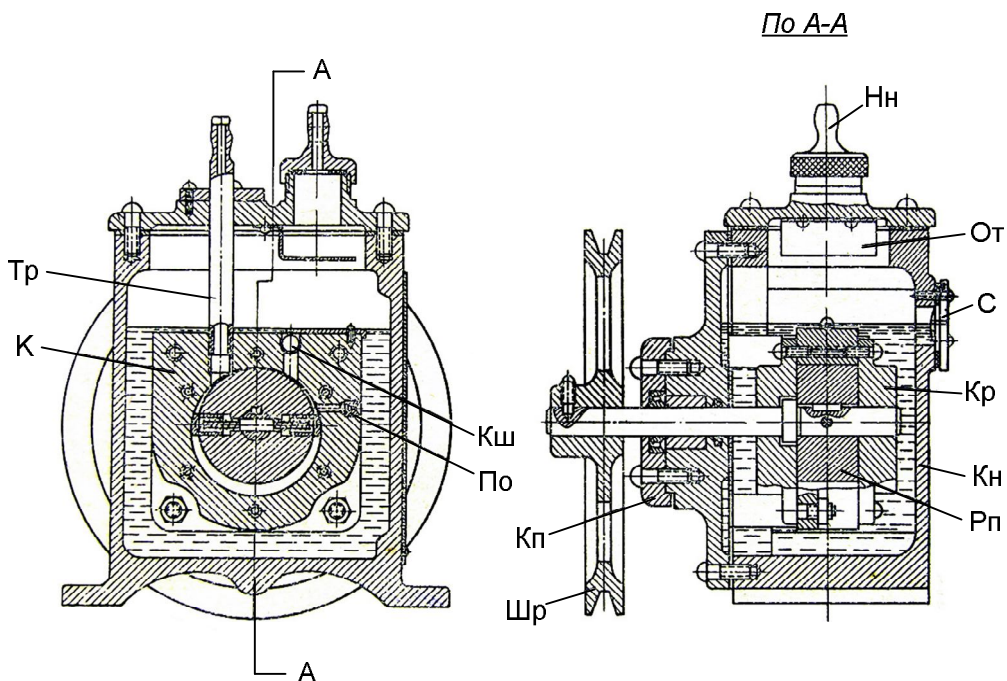


Рис. 5

Власне насос складається з таких основних деталей (рис. 5): корпус ротора К, ротор з пластинами Рп, кришка ротора Кр, шків з валом ротора Шр, клапан кульковий Кш, вікно для контролю рівня масла С, трубка розрідження Тр, ніпель

нагнітання Нн, кришка підшипника Кп, пробка з отвором для змащення По.

Ротор у зібраному виді вміщений всередину корпусу насоса і залитий вакуумним маслом марки ВМ-4, рівень якого визначається через вікно для контролю за червоною рисою на склі.

Робота насоса (рис. 6) ґрунтується на відсіканні і переміщенні повітря від трубки розрідження 3 до отвору з кульковим клапаном 4 лопатками 1, ретельно підігнаними до робочої поверхні корпусу ротора 2. Ротор з лопатками обертається проти годинникової стрілки.

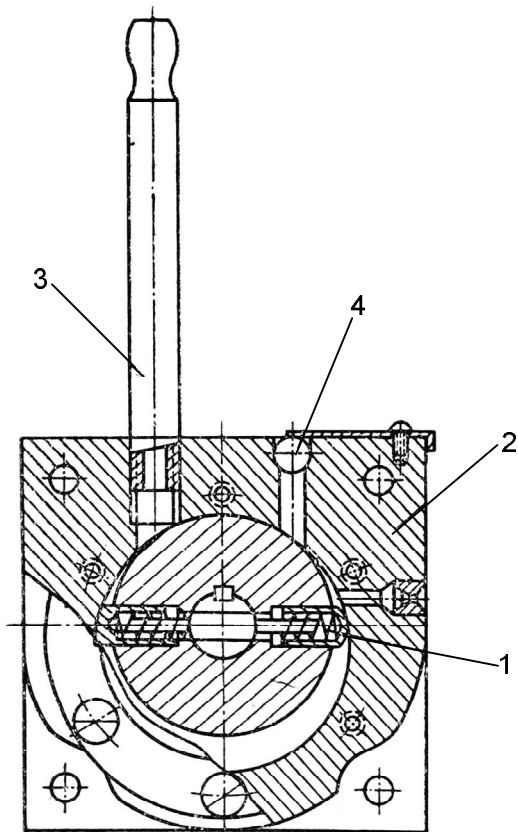


Рис. 6

Ексцентричне розташування ротора в корпусі насоса дає можливість створити різний по товщині зазор між ними. Стикаючись з робочою поверхнею корпусу, лопатки при обертанні стискають і переміщують повітря, яке відкриває кульковий клапан і виходить через масло у верхню частину корпусу. При відкритому ніпелі нагнітання повітря виходить в оточуюче середовище.

Обертання ротора насоса здійснюється електродвигуном з допомогою пасової передачі. Увімкнення двигуна здійснюється натисканням кнопки „Пуск” на пускачі, зупинка – натисканням кнопки „Стоп”.

Щоб уникнути витікання масла з насоса слід перед зупинкою електродвигуна гумовий шланг, з’єднаний з посудиною, з якої відкачувалось повітря, перекрити краном чи затискачем і тільки після цього зупинити насос та від’єднати шланг від посудини.

Догляд за насосом полягає в періодичній перевірці рівня масла в насосі. Доливати масло до червоної риски вікна контролю можна через ніпель нагнітання. Слід також перевіряти натяг клинового паска. Працездатність насоса легко перевірити, доторкуючись пальцем до отворів ніпелів: на всмоктуючому ніпелі палець повинен притягуватись до ніпеля, а на нагнітаючому – відштовхуватись від нього.

**При увімкненому двигуні не можна торкатися до рухомих частин насоса і знімати захисну огорожу пасової передачі.**

**Електродвигун повинен бути заземлений.**

**В перервах між дослідями електродвигун потрібно зупинити кнопкою „Стоп”.**

**Після закінчення роботи з насосом необхідно відключити штепсельну вилку від мережі.**

**Виконувати будь-які ремонтні роботи на електродвигуні, що працює, забороняється.**

#### **4. Водоструминний насос.**

В основу роботи водоструминного насосу покладено зменшення статичного тиску в тих місцях потоку рідини, де швидкість потоку більша. З рівняння Бернуллі для горизонтальної трубки течії  $\frac{\rho \cdot v^2}{2} + p = const$  і рівняння нерозривності струменя  $S_1 v_1 = S_2 v_2$  випливає, що швидкість течії в

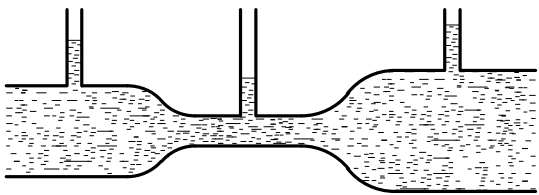


Рис. 7

горизонтальній трубці змінного перерізу буде більшою в місцях звуження, а статичний тиск буде більшим в широких місцях, тобто там, де швидкість менша. Статичний тиск у звужених місцях може бути значно меншим тиску в широких місцях трубки (рис. 7).

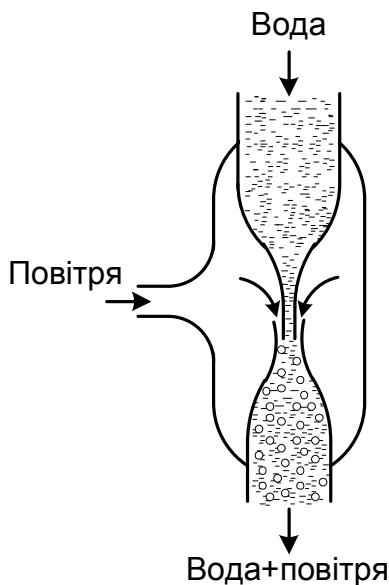


Рис. 8

У водоструминному насосі (рис. 8) струмина води подається в трубку, відкриту в атмосферу, отже тиск на виході з трубки дорівнює атмосферному. В трубці є звуження, по якому вода рухається з великою швидкістю. В цьому місці тиск менший атмосферного. Звужена ділянка трубки має розрив, що з'єднується з посудиною, в якій і встановлюється цей зменшений тиск. Повітря з посудини всмоктується в розрив звуженої частини трубки.

З допомогою водоструминного насосу при використанні холодної води ( $8^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ ) можна відкачати повітря з посудини до тиску порядку 10 мм рт. ст.

#### **5. Вакуумна тарілка.**

Вакуумна тарілка (рис. 9, 10) складається з пластмасового диска 1 на низьких ніжках, вакуумметра 2 і ковпака з товстого скла 5. В центрі диска розташований ніпель 9, від якого йде канал до вакуумметра і до ніпеля 6. Канал може перекриватись краном 4, оточеним напівсферичною чашечкою 3 для наливання машинного масла, що забезпечує надійну роботу крану. Зверху на крані зображена стрілка, вістря якої при відкачуванні повітря з-під ковпака повинно бути направлено до насосу; в інших положеннях кран перекриває канал.

Покази вакуумметра стосуються простору під ковпаком. Якщо тарілку використовують без ковпака, то вакуумметр показує тиск в посудині, з'єднаній з тарілкою.



Рис. 9

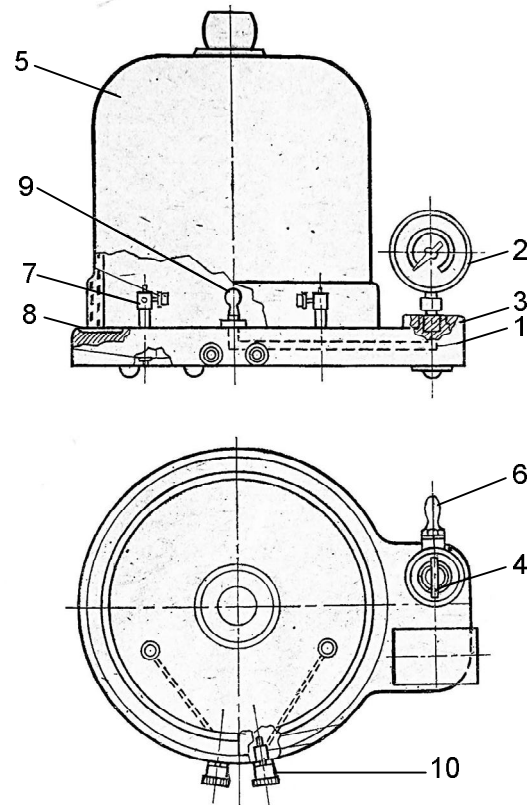


Рис. 10

Врахуйте, що вакуумметр вимірює надлишковий тиск в технічних атмосферах. Тому позначення шкали -1; 0,8; 0,6; 0,4; 0,2; 0 ат відповідають тискам 0; 0,2; 0,4; 0,6; 0,8; 1 ат.

Споживачі електричної енергії (наприклад, електричний дзвінок) підключають до контактів 7, джерело – до клем 10.

Для підготовки тарілки до роботи в чашечку, що оточує кран, наливають невелику кількість машинного масла. Гумове кільце 8 змащують технічним вазеліном і кладуть в канавку на тарілці. Нижній край ковпака теж треба злегка змастити. Після закінчення дослідів гумове кільце і край ковпака слід витерти насухо. Зберігати ковпак краще всього на тарілці, не ставити його пришліфованим краєм на стіл чи полицю.

### Хід роботи.

**Завдання 1. Уважно ознайомтесь з будовою та принципом роботи насосів.**

**Завдання 2. Виконайте демонстрації з ручним повітряним насосом.**

Під час виконання цих і наступних демонстрацій слід записувати час, витрачений на проведення демонстрації.

1. Продемонструйте атмосферний тиск, використавши лійку, широка

частина якої зтягнута гумовою плівкою. При відкачуванні повітря плівка прогинається.

2. Визначте максимальне розрідження, яке дає насос Шінца. Для цього використайте вакуумну тарілку без ковпака. Насос приєднайте ніпелем для розріджування до ніпеля, розташованого в центрі тарілки, кран на тарілці закрийте (рис. 11). Мінімальний тиск, який одержується при відкачуванні, визначте за показами манометра.



Рис. 11

3. Виконайте дослід з магдебурзькими півкулями.

Для контролю тиску в магдебурзьких півкулях приєднайте їх до ніпеля в центрі вакуумної тарілки. Насос приєднайте до ніпеля, розташованого біля крану вакуумної тарілки (рис. 12). Закінчивши відкачування, перекрийте кран на тарілці. Визначте тиск в півкулях та обчисліть силу тиску атмосфери на півкулі. Спробуйте роз'єднати півкулі. Будьте обережні! При спробі роз'єднати півкулі з допомогою товаришів можна впасти!



Рис. 12

#### 4. Продемонструйте кипіння води при зниженому тиску.

В колбу з круглим дном налейте до половини води, затисніть колбу в лапці штативу і нагрійте воду в колбі майже до кипіння. Потім відставте нагрівник, а колбу щільно закрийте пробкою з трубкою, якою колба з'єднується з насосом (рис. 13). Через 1 – 2 хвилини, коли вода трохи охолоне, ручним насосом викачайте повітря і водяну пару. Тиск в колбі зменшиться і вода бурно закипить. Якщо припинити викачування, то кипіння теж припиняється. Через хвилину можна повторити дослід (і навіть декілька разів). Дослід виразно показує, що зі зниженням тиску вода кипить при нижчій температурі.

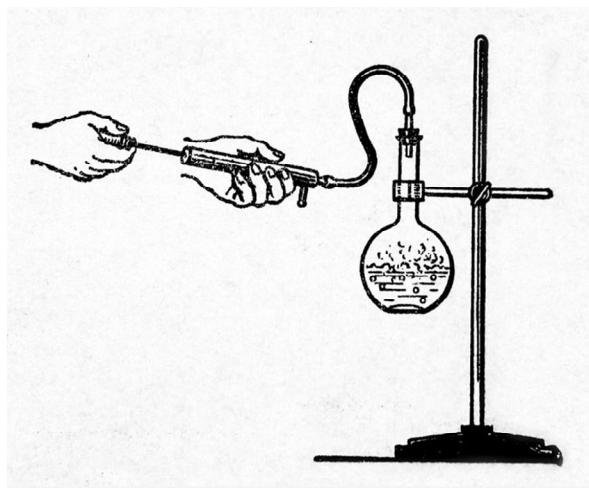


Рис. 13

Зауваження. Цю демонстрацію не можна виконувати з масляними насосами (Комовського та роторним). Масло забруднюється водою і насос при відкачуванні не буде забезпечувати належний вакуум.

#### **Завдання 3. Виконайте демонстрації з насосом Комовського.**

1. Повторіть пункти 2 і 3 попереднього завдання з насосом Комовського. Закінчивши відкачування (завдання 5), негайно роз'єднайте насос і тарілку. Після відкачування магдебурзьких півкуль закрийте крани на півкулях, вакуумній тарілці і зніміть шланг з ніпеля тарілки чи насоса.

2. Продемонструйте падіння тіл у вакуумі.

Перевертаючи трубку Ньютона, заповнену повітрям, продемонструйте неодноразовість падіння свинцевої дробинки, корка і пір'їни. Приєднайте трубку Ньютона через вакуумну тарілку до насоса Комовського і відкачайте трубку до максимального розрідження. Не забудьте до зупинки насоса перекрити крани на тарілці і на трубці. Від'єднайте трубку від шланги, розташуйте її вертикально і швидко поверніть її на 180°. Зверніть увагу на одночасність падіння дробинки, корка і пір'їни.

Ще раз нагадаємо про необхідність хронометражу всіх демонстрацій.

#### **Завдання 4. Визначте розрідження, яке забезпечує вакуумний насос з електродвигуном.**

Під скляний ковпак вакуумної тарілки покладіть ледь надуту і зав'язану гумову дитячу кульку. При відкачуванні повітря кулька буде надуватись, демонструючи тиск повітря, яке містилось в кульці. Зафіксуйте час, за який насос відкачав тарілку до максимального розрідження.

Не забудьте перед зупинкою насоса перекрити кран на тарілці. Зупинивши насос, зніміть гумовий шланг з ніпеля тарілки чи насоса.

### **Завдання 5. Продемонструйте роль пружного середовища при поширенні механічних хвиль.**

Під ковпак вакуумної тарілки поставте електричний дзвінок. Приєднайте електричні контакти дзвінка до клем 7 тарілки. До зовнішніх клем 10 через вимикач приєднайте джерело живлення. При відкачуванні повітря з-під ковпака звук дзвінка слабшає і, нарешті, стає дуже тихим.

Перед зупинкою насосу перекрийте кран 4, зупиніть насос і від'єднайте шланг від ніпеля 6. Відкривши кран 4, впустіть повітря під ковпак – звук дзвінка стає гучним. Для збільшення виразності цього досліду дзвінок під ковпаком слід поставити на підставку з мікропористої гуми.

Нижче описано ще один варіант даної демонстрації.

Під ковпак вакуумної тарілки на підкладку з мікропористої гуми покладіть маленький гучномовець, дроти від якого приєднайте до електричних виводів тарілки. Накрийте тарілку ковпаком, виводи гучномовця приєднайте до

низькочастотного генератора. Увімкніть генератор і підберіть вихідну потужність такою, щоб гучномовець було добре чути. Відкачайте повітря з під ковпака і стежте за зміною гучності. Попробуйте виконання даного досліду на різних частотах генератора. З якими частотами одержується найкращий ефект?

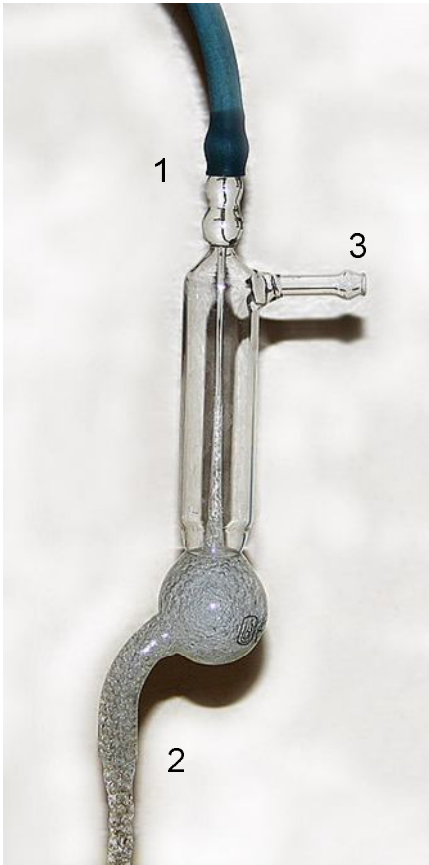


Рис. 14

### **Завдання 6. Продемонструйте роботу водоструминного насосу.**

Для виконання цієї демонстрації потрібен водопровід.

Приєднайте шланг 1 (рис. 14) до водопроводу і розташуйте водоструминний насос так, щоб вода з патрубка 2 витікала в раковину. Відкрийте кран водопроводу і спостерігайте всмоктування повітря через патрубок 3. Приєднайте патрубок 3 гумовим шлангом до вакуумної тарілки, перекрийте кран на тарілці і відкрийте кран водопроводу. За показами манометра визначте максимальне розрідження, яке одержується при використанні водоструминного насосу.

### **Контрольні запитання.**

1. Опишіть принцип дії насосу Комовського та його технічні характеристики.
2. Опишіть будову і принцип дії пластинчато-роторного вакуумного насосу.
3. На якому законі ґрунтується принцип дії водоструминного насосу? Опишіть його будову та галузі застосування.



4. Якими дослідами можна підтвердити існування атмосферного тиску?
5. Обчисліть сили, які діяли на магдебурзькі півкулі під час демонстрації.
6. Поясніть демонстрацію зниження температури кипіння води при зниженні тиску.
7. Опишіть методику проведення і поясніть демонстрацію падіння тіл у вакуумі.

## ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 2

### ЕЛЕКТРОВИМІРЮВАЛЬНІ ПРИЛАДИ

**Мета роботи:** Ознайомитись з будовою і принципом роботи електровимірювальних приладів. Навчитись використовувати їх для проведення демонстрацій.

**Прилади і матеріали:** Демонстраційні амперметр і вольтметр, мультиметр типу DT830B, джерело постійного струму (BC-6 чи BC 4-12), випрямляч BC-24M, джерело змінного струму (РНШ), реостати (6 Ом, 2 А і 500 Ом), дросельна котушка, магніти штабові, фотоелемент, термостовпчик або термопара, освітлювач, лампа розжарення на 220 В 100 Вт, електроплитка лабораторна, обмежувач опір 200 Ом, набір резисторів різних номіналів, вимикач однополюсний, з'єднувальні провідники.

#### Теоретичні відомості.

Електровимірювальні прилади використовуються в багатьох демонстраціях шкільного курсу фізики. Для вимірювання сили струму і напруги в колах постійного та змінного струму, а також в якості гальванометра в школах використовуються в основному два типи приладів: демонстраційний амперметр і демонстраційний вольтметр (рис. 1). Це прилади магнітоелектричної системи, яка для вимірювання в колах змінного струму доповнена випрямляючим пристроєм.



Рис. 1

Конструкція приладів дозволяє використовувати їх не тільки для вимірювання електричних величин під час демонстраційних дослідів, а й для вивчення будови амперметра і вольтметра магнітоелектричної системи.

За своєю будовою демонстраційні амперметр і вольтметр однакові і відрізняються лише елементами електричної схеми та зображенням шкал.

Прилади складаються з наступних основних частин: вимірювального механізму магнітоелектричної системи, змінних шкал, напівпровідникового випрямляча, змінних додаткових опорів у вольтметрах чи змінних шунтів у амперметрах. Прилади



Рис. 2

змонтовані в пластмасових корпусах. Випрямлячі розташовані в нижній частині корпусу, тому для огляду випрямляча треба зняти дно корпусу. На лицьовій панелі в нижній частині встановлені п'ять клем. Три клеми одного кольору (як правило, чорного) розташовані наверху, а дві клеми іншого кольору (червоного) – внизу. Біля лівої верхньої клеми є позначення змінного струму „~”, а біля правої верхньої стоїть знак „+”. Щоб використати прилад в якості гальванометра, його вмикають в коло з допомогою нижніх клем.

На зворотній стороні приладу (рис. 2), яку видно через заднє вікно корпусу, на шкалі нанесені десять рівномірних поділок. Перша і остання поділки відповідають початку і кінцю робочих шкал. Ці поділки призначені для визначення відносного положення стрілки і для контролю за роботою під час проведення дослідів вчителем. Нижче цього вікна розташована ручка коректора, поворотом якої стрілку встановлюють в необхідне положення. Ще нижче міститься ящик, в якому зберігаються додаткові опори чи шунти (рис. 2а).

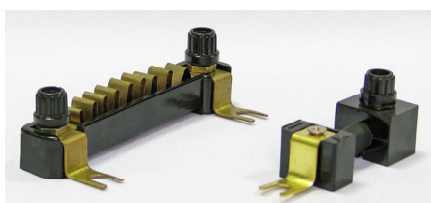


Рис. 2а

Кожен прилад можна використовувати для трьох видів вимірювань, тому прилади мають три шкали, на яких вказане їх призначення.

### **Амперметр демонстраційний.**

Цей прилад використовується для вимірювання сили постійного струму в межах 0-3 А і 0-10 А, сили змінного струму в тих же межах і як гальванометр. Під час вимірювання як постійного, так і змінного струму використовуються одні й ті ж шунти.

Принципова схема приладу показана на рис. 3. Опір приладу на затискачах гальванометра приблизно дорівнює 385 Ом. Дійсне значення опору даного приладу вказане на шкалі гальванометра.

Шкала постійного струму на 3 А має 15 поділок, шкала постійного струму на 10 А – 20 поділок.

**Щоб приготувати прилад для вимірювання в колах постійного струму треба:**

- а) приєднати відповідний шунт до правої верхньої (+) і середньої клеми;
- б) в передній паз на кришці приладу поставити шкалу постійного струму з тією ж межею вимірювання, що і встановлений шунт;
- в) з допомогою коректора встановити стрілку на нульову поділку;
- г) провідники електричного кола приєднати до клем шунта.

**Щоб приготувати прилад для вимірювання в колах змінного струму треба:**

- а) приєднати відповідний шунт до лівої верхньої ( $\sim$ ) і середньої клеми;

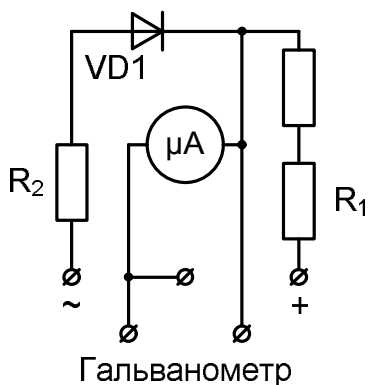


Рис. 3

- б) в передній паз на кришці приладу поставити шкалу змінного струму з тією ж межею вимірювання, що і встановлений шунт;

- в) з допомогою коректора встановити стрілку на нульову поділку;

- г) провідники електричного кола приєднати до клем шунта.

Як видно зі схеми амперметра (рис. 3), обмотка рамки приладу, через спіральні пружини підключена безпосередньо до нижніх клем з написом „гальванометр”.

Щоб використати прилад в якості гальванометра (ціна поділки гальванометра вказана на його шкалі), треба в передній паз на кришці приладу поставити шкалу з нулем посередині, встановити з допомогою коректора стрілку на нульову поділку і приєднати досліджуване коло до клем гальванометра (нижніх).

Працюючи з гальванометром, необхідно пам'ятати про його високу чутливість і не вмикати в коло з силою струму більш, ніж 0,20 мА. Невиконання цієї умови може привести до згоряння обмотки чи до пошкодження стрілки.

### Вольтметр демонстраційний.

Цей прилад використовується як вольтметр постійного струму з межами вимірювання 0-5 В і 0-15 В, вольтметр змінного струму з межами вимірювання 0-15 В і 0-250 В, та як гальванометр. Під час вимірювання використовуються додаткові опори, окремі для постійного та змінного струму. На кожному додатковому опорі вказані вид вимірюваної напруги та верхня межа вимірювання.

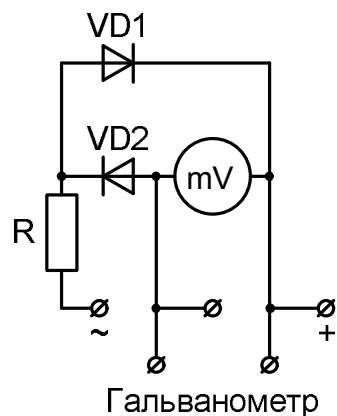


Рис. 4

Принципова схема приладу показана на рис. 4. Опір приладу на затискачах гальванометра приблизно дорівнює 2,3 Ом. Дійсне значення опору даного приладу вказане на шкалі гальванометра. Для випрямлення змінного струму використовується однопівперіодна схема. В робочий півперіод струм проходить через напівпровідниковий діод VD1 і рамку приладу, а в неробочий півперіод – мимо рамки, через діод VD2. Це необхідно для того, щоб до діоду VD1 не була прикладена велика зворотна напруга, яка може викликати його пробій.

**Щоб приготувати прилад для вимірювання в колах постійного струму треба:**

- а) до клеми, позначеній "+", приєднати додатковий опір, що відповідає обраній межі вимірювання та виду струму (постійний);
- б) в передній паз на кришці приладу поставити шкалу постійного струму з тією ж межею вимірювання, що і встановлений додатковий опір;
- в) з допомогою коректора встановити стрілку на нульову поділку;
- г) провідники електричного кола приєднати до центральної клеми та клеми додаткового опору.

**Щоб приготувати прилад для вимірювання в колах змінного струму треба:**

- а) до клеми, позначеній " $\sim$ ", приєднати додатковий опір, що відповідає обраній межі вимірювання та виду струму (змінний);
- б) в передній паз на кришці приладу поставити шкалу змінного струму з тією ж межею вимірювання, що і встановлений додатковий опір;
- в) з допомогою коректора встановити стрілку на нульову поділку;
- г) провідники електричного кола приєднати до центральної клеми та клеми додаткового опору.

Щоб використати прилад в якості гальванометра (ціна поділки гальванометра вказана на його шкалі), треба в передній паз на кришці приладу поставити шкалу з нулем посередині, встановити з допомогою коректора стрілку на нульову поділку і приєднати досліджуване коло до клем гальванометра (нижніх).

Зі схеми вольтметра (рис. 4), видно, що обмотка рамки приладу підключена безпосередньо до нижніх клем з написом „гальванометр”. Ціна поділки гальванометра не більша, ніж  $2 \cdot 10^{-3}$  В, шкала має по 5 поділок в кожную сторону від 0; це означає, що для максимального відхилення стрілки потрібна напруга 10 мВ. Не слід підключати гальванометр до джерела з більшою напругою.

**Мультиметр типу DT830B** загалом не відноситься до демонстраційних приладів, проте успішно може використовуватись в багатьох демонстраціях, особливо тоді, коли важливі кількісні результати вимірювань.

Цифровий мультиметр типу DT830B (рис. 5) призначений для вимірювання постійної та змінної напруги, сили постійного струму, опору провідників, перевірки діодів та транзисторів.

В центрі передньої панелі приладу розташована кругла ручка перемикача. Цифри на панелі навколо перемикача згруповані в зони, позначені буквами. Позначення " $V \text{ ---}$ " означає зону вимірювання напруги постійного струму, " $V \sim$ " – зону вимірювання напруги змінного струму, " $A \text{ ---}$ " – зону вимірювання сили постійного струму, " $\Omega$ " – зону вимірювання опору. Самі цифри означають максимальне значення вимірюваної величини. Наприклад, цифра 200 означає "200 В" або "200 Ом". Якщо поруч стоїть буква "m", то це означає "200 мВ" чи "200 мА"; буква "μ" означає "200 мкА", буква "k" – "200 кОм".



Рис. 5



Рис. 6

До ділянки електричного кола мультиметр приєднується за допомогою двох провідників чорного та червоного кольору, які вставляються у відповідного кольору гнізда на передній панелі (червоне гніздо з написом "VΩmA". Провідники закінчуються металевими стержнями з ізольованими ручками; ці стержні називають щупами. При вимірюваннях щупи слід тримати за ізольовані ручки. На стержні щупів в окремих випадках зручно надівати затискачі типу "крокодил". Для вимірювання великих струмів (до 10 А) використовується окреме гніздо червоного кольору з написом "10A DC".

Роботу мультиметра забезпечує гальванічний елемент, тому, закінчивши вимірювання, слід обов'язково вимкнути живлення приладу, для чого поставити перемикач в положення "OFF".

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

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

Джерелом живлення мультиметра є батарея типу «Крона». Якщо при переведенні перемикача в одне з робочих положень індикатор не світиться, або на екрані з'являється зображення батареї, то її необхідно замінити. Для заміни батареї треба викрутити два гвинта на задній кришці приладу і відкрити її (рис. 6). Поруч з батареєю знаходиться запобіжник, розрахований на струм 200 мА. Якщо мультиметр не вимірює струм, то найбільш імовірно – згорів запобіжник і його треба замінити. Перед заміною батареї чи запобіжника мультиметр треба вимкнути і від'єднати щупи від електричних кіл.

Абсолютні похибки приладу наведено нижче.

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

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

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

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

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

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

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

### Хід роботи.

#### **Завдання 1. Ознайомтесь з будовою та технічними даними демонстраційного амперметра і вольтметра.**

1. Перевірте комплектність приладів – наявність змінних шкал, шунтів до амперметра та додаткових опорів до вольтметра.

2. Прослідкуйте внутрішнє коло демонстраційного амперметра при використанні його в колах постійного струму, в колах змінного струму та в якості гальванометра. Якщо є можливість, скористайтесь екземпляром розкритого демонстраційного амперметра.

3. На шкалі гальванометра від демонстраційного амперметра знайдіть і запишіть значення опору гальванометра, ціну його поділки та обчисліть межу вимірювання гальванометра.

4. Прослідкуйте внутрішнє коло демонстраційного вольтметра при використанні його в колах постійного струму, в колах змінного струму та в якості гальванометра. Якщо є можливість, скористайтесь екземпляром розкритого демонстраційного вольтметра.

5. На шкалі гальванометра від демонстраційного вольтметра знайдіть і запишіть значення опору гальванометра, ціну його поділки та обчисліть межу вимірювання гальванометра.

#### **Завдання 2. Використайте демонстраційні амперметр і вольтметр як гальванометри.**

1. Підготуйте прилади для роботи в режимі гальванометра.

2. Використовуючи гальванометр від демонстраційного амперметра, продемонструйте:

а) фотострум від фотоелементу;

б) термострум від термостовпчика (чи термопари);

в) індукційний струм, що виникає в дросельній котушці під час руху в ній штабового магніту.

Фотоелемент, термостовпчик і котушка приєднуються безпосередньо до клем гальванометра. Фотоелемент освітлюється лампою розжарення; вона ж

використовується для нагрівання термостовпчика. Лампу розжарення вмикають безпосередньо в освітлювальну мережу чи через РНШ (див. рис. 7, 8).

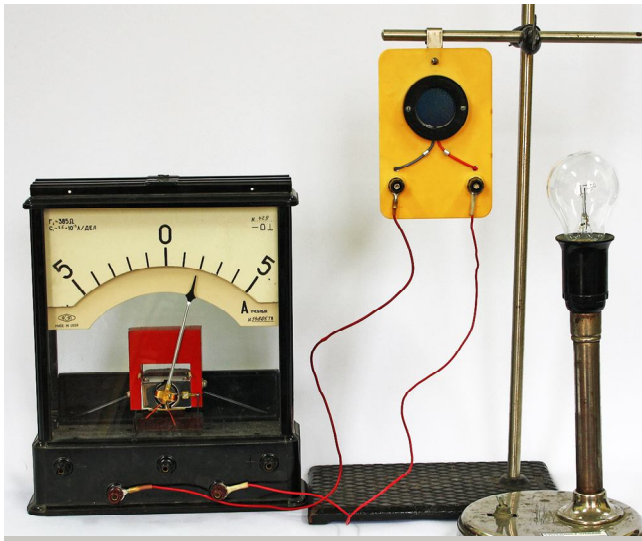


Рис. 7

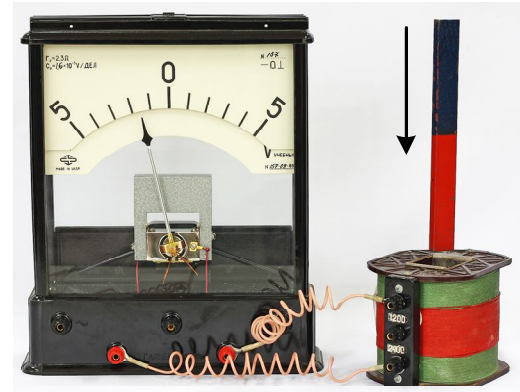


Рис. 8

3. Повторіть досліди, вказані в пунктах а), б), в), використовуючи гальванометр від демонстраційного вольтметра.

4. Встановіть, з яким приладом демонстрація більш ефективна, тобто який з приладів дає більше відхилення стрілки гальванометра.

5. Виконуючи демонстрації, відмічайте, скільки часу необхідно для їх виконання.

### Завдання 3. Використайте демонстраційні амперметр і вольтметр в колі постійного струму.

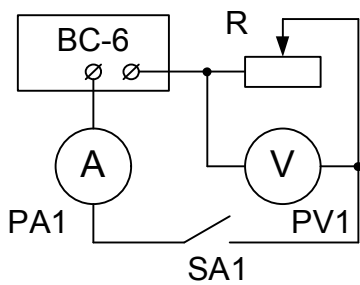


Рис. 9

1. Електричне коло в цьому завданні складається з джерела постійного струму (випрямляч ВС-6 чи ВС 4-12), споживача – лабораторного реостата (6 Ом, 2 А) чи демонстраційного магазину опорів (10 Ом, 0,5 А), демонстраційного амперметра, демонстраційного вольтметра і ключа. Електрична схема кола зображена на рис. 9, зовнішній вид зібраного кола – на рис. 10.

2. Наближено розрахуйте максимальні значення сили струму і напруги при певному положенні реостату.

3. У відповідності з одержаними максимальними значеннями сили струму і напруги підготуйте демонстраційні амперметр і вольтметр для вимірювання в колі постійного струму з необхідними межами вимірювань.

4. Зберіть електричне коло і запросіть викладача чи лаборанта для перевірки складеного кола та розрахунків. Після одержання дозволу замкніть ключ і, змінюючи напругу джерела струму чи опір реостату, виміряйте декілька значень сили струму та напруги.

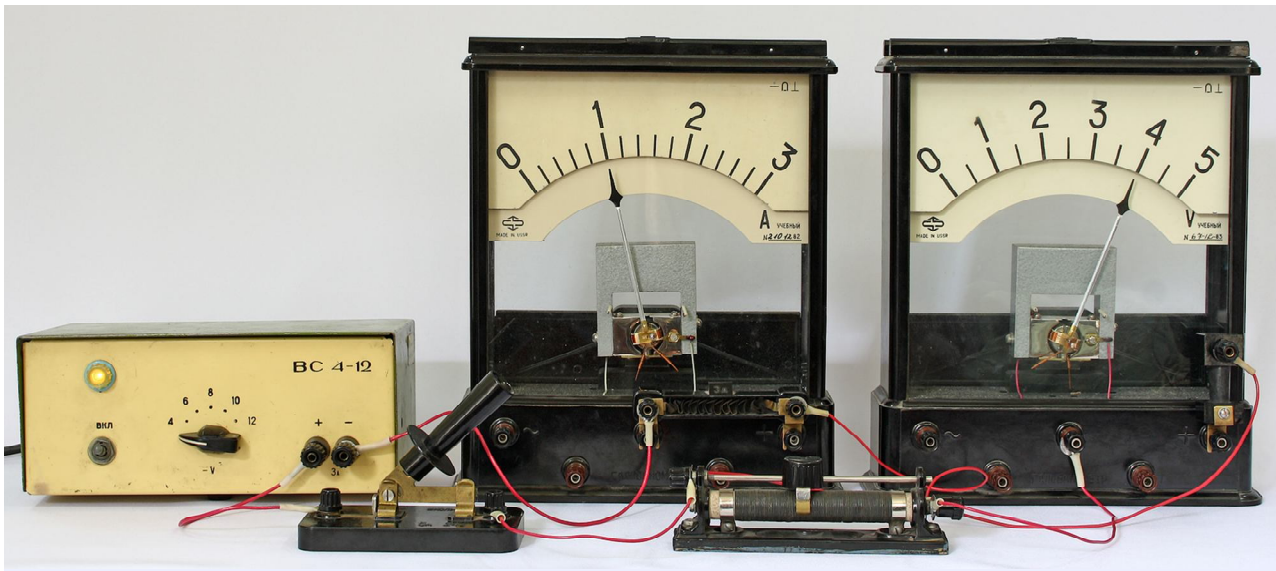


Рис. 10

**Завдання 4. Використайте демонстраційні амперметр і вольтметр в колі змінного струму.**

1. Електричне коло в цьому завданні (див. рис. 11) складається з джерела змінної напруги – регулятора напруги РНШ, який живиться від мережі змінного струму з напругою 220 В, споживача – лампи розжарення EL1, розрахованої на напругу 220 В потужністю 100-150 Вт (або лабораторної електроплитки потужністю 300 Вт), демонстраційного амперметра PA1, демонстраційного вольтметра PV1 і ключа SA1.

2. Наближено розрахуйте при максимальній напрузі граничне значення сили струму.

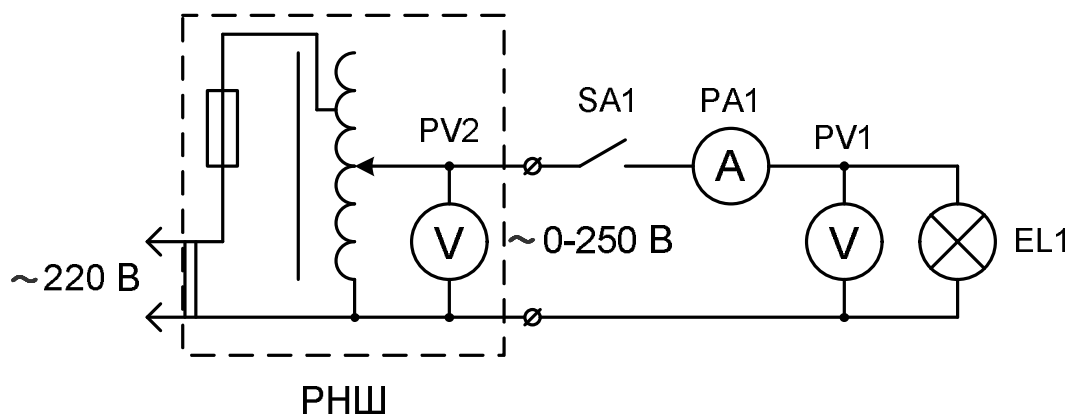


Рис. 11

3. У відповідності до максимальних значень сили струму та напруги підготуйте демонстраційні амперметр і вольтметр до роботи в колі змінного струму з необхідними межами вимірювань.

4. Зберіть електричне коло і запросіть викладача чи лаборанта для перевірки складеного кола та розрахунків. Після одержання дозволу замкніть ключ і,



змінюючи значення напруги з допомогою РНШ, виміряйте декілька значень сили змінного струму і напруги.

***Будьте обережні! Напруга мережі 220 В небезпечна!***

Можливий випадок, коли демонстраційний вольтметр нормально працює в колі постійного струму і не реагує на увімкнення в коло змінного струму. Найбільш вірогідна причина – пробій діодів VD1 і VD2. Щоб відновити працездатність приладу, треба замінити діоди. Для цього слід витягнути всі шкали, перевернути вольтметр догори дном, відкрутити болти кріплення кришки дна і зняти її. Під час заміни діодів уважно слідкуйте за їх з'єднанням згідно схеми рис. 4.

**Завдання 5. Ознайомтесь з будовою та технічними даними мультиметра DT830В.**

Уважно прочитайте опис приладу, вивчіть передню панель мультиметра. При виникненні запитань зверніться до опису приладу або до викладача.

Увімкніть мультиметр перемикачем, прослідкуйте за зміною індикації при переході з однієї межі на іншу. Запишіть в зошит значення похибок приладу при вимірюванні сили струму, напруги та опору.

**Завдання 6. Навчіться використовувати мультиметр DT830В для вимірювання опору, напруги та сили струму.**

1. Перемикач мультиметра переведіть в положення " $\Omega$  2000k". Приєднайте щупи мультиметра до одного з резисторів (див. рис. 12) і запишіть значення його опору в зошит. Виберіть межу вимірювання, яка дає найбільшу точність. Порівняйте одержане з вимірювань значення опору з номіналом, вказаним на корпусі резистора. Врахуйте, що опір резистора вказується з похибкою 10 % (для окремих резисторів – 5 % чи навіть 1 %). Зробіть висновок.

2. Пункт 1 виконайте для всіх резисторів, що є в наборі. Закінчивши вимірювання, вимкніть прилад (OFF).

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

***Будьте обережні! Напруга мережі 220 В небезпечна!***

4. Перемикач мультиметра поставте в положення " $V_{\sim}$ " 200 В.

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

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

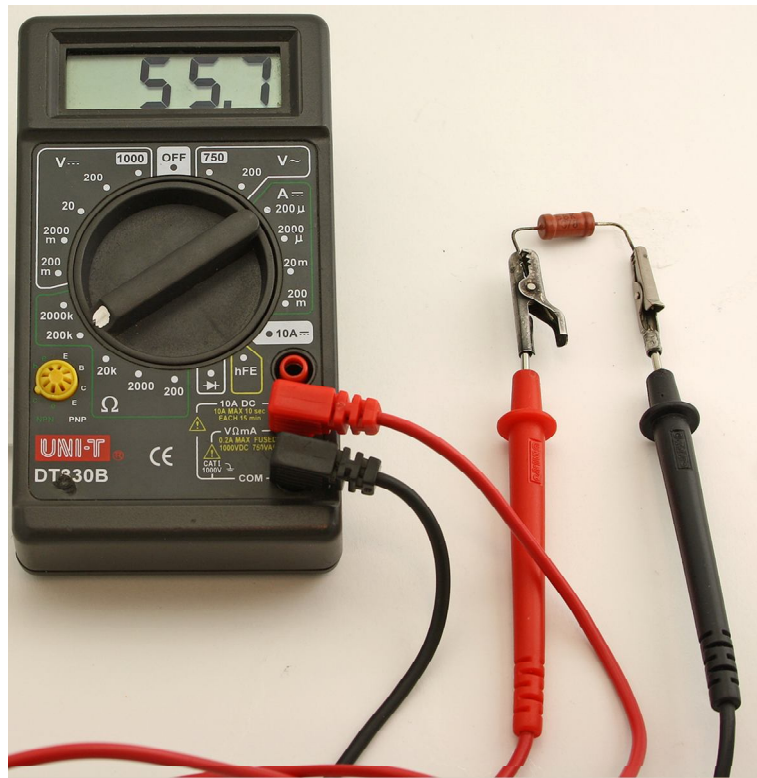


Рис. 12

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

Закінчивши вимірювання, виключіть В-24М і мультиметр.

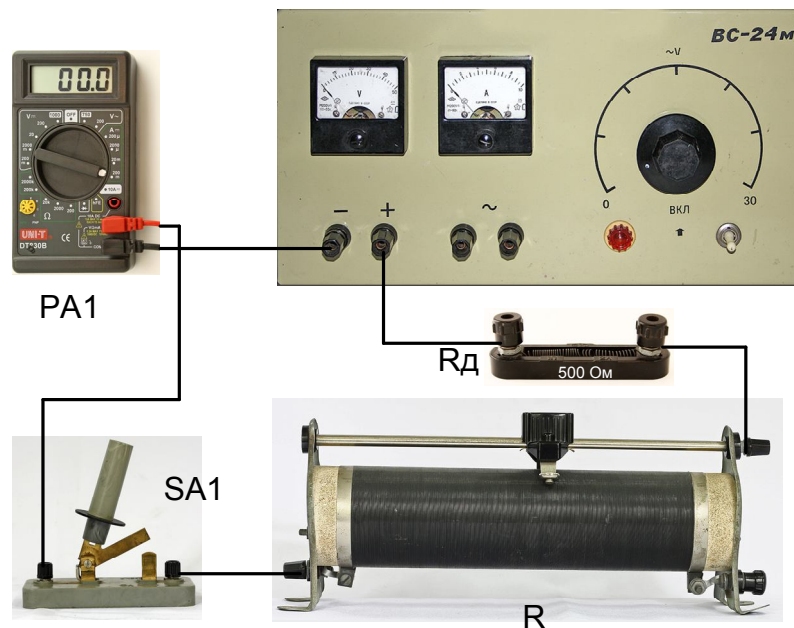


Рис. 13

7. Складіть електричне коло за схемою рис. 13. Значення додаткового опору  $R_d = 200 \text{ Ом}$ , максимальний опір реостату  $R = 500 \text{ Ом}$ . Перемикач мультиметра поставте в положення " $\text{A} \text{---} 200 \text{ m}$ " Після перевірки схеми викладачем увімкніть В-24М і замкніть ключ К. Запишіть покази мультиметра. Змінюючи опір реостату, простежте за зміною струму в колі. Закінчивши вимірювання, вимкніть прилади і розберіть електричне коло.

### Контрольні запитання.

1. Опишіть принцип роботи електровимірювальних приладів магнітоелектричної системи. В чому полягають позитивні і негативні сторони приладів цієї системи?

2. Навіщо потрібні в електровимірювальних приладах пристрої для демпфування?

3. Для яких вимірювань і з якими межами використовується демонстраційний амперметр?

4. Для яких вимірювань і з якими межами використовується демонстраційний вольтметр?

5. Яку роль відіграють в приладах бронзові спіралі?

6. Який максимальний струм можна зареєструвати з допомогою гальванометра від демонстраційного амперметра?

7. Яку максимальну напругу можна зареєструвати з допомогою гальванометра від демонстраційного вольтметра?

8. В яких дослідах завдання 2 одержується більше відхилення стрілки гальванометра: при використанні гальванометра від амперметра чи гальванометра від вольтметра?

9. Як розрахувати шунт до амперметра та додатковий опір до вольтметра?

10. Якщо під час вимірювання опору на межі " $\Omega 2000k$ " мультиметр показує нулі, то що це означає?

11. Іноді з'єднувальні провідники ламаються, але ізоляція не дає можливості відрізати цілий провідник від пошкодженого. Як з допомогою мультиметра знайти пошкоджений провідник?

12. Як "продзвонити" джгут провідників, тобто у пучку провідників знайти кінці одного й того ж провідника?

## ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 3

### ТРАНСФОРМАТОРИ

**Мета роботи:** Ознайомитись з будовою, принциповою та монтажною схемами трансформаторів, технічними даними і правилами експлуатації різних типів трансформаторів. Навчитись використовувати їх для проведення демонстрацій.

**Прилади і матеріали:** Трансформатор універсальний, шкільний розбірний трансформатор, трансформатори на панелі (комплект з двох

трансформаторів), індуктор високовольтний ИВ-50, випрямляч ВС 4-12, демонстраційні амперметри і вольтметри, саморобний додатковий шунт до амперметра на 600 мА, мультиметр, джерело змінного струму (РНШ), реостат на 30 Ом, два однополюсні ключі, електрична лампа на 3,5 В на підставці, з'єднувальні провідники.

### Теоретичні відомості.

Трансформатори використовуються під час демонстраційних дослідів в різних розділах курсу фізики, під час проведення лабораторних робіт та фізичного практикуму. Крім того, програмою передбачене вивчення будови трансформаторів та їх використання для трансформації низькочастотного струму.

У фізичних кабінетах середніх шкіл широке застосування одержали трансформатори низької частоти із замкнутими осерддями різної конструкції, трансформатори з незамкнутими осерддями – індукційні котушки ИВ-50, автотрансформатори – плавні регулятори напруги РНШ.

#### Трансформатор універсальний.

В комплект трансформатора входить (рис. 1):

- 1 – U – подібне осердя з ярмом і затискачами для кріплення ярма;
- 2 – котушка на 120/220 В;
- 3 – котушка на 6/6 В;
- 4 – два сталевих наконечника конусоподібної форми;

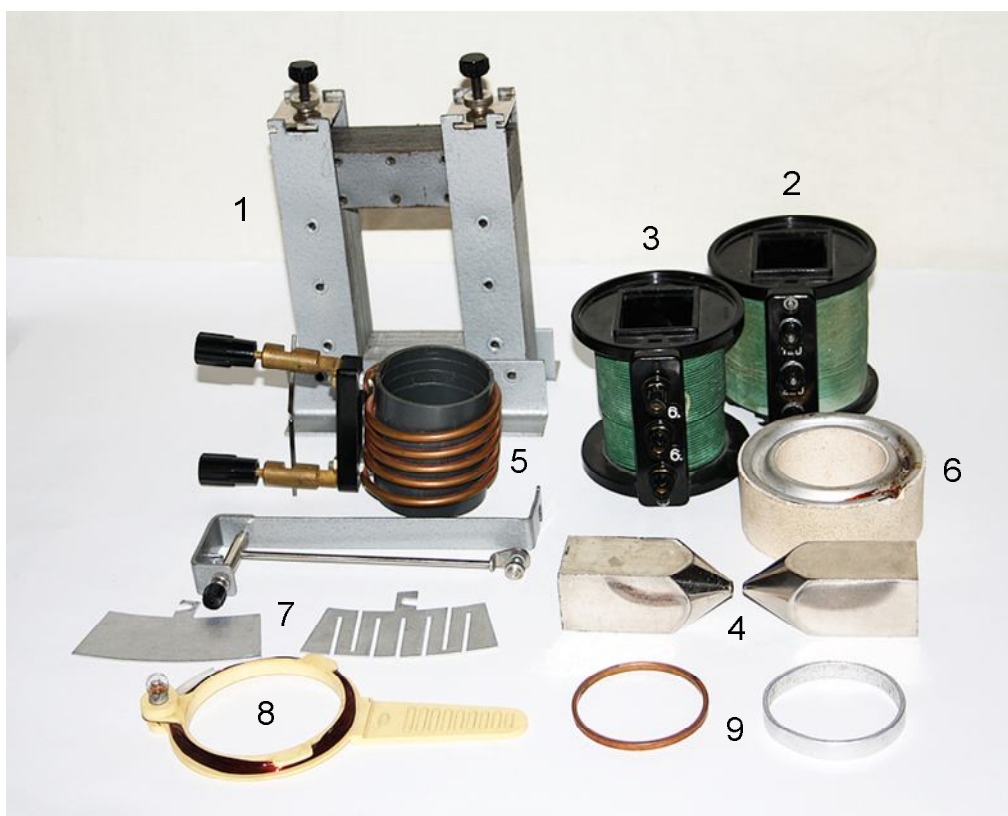


Рис. 1

5 – котушка з товстого мідного дроту для демонстрації електрозварювання і два електроди;

6 – кільце – жолоб з червоної міді на вогнетривкій основі для демонстрації принципу дії індукційної печі;

7 – маятник з двома пластинами;

8 – плоска котушка з низьковольтною лампочкою;

9 – мідне та алюмінієве кільця.

Основні технічні дані трансформатора: потужність 60 Вт, струм холостого ходу при живленні від мережі напругою 220 В не більше 0,3 А.

Обмотка котушки на 120/220 В складається з двох секцій, з'єднаних між собою послідовно згідно схеми, зображеній на рис. 2. Обмотка котушки на 6/6 В теж складається з двох секцій, з'єднаних між собою послідовно згідно схеми на рис.3. Виводи обмоток припаяні до затискачів, змонтованих на панелі, яка закріплена на каркасі котушки.

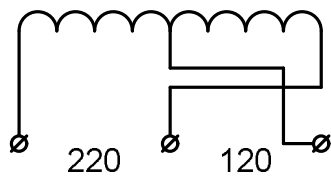


Рис. 2

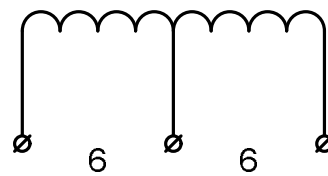


Рис. 3

### Трансформатор розбірний.

Трансформатор розбірний використовується для демонстрації перетворення напруги змінного струму та для проведення дослідів з електромагнітної індукції та самоіндукції.

Складається трансформатор (рис. 4) із залізного осердя, набраного з Г – подібних пластин, двох котушок і болта з гайкою для з'єднання частин осердя. Електрична схема зібраного трансформатора показана на рис. 5.

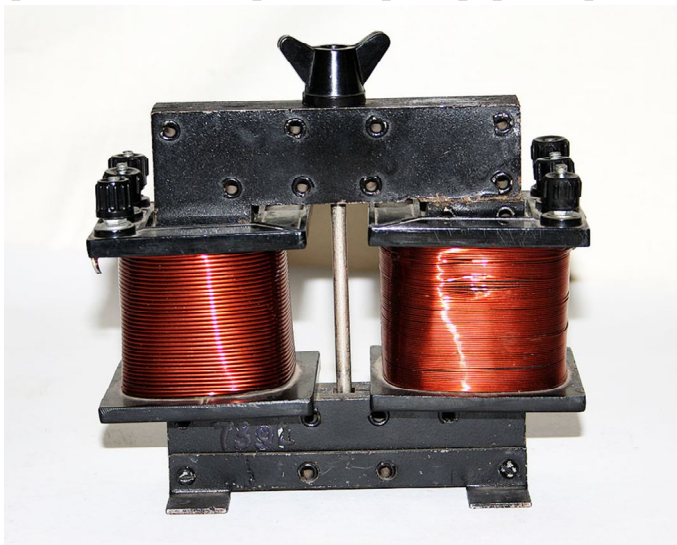


Рис. 4

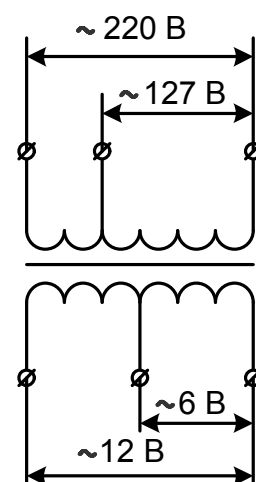


Рис. 5

## Трансформатори на панелях.



Рис. 6

Трансформатори на панелях призначені для ознайомлення з будовою і дією трансформатора а також для демонстрації передачі електроенергії на великі відстані. Комплект складається з двох трансформаторів, кожен з яких закріплений на вертикальній панелі (рис. 6). Максимальний струм обмотки на 4 В – 0,5 А, обмотки на 120 В – 0,1 А

## Індуктор високовольтний ИВ – 50.

Індуктор високовольтний ИВ – 50 (рис. 7) призначений для перетворення низької постійної напруги у високу напругу. Схему високовольтного індуктора показано на рис. 8.

Постійна напруга 6 – 8 В до первинної обмотки 2 підводиться через молоточковий переривник 6. Пружина переривника, доторкуючись до контакту регулятора, замикає коло первинної котушки індуктора. При цьому осердя 1 намагнічується, притягує до себе пружину і розмикає первинне коло. Після цього осердя розмагнічується і пружина знову торкається контакту регулятора, замикаючи коло первинної обмотки. Ці процеси періодично повторюються.

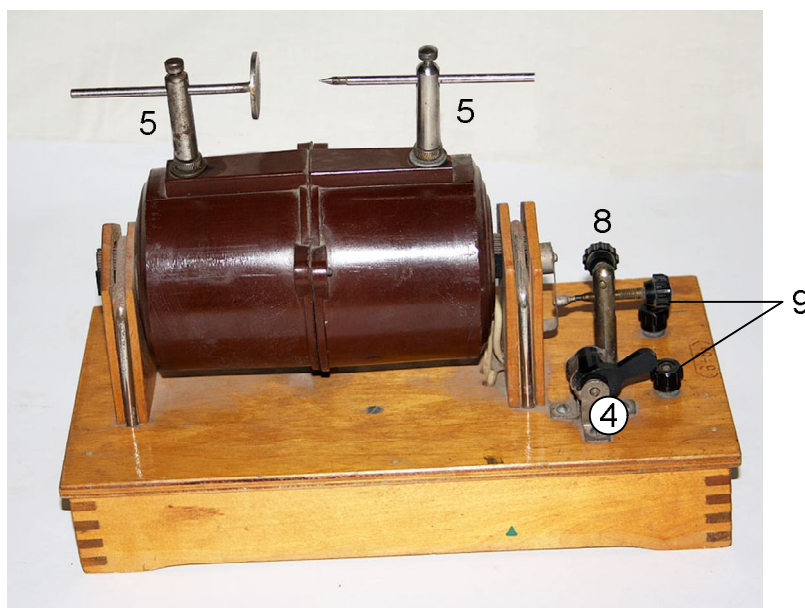


Рис. 7

Щоб загасити іскру, яка виникає при розмиканні кола переривником, паралельно йому включений конденсатор 7. У вторинній обмотці 3 індукується е.р.с. індукції.

Виводи вторинної обмотки з'єднані з двома стержнями – борнами 5, в яких закріплюються електроди. Напруга між борнами приладу 25 кВ. Напруга живлення 6 – 8 В. Довжина іскрового розряду при нормальних умовах 10 мм.

Під час роботи індуктора необхідно дотримуватись наступних правил техніки безпеки:

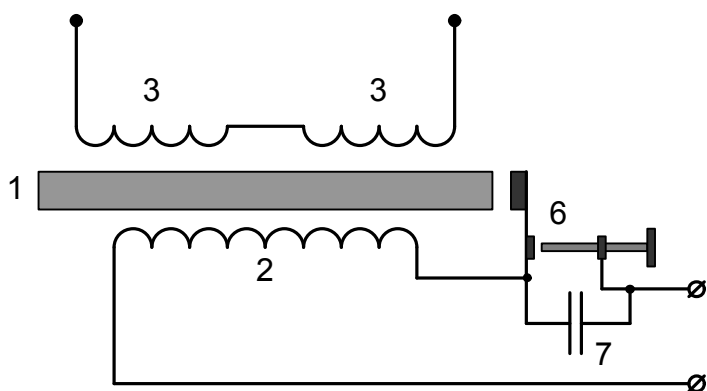


Рис. 8

1. Не торкатись руками до розрядника і борнів, а також до провідників, що йдуть від борнів до інших приладів.

2. Не допускати іскрового проміжку розрядника більше 50 мм, оскільки при цьому може бути пробита ізоляція вторинної обмотки.

3. Не допускати близького розташування провідників, що йдуть від борнів, і корпусу приладу.

4. Не допускати нагрівання

індуктора вище 40°C, оскільки це може привести до плавлення парафінової ізоляції вторинної обмотки.

5. Не знімати пластмасові кришки і перемичку, так як це може привести до обриву провідників, що з'єднують вторинну обмотку з борнами.

Автотрансформатор РНШ буде розглянуто в лабораторній роботі № 5 „Електророзподільне обладнання”.

### Хід роботи.

У всіх завданнях, які передбачають підключення схем до мережі змінного струму з напругою 220 В, після складання електричного кола треба запросити викладача чи лаборанта для перевірки складеного кола. **Підключати коло до мережі можна лише після одержання дозволу.**

**Завдання 1. Ознайомтесь з комплектом деталей, що входять в набір "Трансформатор універсальний".**

1. Перевірте комплектність набору та призначення кожної з деталей набору.

2. Складіть трансформатор, для чого на U – подібне осердя надіньте котушки 120/220 В і 6/6 В. Замкніть осердя ярмом, щільно затиснувши ярмо затискачами. Ярмо треба класти шліфованою поверхнею на шліфовані площини осердя.

## Завдання 2. Покажіть трансформацію змінного струму.

Зберіть електричне коло за схемою рис. 9. Як первинну використайте обмотку на 220 В. PV1 і PV2 – це демонстраційні вольтметри, до яких слід підібрати відповідні додаткові опори (див. роботу № 2). Можна також використати мультиметри: PV1 – на межі 750 В, PV2 – на межі 200 В змінного струму. Замкніть ключ і покажіть, що при напрузі на первинній обмотці близько 220 В на вторинній обмотці одержується напруга 6 В чи 12 В.

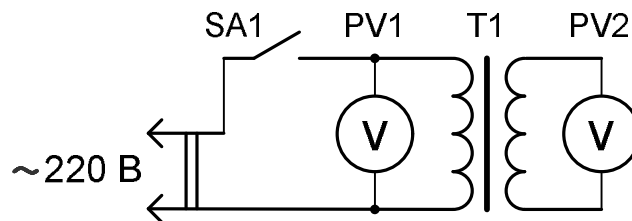


Рис. 9

## Завдання 3. Покажіть залежність сили струму в первинній і вторинній обмотках від навантаження у вторинній обмотці.

1. Доповніть попереднє коло амперметрами, реостатом (30 Ом, 5 А) і ключем (рис. 10). До демонстраційних амперметрів PA1 і PA2 слід підібрати відповідні шунти (див. роботу № 2). Як вторинну обмотку використайте обмотку на 12 В.

2. Виміряйте струм холостого ходу трансформатора. Для цього замкніть ключ в первинній обмотці і запишіть покази амперметра в первинній обмотці при розімкненому ключі у вторинній обмотці.

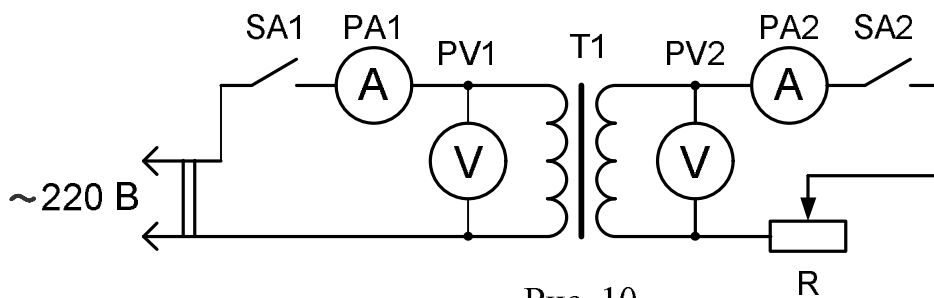


Рис. 10

3. Замкніть ключ у вторинній обмотці. Переміщуючи повзунок реостату, збільшуйте силу струму у вторинній обмотці і для кожного положення повзунка записуйте покази амперметрів в обох обмотках.

4. Зробіть висновок з демонстрації.

**Зауваження.** Спроба використати в цій демонстрації в якості PA1 демонстраційний амперметр з шунтом на 3 А буде невдалою, оскільки струм в первинній обмотці навіть при максимальному навантаженні не перевищує 0,5 – 0,6 А. При визначенні струму холостого ходу відхилення стрілки практично відсутнє. Щоб забезпечити достатні покази приладу, слід виготовити саморобний



шунт опором 0,5 – 1 Ом, який зменшить межу вимірювання амперметра приблизно до 600 мА. Опір шунта треба підбирати експериментально до кожного конкретного амперметра, використовуючи контрольний амперметр змінного струму з відповідною межею вимірювань. На заводську шкалу слід прикріпити саморобну, яка відповідатиме виготовленому шунту.

#### **Завдання 4. Продемонструйте індуктивну дію змінного струму.**

1. Зберіть установку, зображену на рис. 11. Через ключ приєднайте котушку до мережі 220 В.

2. Не замикаючи ключ, надіньте на ярмо мідне кільце і покладіть його на каркас котушки. Замкніть ключ: кільце підкидається вгору і „плаває” в повітрі.

3. Через декілька хвилин кільце помітно нагріється.

***Не включайте струм на тривалий час!***

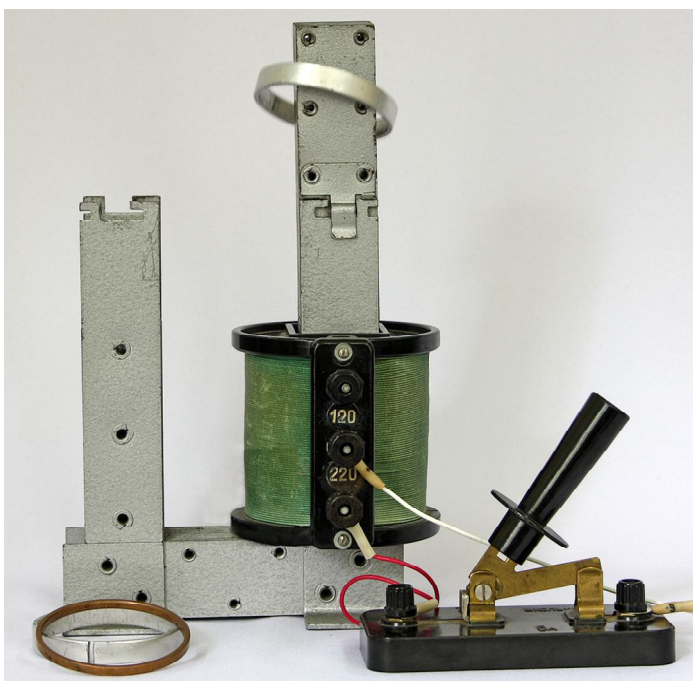


Рис. 11

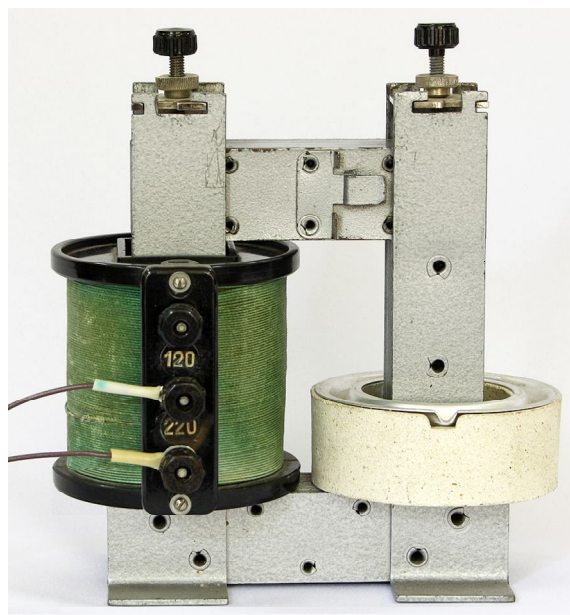


Рис. 12

4. Замініть мідне кільце алюмінієвим. При замиканні ключа кільце злітає вгору і зіскакує з ярма. Якщо замість суцільного алюмінієвого кільця використати кільце з розрізом, то ефект буде відсутній.

5. Замкніть ключ і піднесіть зверху до ярма плоску котушку з низьковольтною лампочкою. На невеликій відстані від ярма під дією індукційного струму лампочка починає світитися. Яскравість збільшується в міру наближення котушки до ярма і при надіванні котушки на ярмо. ***Слідкуйте за тим, щоб яскравість лампочки не була значною: лампочка може перегоріти.***

#### **Завдання 5. Продемонструйте модель індукційної печі.**

1. Зберіть установку, зображену на рис. 12. Через вимикач приєднайте котушку до мережі 220 В.

2. В жолоб покладіть декілька шматочків свинцево-олов'яного припою.
3. Увімкніть трансформатор в мережу і покажіть, що через декілька хвилин шматочки припою розплавляться.

***Будьте обережні! Жолоб і припій нагріваються до високої температури. Закінчивши демонстрацію, вимкніть трансформатор і почекайте, поки жолоб охолоне.***

### **Завдання 6. Продемонструйте принцип роботи зварювального трансформатора.**

1. Зберіть установку, зображену на рис. 13. Через вимикач приєднайте котушку до мережі 220 В.
2. В затискачі котушки для електрозварювання міцно закріпіть електроди з вістрями. Між вістрями повинен бути невеликий проміжок. Замість електродів можна взяти два гвіздки діаметром близько 2 мм, заточивши напилком їх кінці.

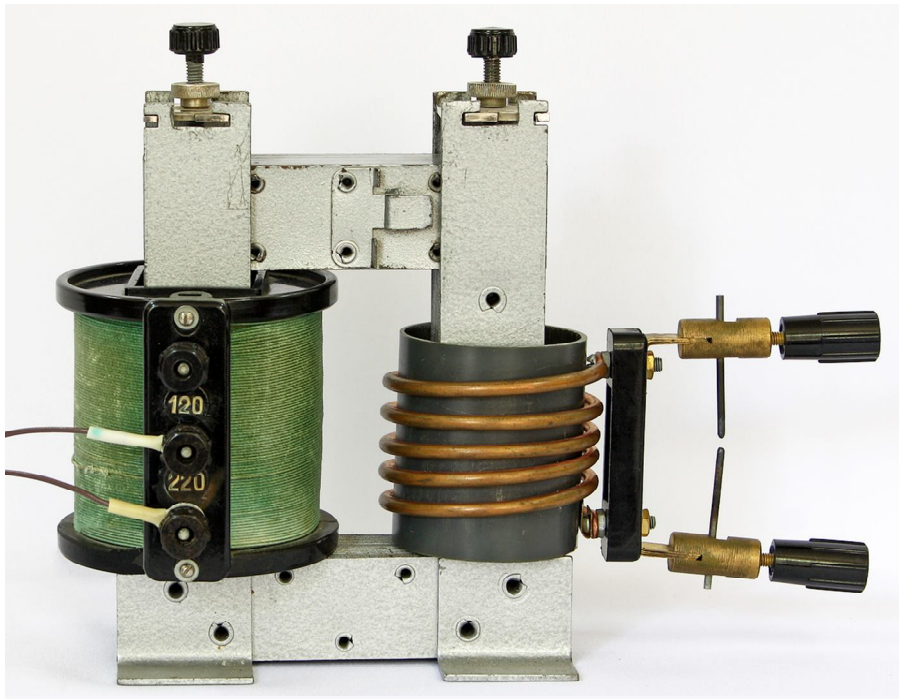


Рис. 13

3. Увімкніть котушку в мережу і наближайте кінці стержнів до зіткнення. В місці дотику внаслідок великого опору кінці стержнів розжаряться до червоного. В цей час слід сильніше стиснути ручки і відключити обмотку котушки від мережі. Після охолодження кінці стержнів будуть зварені.

### **Завдання 7. Продемонструйте принцип передавання електроенергії на відстань.**

1. Як джерело змінної напруги 3 – 4 В використайте вторинну обмотку на 6 В розбірного трансформатора. Його первинну обмотку на 220 В підключіть до регулятора напруги РНШ. До вторинної обмотки трансформатора через вимикач

приєднайте низьковольтну лампочку 3,5 В 0,28 А. Схема електричного кола зображена на рис. 14.

**Перед тим, як увімкнути РНШ в мережу, не забудьте регулятор напруги поставити на нуль!**

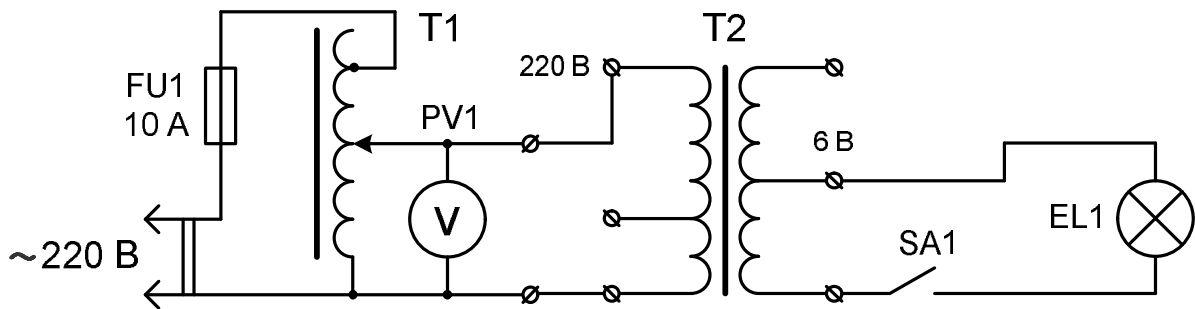


Рис. 14

2. Підключіть РНШ до мережі і встановіть на ньому напругу близько 100 В. Точне значення напруги визначте за яскравістю горіння лампочки: вона повинна горіти з повним розжаренням. В усіх подальших дослідах напругу на РНШ не змінюйте. Цю частину демонстрації краще виконати заздалегідь, до уроку. На уроці зразу демонструємо яскраве горіння лампочки при замиканні SA1.

3. Доповніть електричне коло реостатом R (див. рис. 15). Підберіть опір реостату таким, щоб нитка лампочки при замиканні кола майже не розжарювалась. Ця схема моделює значні втрати енергії при передачі низькою напругою.

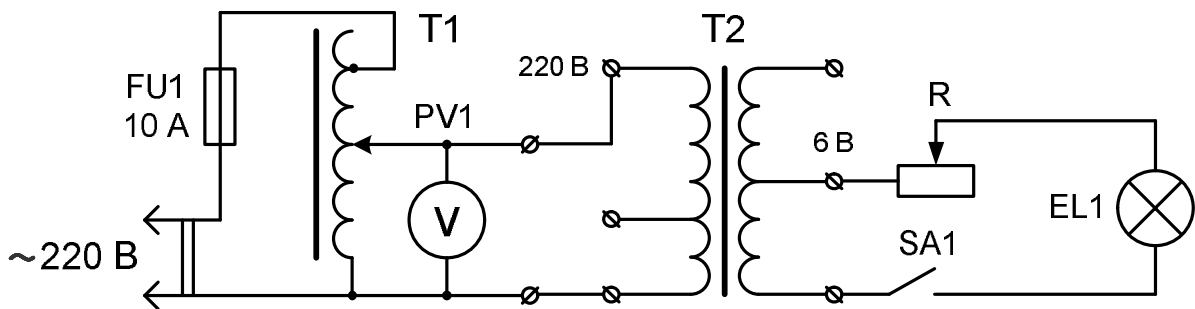


Рис. 15

4. Розмістіть „лінію електропередачі” з реостатом R між двома трансформаторами T3 і T4 (рис. 16). При замиканні ключа SA1 лампочка горить майже з повним розжаренням: втрати електроенергії стали значно меншими.

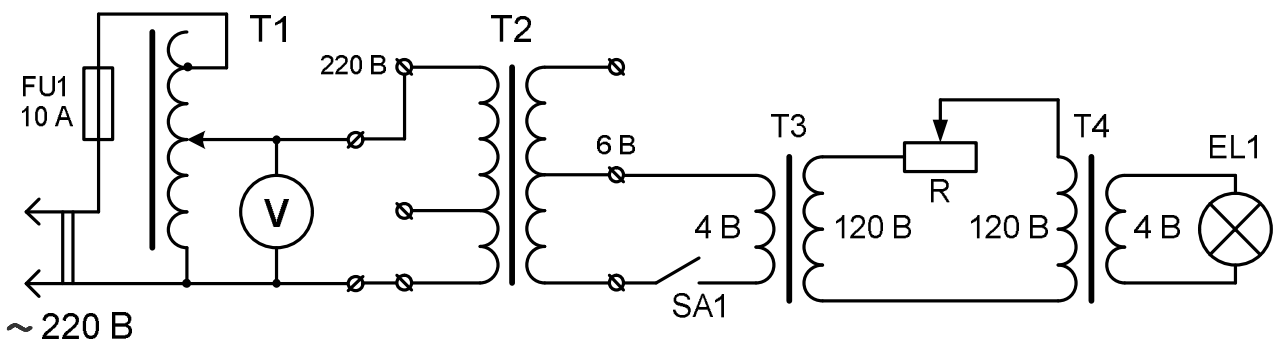


Рис. 16

## **Завдання 8. З допомогою високовольтного індуктора ИВ-50 продемонструйте іскровий розряд в атмосферному повітрі.**

1. Розрядники індуктора закріпіть в борнах так, щоб відстань між вістрям голки і площиною диска не перевищувала 50 мм.
2. Клеми первинної обмотки 9 (див. рис. 7) ізольованими провідниками приєднайте до джерела постійної напруги 6 – 8 В (наприклад, до випрямляча ВС-4-12).
3. Перемикач індуктора 4 поставте в положення ручкою вгору.
4. Увімкніть джерело живлення в мережу і поверніть перемикач первинної обмотки індуктора на 90°
5. Обертаючи гвинт регулювання переривника, приведіть переривник в дію. Підберіть такий режим роботи переривника, при якому іскріння на його контактах буде мінімальним. Після цього гвинт регулювання переривника закріпіть фіксуючим гвинтом 8.
6. При нормальній роботі індуктора між вістрям і диском розрядника, розташованих на відстані до 50 мм, проскакує яскрава іскра. Нагадаємо, що відстань між вістрям і диском не можна встановлювати більшою, ніж 50 мм.
7. Зміна полярності розряду досягається зміною напрямку струму в первинній котушці при повороті перемикача на 180°.

При правильній полярності диск розрядника повинен бути катодом, а вістря – анодом. Про напрям струму можна судити лише по виду іскри: якщо іскра б'є з вістря до центра диска, то диск заряджений негативно (катод); якщо іскра б'є з вістря на краї диска – то диск заряджений позитивно (анод). В останньому випадку треба повернути перемикач індуктора в протилежну сторону.

### **Контрольні запитання.**

1. Який принцип роботи низькочастотного трансформатора?
2. Яка роль замкнутого сталюого осердя?
3. Чому осердя трансформатора виготовляється набраним з окремих сталевих пластин, ізольованих одна від одної шаром ізоляції?
4. Чому дорівнює к.к.д. трансформатора? Як його визначити?
5. Який принцип роботи високовольтного індуктора?
6. Що необхідно знати про коло навантаження, підбираючи тип трансформатора для живлення кола змінним струмом?
7. Як можна оцінити напругу між борнами високовольтного індуктора?

## **ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 4**

### **ВИПРЯМЛЯЧІ**

**Мета роботи:** Ознайомитись з будовою, принциповою та монтажною схемами випрямлячів, їх технічними даними і правилами експлуатації різних видів напівпровідникових випрямлячів. Навчитись використовувати їх для проведення демонстрацій.

**Прилади і матеріали:** Випрямлячі ВСШ-6, ВС 4-12, В 24 або ВС-24м, ВУП - 2, діод типу Д 242 на підставці, електрична лампочка (6 В 1 А) на підставці, демонстраційні амперметри і вольтметри, мультиметр, реостати (на 30 Ом 5А, на 6 Ом 2 А), електромагніт розбірний, набір для електролізу з розчином мідного купоросу, демонстраційний вакуумний діод (або тріод типу 6Н7С на панельці), ключі, штатив з затискачами, важки по 100 г з гачками, з'єднувальні провідники.

### Теоретичні відомості.

При виконанні різних демонстрацій, лабораторних робіт і робіт фізичного практикуму необхідні джерела постійного струму. Для фізичних кабінетів шкіл випускаються напівпровідникові випрямлячі різних типів. Широко поширені в школах випрямлячі ВСШ-6, ВС 4-12, ВС-24м, ВУП-2. З назви випрямлячів видно, що в приладах використано селенові вентиля. У випрямлячах останніх років випуску вже використовуються кремнієві чи германієві вентиля, як більш надійні. До того ж кремнієві та германієві діоди мають значно менші габарити, що дозволяє легко виконати відповідну заміну самим вчителем фізики. Можна рекомендувати використати досить поширені діоди Д214, Д215, Д242, Д243, Д245, Д246, Д247, або більш сучасні, аналогічні за характеристиками вищенаведеним. Діоди випрямляча треба встановлювати на радіаторах, які забезпечуватимуть необхідний тепловий режим діодів. В корпусі випрямляча при заміні селенових вентилів діодами залишиться досить місця для найпростішого фільтра на електролітичному конденсаторі великої ємності.

Для випрямлення змінного струму використовують випрямлячі однопівперіодні, двопівперіодні з виводом від середньої точки вторинної обмотки трансформатора, мостові, з подвоєнням напруги. Найчастіше такі випрямлячі мають фільтри для зменшення пульсацій, що починаються з конденсатора.

Однопівперіодну (однофазну) схему випрямляча (рис. 1) використовують при потужності в навантаженні до 5 – 10 Вт і тоді, коли не потрібен малий коефіцієнт пульсацій. Переваги однопівперіодного випрямляча – мінімальне число елементів, низька вартість, можливість роботи без трансформатора. Недоліки – низька частота пульсацій (дорівнює частоті мережі живлення), погане використання трансформатора.

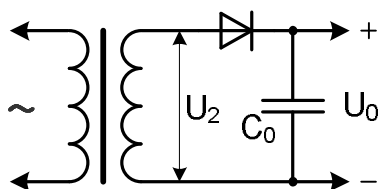


Рис. 1

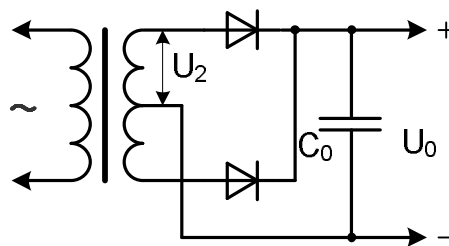


Рис. 2

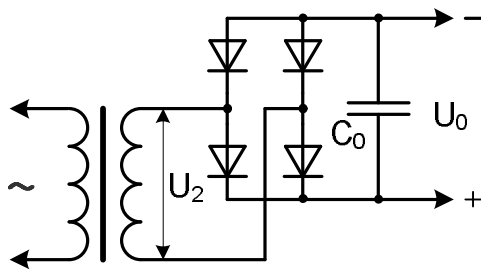


Рис. 3

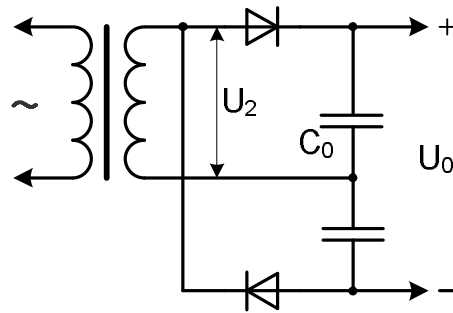


Рис. 4

Двопівперіодну схему з виводом від середньої точки вторинної обмотки трансформатора (двофазну, рис. 2) використовують при потужностях до 100 Вт і випрямлених напругах до 400 – 500 В. Такі випрямлячі характеризуються збільшеною частотою пульсацій, можливістю встановлення діодів на спільному радіаторі, проте на діодах в цій схемі збільшена зворотна напруга і трансформатор має більш складну конструкцію.

Однофазна мостова схема (рис. 3) характеризується гарним використанням потужності трансформатора, тому рекомендується при потужності в навантаженні до 1000 Вт і більше. Переваги випрямлячів, виконаних за цією схемою, – збільшена частота пульсацій, невисока зворотна напруга на діодах, можливість роботи без трансформатора. Недоліки – збільшене падіння напруги на вентильному комплекті, неможливість встановлення однотипних діодів на одному радіаторі без ізоляційних прокладок.

Симетричну схему з подвоєнням напруги (рис. 4) використовують при потужності в навантаженні до 1000 Вт і випрямлених напругах більше 500 – 600 В. При однакових випрямлених напругах напруга на вторинній обмотці трансформатора при схемі подвоєння майже вдвічі менша, ніж при мостовій. Зворотна напруга на вентилях при цій схемі приблизно така ж, як і при мостовій, частота пульсацій вдвічі більша частоти мережі живлення.

### Випрямляч ВСШ-6.

Випрямляч селеновий ВСШ-6 призначений для живлення різноманітних навчальних електричних приладів постійним струмом силою до 2 А і напругою 6 В при проведенні лабораторних робіт і демонстраційних дослідів з фізики в середній школі.

Живлення приладу здійснюється від мережі змінного струму напругою 220 чи 127 В частотою 50 Гц. Слід врахувати, що вихідна напруга 6 В на клеммах приладу буде лише при струмі навантаження 2 А, при менших струмах напруга буде більшою.

Зовнішній вигляд випрямляча показано на рис. 5, вид зі знятою кришкою корпусу – на рис. 6. Принципова електрична схема випрямляча показана на рис. 7. У випрямлячі використана двопівперіодна схема з виводом від середньої точки вторинної обмотки трансформатора.



Рис. 5

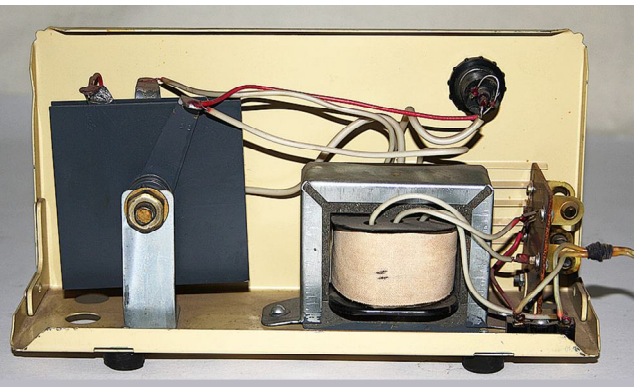


Рис. 6

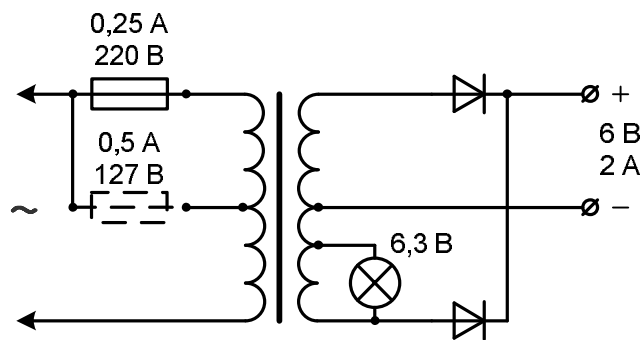


Рис. 7

При використанні випрямляча не допускається струм навантаження більший, ніж 2 А. Час неперервної роботи приладу – 45 хвилин. Рекомендується включати прилад в мережу, підключивши попередньо навантаження. Перед експлуатацією корпус приладу необхідно заземлити.

### Випрямляч ВС 4-12.

Випрямляч селеновий ВС 4-12 призначений для живлення різних електричних схем і установок постійним струмом силою до 3 А і напругою до 12 В при проведенні лабораторних робіт в школі.

Зовнішній вигляд випрямляча показано на рис. 8, вид зі знятою кришкою корпусу – на рис. 9. Принципова електрична схема випрямляча показана на рис. 10. У випрямлячі використана однофазна мостова схема.

Перемикач SA2 дозволяє одержати 5 вихідних напруг від 4 до 12 В при максимальній силі струму 3 А. Слід враховувати, що при меншому струмі навантаження вихідні напруги будуть більшими.

При використанні випрямляча не допускається струм навантаження більший, ніж 3 А. Час неперервної роботи приладу – 45 хвилин. Рекомендується включати прилад в мережу, підключивши попередньо навантаження. Перед експлуатацією корпус приладу необхідно заземлити.

Після тривалого зберігання випрямляча його необхідно електрично відформувати. Для цього раз на рік чи перед експлуатацією його слід увімкнути в мережу з номінальною напругою на кілька годин в режимі холостого ходу.



Рис. 8

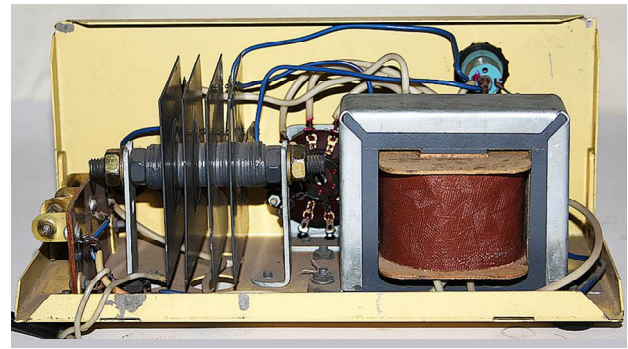


Рис. 9

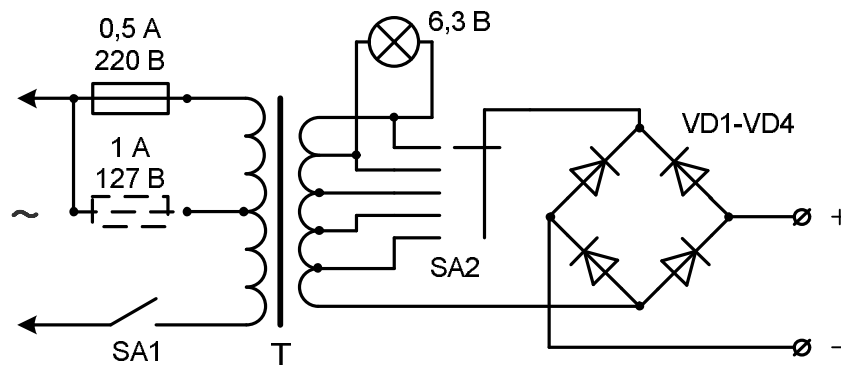


Рис. 10

### Випрямляч В-24 (BC-24м).

Випрямляч В-24 призначений для живлення різних електричних схем і установок змінним і постійним пульсуючим струмом при проведенні лабораторних робіт та демонстрацій на уроках фізики в школі. Випрямляч призначений для використання в мережі змінного струму частотою 50 Гц з номінальною напругою 220 В. Прилад дає можливість одержати:

- змінний струм з плавно регульованою напругою від 0 до 30 В і силою струму до 10 А;
- випрямлений струм з плавно регульованою напругою від 0 до 24 В і силою струму до 10 А.

Максимальна споживана потужність випрямляча – 500 Вт.

Зовнішній вигляд випрямляча показано на рис. 11, вид зі знятою кришкою корпусу – на рис. 12. Принципова електрична схема випрямляча показана на рис. 13. У випрямлячі використана однофазна мостова схема.

В-24 відрізняється від BC-24м лише типом діодів: у випрямлячі BC-24м діоди селенові, у В-24 діодний міст зібраний з діодів Д 242 А, закріплених на радіаторах (див. рис. 12).

Не допускається вмикати випрямляч в мережу, напруга якої не відповідає номінальній напрузі, вказаній вище.

Сумарна сила струму випрямленого і змінного на виході приладу не повинна перевищувати 10 А.

Час неперервної роботи випрямляча не повинен перевищувати 45 хвилин.

Перед початком експлуатації випрямляч необхідно заземлити.





Рис. 11

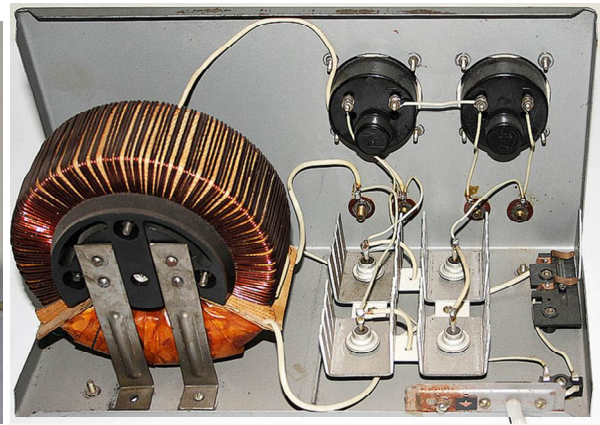


Рис. 12

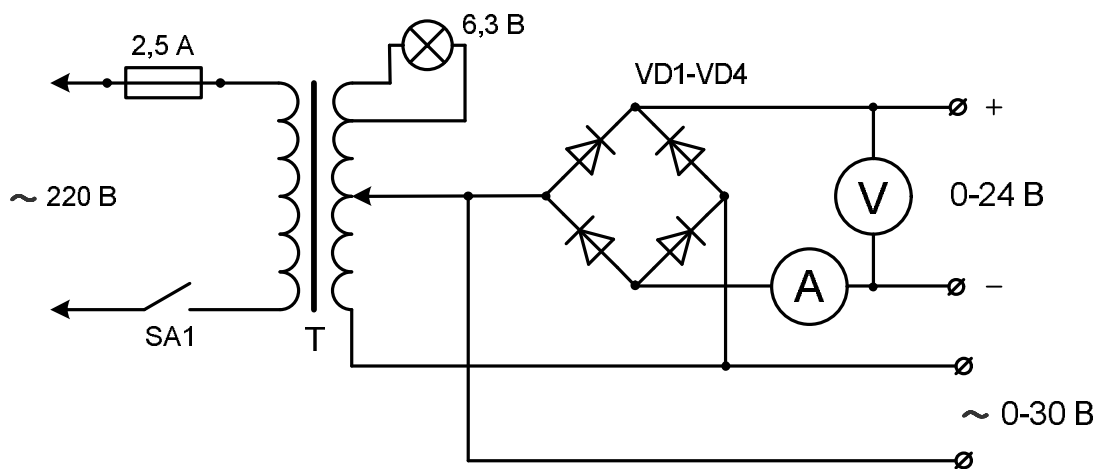


Рис. 13

## Випрямляч напівпровідниковий універсальний ВУП – 2.

Універсальний напівпровідниковий випрямляч призначений для живлення випрямленим електричним струмом різної напруги навчальних радіотехнічних приладів і демонстраційних установок, що використовуються в шкільному курсі фізики.

Випрямляч розрахований на підключення до мережі змінного струму частотою 50 Гц з напругою 220 (127) В. Він забезпечує наступні вихідні параметри:

- випрямлену напругу до дроселя без навантаження від 300 до 350 В. Найбільший струм навантаження 200 мА (при цьому випрямлена напруга може знизитись до 250 В).
- випрямлену напругу після дроселя  $250 \pm 10$  В при струмі навантаження до 50 мА (при цьому струмі випрямлена напруга на затискачі „350 В” повинна бути не менше 300 В);
- регульовану випрямлену напругу від 0 до  $250 \pm 10$  В при струмі навантаження до 50 мА;
- регульовану випрямлену напругу від 0 до  $\pm 100$  В при струмі навантаження до 5 мА;

- змінну напругу 6,3 В при струмі навантаження до 3 А.

Максимальна споживана потужність випрямляча – 150 Вт.

Зовнішній вигляд випрямляча показано на рис. 14, вид зі знятою кришкою корпусу – на рис. 15. Принципова електрична схема приладу показана на рис. 16. У випрямлячі для напруг 250 – 350 В використана однофазна мостова схема, а для напруги  $\pm 100$  В – два однопівперіодні випрямлячі, з'єднані послідовно.



Рис. 14

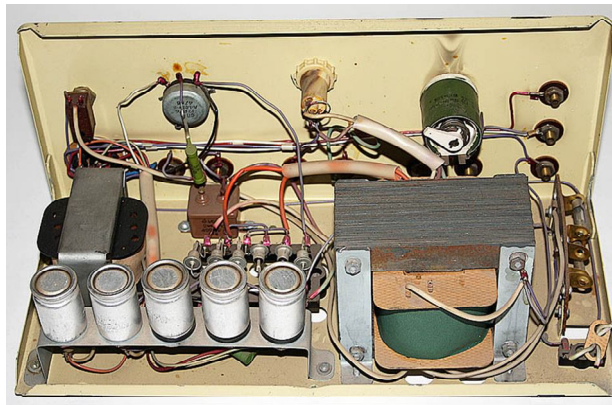


Рис. 15

На принциповій електричній схемі (рис. 16) позначені:

VD1 – VD6 – напівпровідникові діоди Д7Ж;

R1 – потенціометр 10 кОм, 25 Вт;

R2 – змінний резистор СП 47 кОм, 1 Вт;

R3, R4 – резистори ВС-1 5,1 кОм;

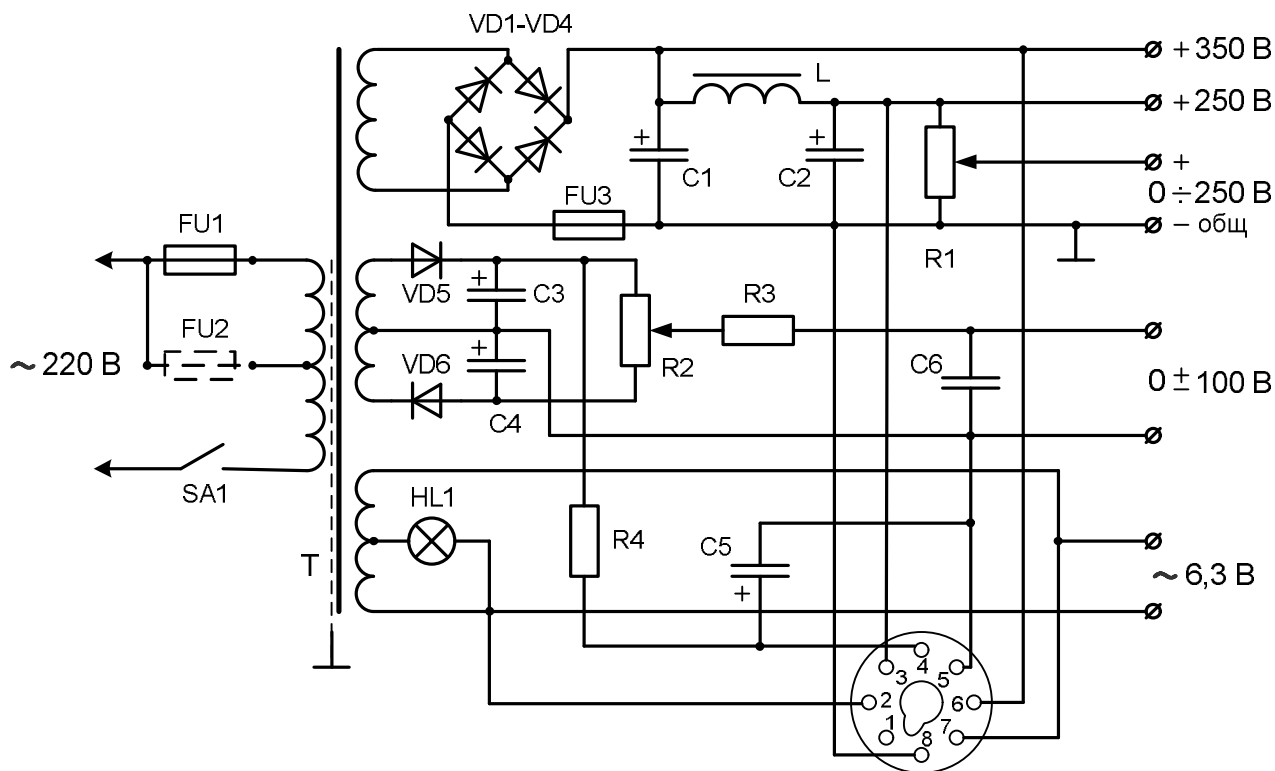


Рис. 16

С1, С2 – конденсатори електролітичні К 50-3 20 мкФ, 450 В;  
 С3, С4, С5 – конденсатори електролітичні К 50-3 20 мкФ, 350 В;  
 С6 – конденсатор МБГО 2 мкФ, 400 В;  
 L – дросель фільтра;  
 Т – трансформатор силовий;  
 FU1, FU2 – плавкий запобіжник ПК-30 1 А;  
 FU3 – плавкий запобіжник ПК-30 0,5 А;  
 HL1 – лампа мініатюрна 6,3 В 0,25 А;  
 SA1 – вимикач типу „тумблер”.

В нижній частині схеми зображена октальна лампова панель, призначена для підключення генератора сантиметрових хвиль з рупорною антеною, який входить в комплект приладів для вивчення властивостей електромагнітних хвиль.

### Хід роботи.

#### Завдання 1. Продемонструйте односторонню провідність напівпровідникового діода.

1. Зберіть електричну схему (рис. 17а), що складається з джерела струму (можна використати ВСШ-6 або акумулятор), електричної лампочки і вимикача. Замкніть коло і продемонструйте яскраве свічення лампочки.

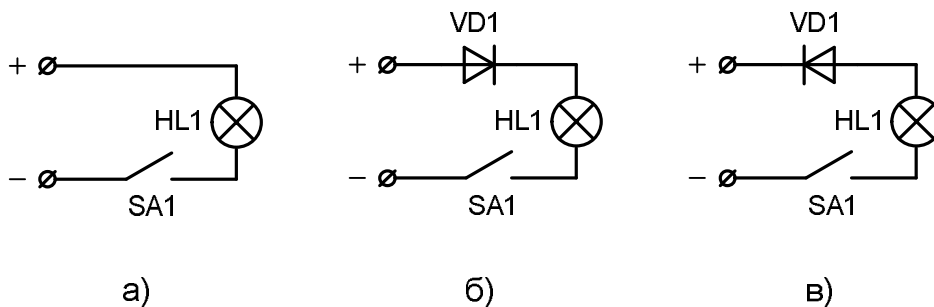


Рис. 17

2. Доповніть попередню схему діодом VD1, включеним у прямому напрямі (рис. 17б). Лампочка світиться так само яскраво.

3. Змініть напрям включення діода (рис. 17в): лампочка не світиться.

Для цього завдання треба потужний діод (типу Д242) закріпити в спеціальному тримачі, який дає змогу швидко вмикати діод в коло (рис. 18). Цей діод може бути використаний в ряді демонстрацій, описаних в наступних частинах.

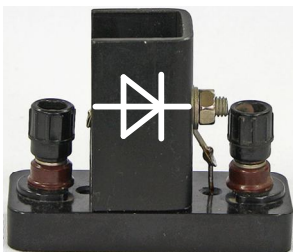


Рис. 18



Рис. 19

З діодом типу Д226 (рис. 19) цю демонстрацію теж можна показувати, але з малопотужною лампочкою, яка споживає струм не більше 0,3 А.

## **Завдання 2. Ознайомтеся з випрямлячем ВС 4-12.**

1. Ознайомтеся з будовою, електричною і монтажною схемами та технічними даними випрямляча ВС 4-12.

2. Перевірте вихідні дані випрямляча. Увімкніть випрямляч у мережу і в режимі холостого ходу виміряйте мультиметром напругу на вихідних клеммах при різних положеннях ручки перемикача.

3. Підключіть до вихідних клем випрямляча навантаження – реостат на 6 Ом 2 А. Увімкнувши прилад в мережу, знову виміряйте напругу на вихідних клеммах при різних положеннях перемикача. Порівняйте результати вимірювань і зробіть висновок.

## **Завдання 3. Використайте випрямляч ВС 4-12 для демонстрації роботи електромагніту розбірного.**

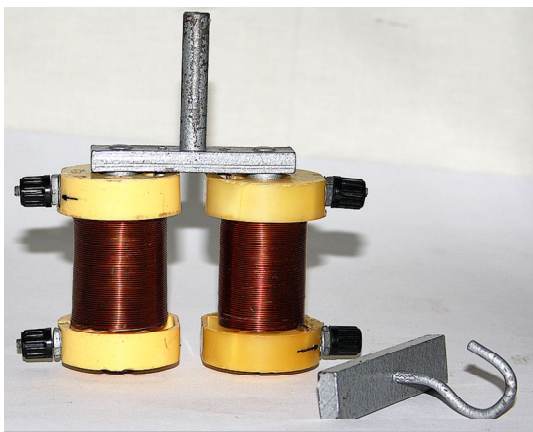


Рис. 20

1. Зберіть електромагніт. Для цього на кожен з стержнів осердя надіньте котушку так, щоб шпилька в планці попала в поздовжній паз на щічці котушки, і поверніть котушку на  $90^\circ$  відносно стержня осердя. При надіванні затискачі котушки повинні бути перпендикулярними до планки, а після повороту – розташовані вздовж планки (див. рис. 20).

2. З'єднайте обидві котушки електромагніту послідовно і виміряйте мультиметром їх спільний опір.

3. Знаючи опір навантаження, розрахуйте максимальну напругу, яку можна подавати на котушки, не перевищуючи максимальне значення сили струму (3 А).

4. Закріпіть електромагніт в штативі і приєднайте котушки електромагніту до клем випрямляча. Стежте за правильністю приєднання: на нижніх кінцях котушок повинні бути протилежні магнітні полюси. Увімкніть випрямляч у мережу і продемонструйте дію електромагніту. До крючка на перекладині підвісьте декілька важків по 100 г.

## **Завдання 4. Ознайомтеся з випрямлячем В – 24 (ВС – 24м).**

1. Ознайомтеся з будовою, електричною і монтажною схемами та технічними даними випрямляча В – 24 (ВС – 24м).

2. Продемонструйте одержання від приладу регульованої змінної напруги. Для цього приєднайте до клем змінного струму мультиметр, увімкнутий для вимірювання напруги змінного струму, увімкніть прилад в мережу і, змінюючи положення регулятора напруги, відмітьте для декількох положень покази вольтметра. В яких межах може змінюватись напруга змінного струму?

3. Підключіть до клем постійного струму навантаження – реостат 30 Ом 5 А. Паралельно до реостата приєднайте мультиметр, увімкнутий для вимірювання напруги постійного струму. Змінюючи положення регулятора напруги, відмітьте

для декількох положень покази вольтметра. В яких межах може змінюватись напруга постійного струму?

**Завдання 5. Використайте випрямляч В – 24 (ВС – 24м) для демонстрації явища електролізу.**

1. До клем постійного струму приєднайте прилад для вивчення електролізу (два вугільних електрода, опущених у розчин мідного купоросу).

2. Перед тим, як увімкнути випрямляч у мережу, регулятор напруги поставте в положення мінімальної вихідної напруги.

3. Увімкніть випрямляч у мережу і регулятором напруги встановіть струм 1 А. Спостерігайте за процесом електролізу протягом декількох хвилин. Вимкніть випрямляч з мережі і продемонструйте вугільні електроди: на катоді добре видно мідь, що виділилась при електролізі.

**Завдання 6. Ознайомтесь з випрямлячем ВУП-2.**

1. Ознайомтесь з будовою, електричною і монтажною схемами та технічними даними випрямляча ВУП – 2.

2. Увімкніть випрямляч у мережу і виміряйте мультиметром значення напруг на виходах + 250 В, +350 В і регульовану напругу на виході 0 – 250 В.

3. Виміряйте мультиметром напругу на двополярному виході  $0 \pm 100$  В. Зверніть увагу на покази мультиметра (+ чи –), при зміні положення регулятора напруги  $\pm 100$  В.

4. Виміряйте напругу змінного струму на виході  $\sim 6,3$  В. Не забудьте переключити мультиметр в режим вимірювання напруги змінного струму.

5. Виміряйте мультиметром напруги, підведені до октальної панелі. Гніздо 8 – спільний мінус, відносно 8-го на гнізді 6 повинна бути напруга + 350 В, на гнізді 3 – +250 В (при підключеному навантаженні), між 4 і 5 гніздами – напруга  $\pm 100$ В, між 2 і 7 – змінна напруга 6,3 В. Врахуйте, що нумерація виводів панелі на рис. 16 відповідає виду „знизу”, з боку ніжок панелі, а з лицьового боку (з боку гнізд) нумерація від ключа (виступ в центрі) йде проти годинникової стрілки.

**Завдання 7. Продемонструйте використання випрямляча ВУП-2 для живлення електронної лампи.**

1. Зберіть електричне коло згідно з рис. 21. Електронна лампа VL1 – це демонстраційний вакуумний діод. Напруга 6,3 В для живлення нитки розжарення та анодна напруга 250 В забезпечуються ВУП-2 (250 В від регульованого виходу). Для вимірювання анодного струму використовуйте мультиметр, включений в режимі вимірювання постійного струму.

При відсутності демонстраційного вакуумного діоду можна використати тріод 6Н7С, схему приєднання якого до випрямляча теж зображено на рис. 21.

2. Регулятор напруги 0-250 В поставте в положення мінімуму. Увімкніть ВУП-2 в мережу. Нитка розжарення вакуумного діода повинна розжаритись. Поворотом регулятора 0-250 подайте напругу на анод лампи. Мультиметр повинен показати анодний струм (значення струму через діод повинно бути в межах 7 – 9 мА).

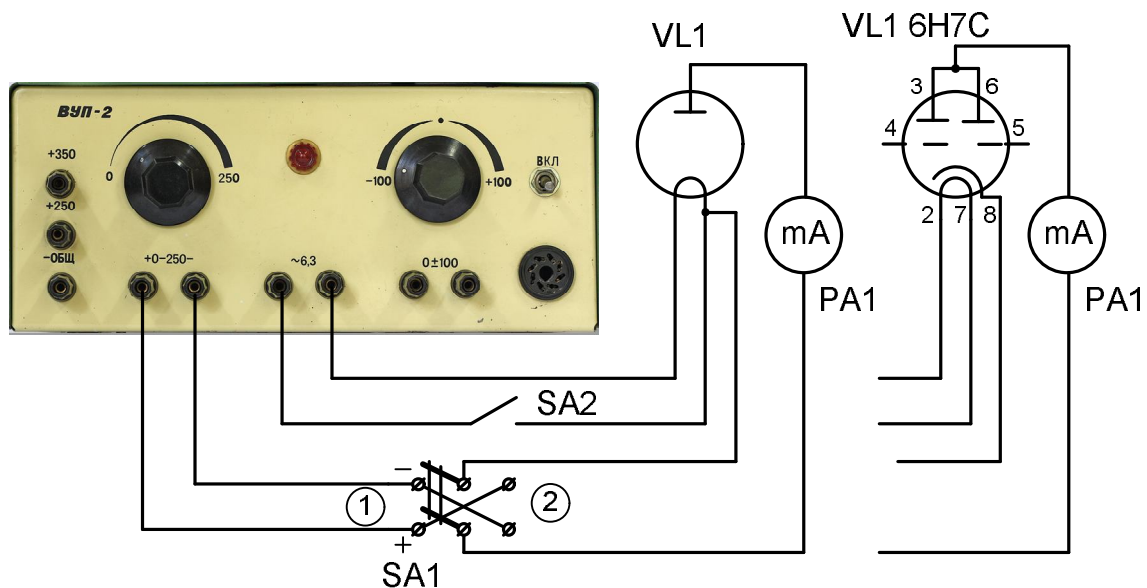


Рис. 21

### Контрольні запитання.

1. Який механізм односторонньої провідності напівпровідникового діода?
2. Який вид має вольт-амперна характеристика напівпровідникового діода?
3. Що називають добротністю вентиля?
4. Як з'єднуються між собою однакові напівпровідникові діоди для одержання максимальної сили струму? максимальної випрямленої напруги?
5. Поясніть принцип роботи випрямляча, зібраного за схемою з виводом від середньої точки вторинної обмотки трансформатора.
6. Поясніть принцип роботи випрямляча, зібраного за мостовою схемою.
7. Які переваги та недоліки випрямляча, зібраного за мостовою схемою, порівняно з випрямлячем, зібраним за схемою з виводом від середньої точки вторинної обмотки трансформатора?
8. Прилади якої системи встановлені у випрямляч В-24м?
9. Для яких шкільних експериментів може бути використаний випрямляч В-24м?
10. Вкажіть, в яких дослідах (два – три приклади) не має значення пульсація випрямленого струму. Яким чином, в разі необхідності, можна згладити пульсації випрямленого струму?
11. Чому для живлення радіотехнічних схем потрібен випрямляч з фільтром?
12. Чи можна випрямляч ВУП-2 використати для демонстрації явища електролізу чи досліду Ерстеда?

## ЕЛЕКТРОРОЗПОДІЛЬНЕ ОБЛАДНАННЯ

**Мета роботи:** Ознайомитись з будовою, принциповими і монтажними схемами, технічними параметрами та правилами експлуатації різних видів електророзподільного обладнання. Навчитись використовувати це обладнання для проведення різних демонстраційних дослідів.

**Прилади і матеріали:** Електророзподільний щит, регулятор напруги шкільний (РНШ), комплект КЭФ-10, мультиметр, амперметри і вольтметри лабораторні, дротяні резистори на 2 Ом і реостати для лабораторних робіт, електроплитка, дугова лампа, спарений реостат на 10-15 Ом і струм 10А, захисні окуляри для спостереження за електричною дугою, дріт з великим питомим опором, закріплений в штативах, прилади для одержання магнітних спектрів прямого, колового і соленоїдального струму, ключі, з'єднувальні провідники (в тому числі з перерізом не менше 2 мм<sup>2</sup>).

### Теоретичні відомості.

**Електророзподільний щит** (рис. 1, 2) призначений для одержання різних напруг змінного і постійного струму. Зазвичай щит встановлюють на стіні поруч з класною дошкою і підводять від нього до демонстраційного столу вихід регульованої напруги змінного та постійного струму.



Рис. 1

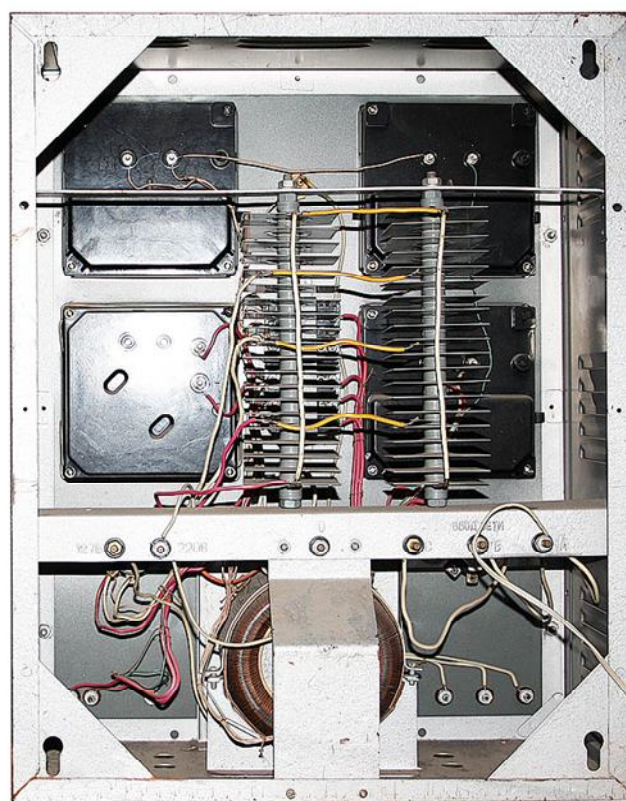


Рис. 2

Принципова схема електророзподільного щита зображена на рис. 3. В щиті для випрямлення змінного струму використовується селеновий випрямляч.

Конструкція щита розрахована на приєднання його до мережі трифазного струму з лінійною напругою 220 В, або до мережі однофазного струму з напругою 220 В. В першому випадку автотрансформатор приєднується до двох фазних проводів, напруга між якими 220 В. В Україні лінійна напруга трифазної мережі дорівнює 380 В, тому щит можна підключати лише до мережі однофазного змінного струму з напругою 220 В. Для приєднання використовуються затискачі X1 і X2 (рис 3). При стаціонарному підключенні бажано до затискача X1 приєднати фазний провід, а до затискача X2 – нульовий.

З допомогою щита можна одержати регульовану напругу змінного однофазного струму в межах 5 – 250 В при максимальній силі струму 9 А, і регульовану напругу постійного струму від 5 до 70 В при силі струму 8 А. Регульована напруга постійного струму в режимі холостого ходу – від 5 до 100 В. Увімкнення щита в мережу здійснюється з допомогою вимикача SA1, перемикачів режимів „ змінний струм – постійний струм ” – перемикачем SA2.

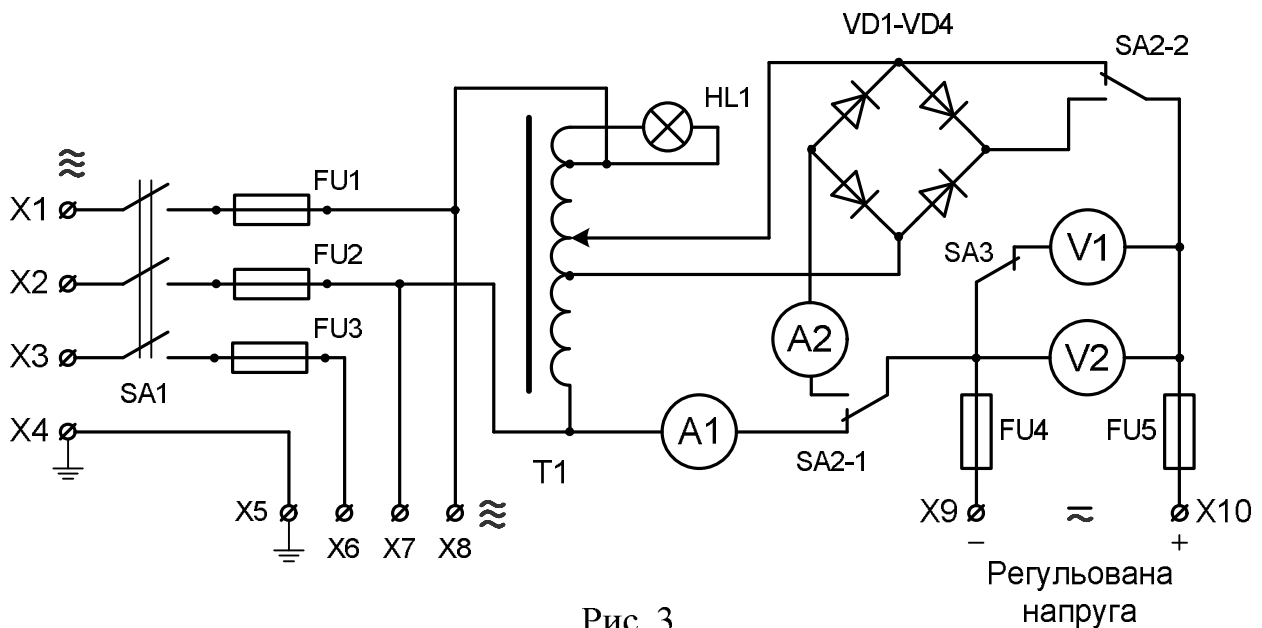


Рис. 3

Сила змінного струму вимірюється амперметром A1, постійного струму – A2. Напруга в обох випадках вимірюється вольтметрами V1 і V2; вольтметр V1 вимірює напругу до 30 В, а вольтметр V2 – від 50 до 250 В. Перемикач SA3 відключає V1, коли напруга перевищить 30 В. Цей перемикач встановлений на вісі автотрансформатора.

Для одержання від щита регульованої **змінної** напруги необхідно:

1. Ручку автотрансформатора поставити на нуль шкали змінного струму (внутрішня шкала).
2. Ручку перемикача „нагрузка” (SA2) поставити в положення „~”.
3. До клем „регулируемое напряжение” приєднати навантаження.
4. Ручку вимикача „сеть” (SA1) поставити в положення „включено”.



5. Повертаючи ручку автотрансформатора, встановити за показами приладів необхідну напругу.

6. Закінчивши роботу, треба ручку автотрансформатора поставити в нульове положення, вимкнути мережу, від'єднати від клем коло навантаження.

Для одержання від щита регульованої *постійної* напруги необхідно:

1. Ручку автотрансформатора поставити на нуль шкали постійного струму (зовнішня шкала).

2. Ручку перемикача „нагрузка” (SA2) поставити в положення „ =”.

3. До клем „регулируемое напряжение” приєднати навантаження, враховуючи полярність джерела.

4. Ручку вимикача „сеть” (SA1) поставити в положення „включено”.

5. Повертаючи ручку автотрансформатора вправо чи вліво від 0, встановити за показами приладів необхідну напругу.

6. Закінчивши роботу, треба ручку автотрансформатора поставити в нульове положення, вимкнути мережу, від'єднати від клем коло навантаження.

Перед початком експлуатації щита перевірте відповідність плавких запобіжників напрузі мережі: при напрузі 220 В всі запобіжники повинні бути розраховані на струм 10 А.

Не приєднуйте до щита навантаження більше, ніж те, на яке він розрахований. Перед тим, як приєднати навантаження до щита, розрахуйте наближено можливу силу струму. Затискач, позначений знаком „ $\perp$ ”, повинен бути з'єднаний з надійним заземленням.

**Регулятор напруги навчальний РНШ** призначений для плавного регулювання напруги однофазного змінного струму частотою 50 Гц при проведенні демонстраційних дослідів і лабораторних робіт у фізичних кабінетах середніх шкіл.



Рис. 4



Рис. 5

Зовнішній вид регулятора напруги показано на рис. 4, вид зі знятим

кожухом – на рис. 5. На рис. 6 зображена принципова електрична схема регулятора напруги.

В РНШ, як і в електророзподільному щиті, встановлено автотрансформатор, тому обидва прилади не забезпечують гальванічну розв'язку мережі і споживача, тобто на виході автотрансформатора може бути присутня фазна напруга (навіть при малих вихідних напругах). Це пояснюється наступним чином. В однофазній мережі 220 В один провід – фазний (діюча напруга на ньому відносно заземлення дорівнює 220 В), а другий – нульовий (напруга на ньому дорівнює 0).

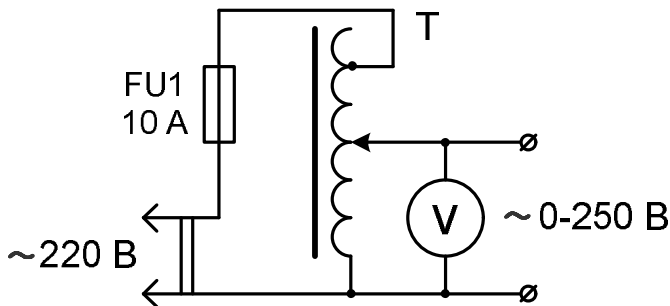


Рис. 6

Якщо випадково при увімкненні в мережу фазним буде нижній за схемою рис. 6 провід, то на виході РНШ буде фазна напруга, навіть при показах вольтметра, рівних нулю. Це може привести до ураження вчителя електричним струмом.

**У зв'язку з цим виконувати будь-який монтаж в колі споживача можна лише повністю відключивши РНШ від мережі.**

**Не дозволяється користуватись щитом чи РНШ учням.**

Правильний монтаж електророзподільного щита (згідно схеми на рис. 3) усуває цю проблему, хоч і не розв'язує гальванічно мережу і споживач. Працюючи з РНШ, треба після увімкнення його в мережу (ручка регулятора напруги повинна бути в нульовому положенні) перевірити індикатором на неоновій лампочці наявність високої напруги на вихідних клеммах приладу. У випадку, якщо лампочка світиться, треба витягнути вилку з розетки і знову вставити вилку, повернувши її на 180°.

Для гальванічної розв'язки мережі і споживача при використанні РНШ можна рекомендувати використання додаткового трансформатора (див. рис. 7).

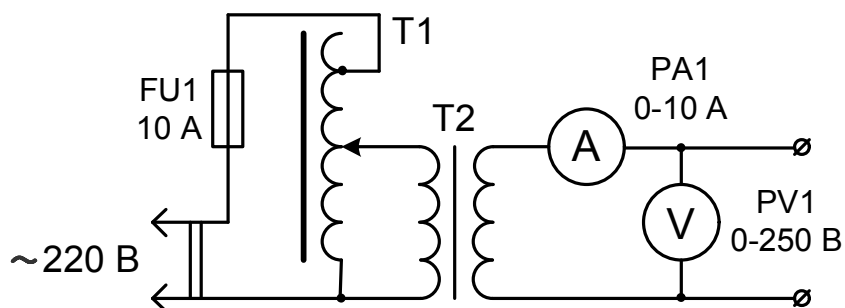


Рис. 7

В схемі на рис. 7 T2 – це трансформатор гальванічної розв'язки з коефіцієнтом трансформації 1:1 і потужністю, що визначається потужністю споживача.

У фізичних кабінетах шкіл, що не мають електророзподільного щита, його можна цілком замінити РНШ, доповнивши його випрямлячем, виконаним на потужних напівпровідникових діодах за мостовою схемою (рис. 8).

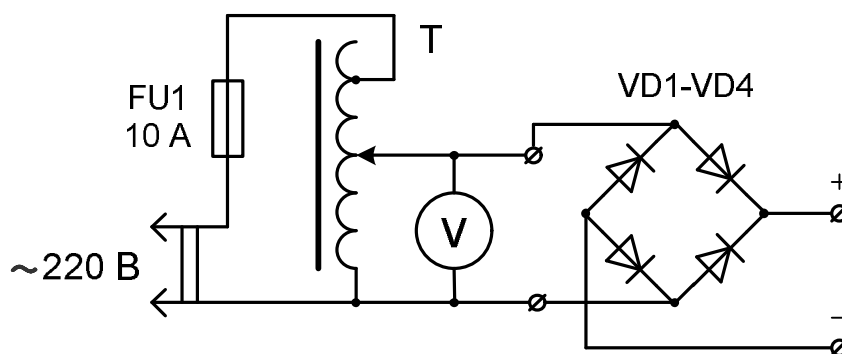


Рис. 8

### Комплект електропостачання КЭФ-10.

Як буде показано в ході виконання роботи, електророзподільний щит не можна використовувати як джерело постійної напруги (4 – 6 В) для виконання фронтальних лабораторних робіт з фізики.

Для забезпечення електроживленням приладів при проведенні демонстраційних дослідів, фронтальних лабораторних робіт, фізичного практикуму та гурткових занять використовується комплект електропостачання кабінету фізики середньої школи КЭФ-10.

Комплект дає можливість перетворити змінну напругу 220 В частотою 50 Гц в напругу 42 (36) В і виконати підведення цієї напруги до робочих місць учнів (три незалежні лінії). До демонстраційного столу підводиться напруга 220 В і 42 (36) В від однієї з ліній. В комплект входять також випрямлячі для фронтальних лабораторних робіт ВУ-4 (рис. 14), які працюють від мережі 42 (36) В.

Максимально допустима сила струму навантаження на лінії 220 В – 6 А; в кожній з трьох ліній на 42 (36) В – 10 А. Кожен випрямляч ВУ-4 розрахований на максимальний струм 2 А при напрузі близько 4 В. Номінальний режим експлуатації КЭФ-10 – 45 хвилин неперервної роботи з наступним відключенням на 10 хвилин.

В комплект КЭФ-10 входить:

- щит живлення ЩПУ;
- пристрій захисного відключення мережі УЗОШ;
- випрямлячі навчальні ВУ-4 (20 шт.);
- штепсельні розетки на напругу 42 В для столів учнів (20 шт.);
- дріт для підведення напруги до учнівських столів.

Зовнішній вид щита живлення показаний на рис. 9, щит з відкритою передньою панеллю – на рис. 10, схема підключення щита до мережі і до учнівських столів – на рис. 11.

Умовні позначення на принциповій схемі рис. 11 відповідають позначенням на самому щиті, що дозволяє легко відшукати необхідні контакти чи вимикачі.

Перед початком роботи всі тумблери треба встановити в положення „виключено” (рукоятками вниз). Необхідна напруга (36 чи 42 В, в залежності від типу випрямлячів ВУ-4) встановлюється тумблерами SA4, SA5, SA6.

Включення здійснюється в наступному порядку:

- автоматичні вимикачі ліній SF2, SF3, SF4 встановити в положення „ВКЛ”;
- автоматичний вимикач „сеть” SF1 встановити в положення „ВКЛ”;
- включити тумблери „линии” SA1, SA2, SA3, при цьому повинні загорітися сигнальні лампочки HL2, HL3, HL4.

Відключення здійснюється в зворотному порядку.



Рис. 9

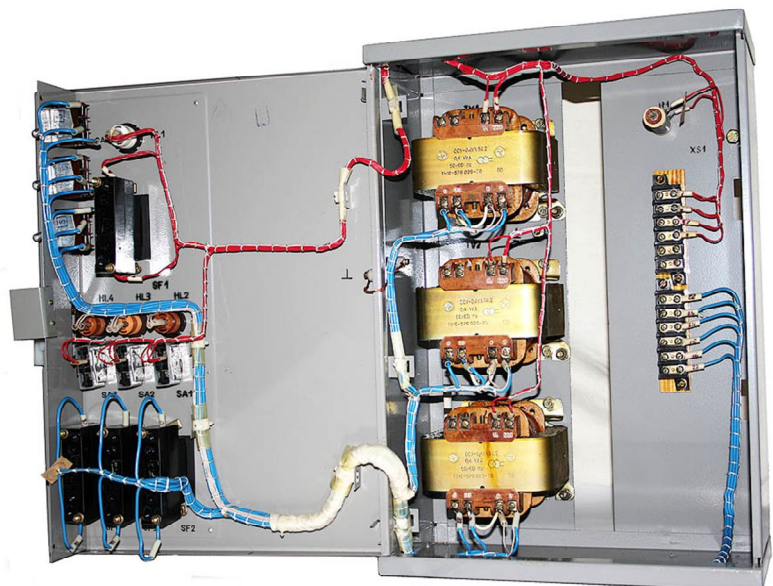


Рис. 10

В разі спрацювання автоматичних вимикачів необхідно відключити лінію, перевірити коло навантаження і усунути коротке замикання чи перевантаження лінії. В останньому випадку слід відключити частину споживачів.

Розташовувати щит живлення зручно в препараторській фізичного кабінету, а на демонстраційному столі встановити пульт керування електроживленням всього обладнання фізкабінету. Автоматичні вимикачі SF2 – SF4 в цьому випадку слід продублювати тумблерами на пульті керування.

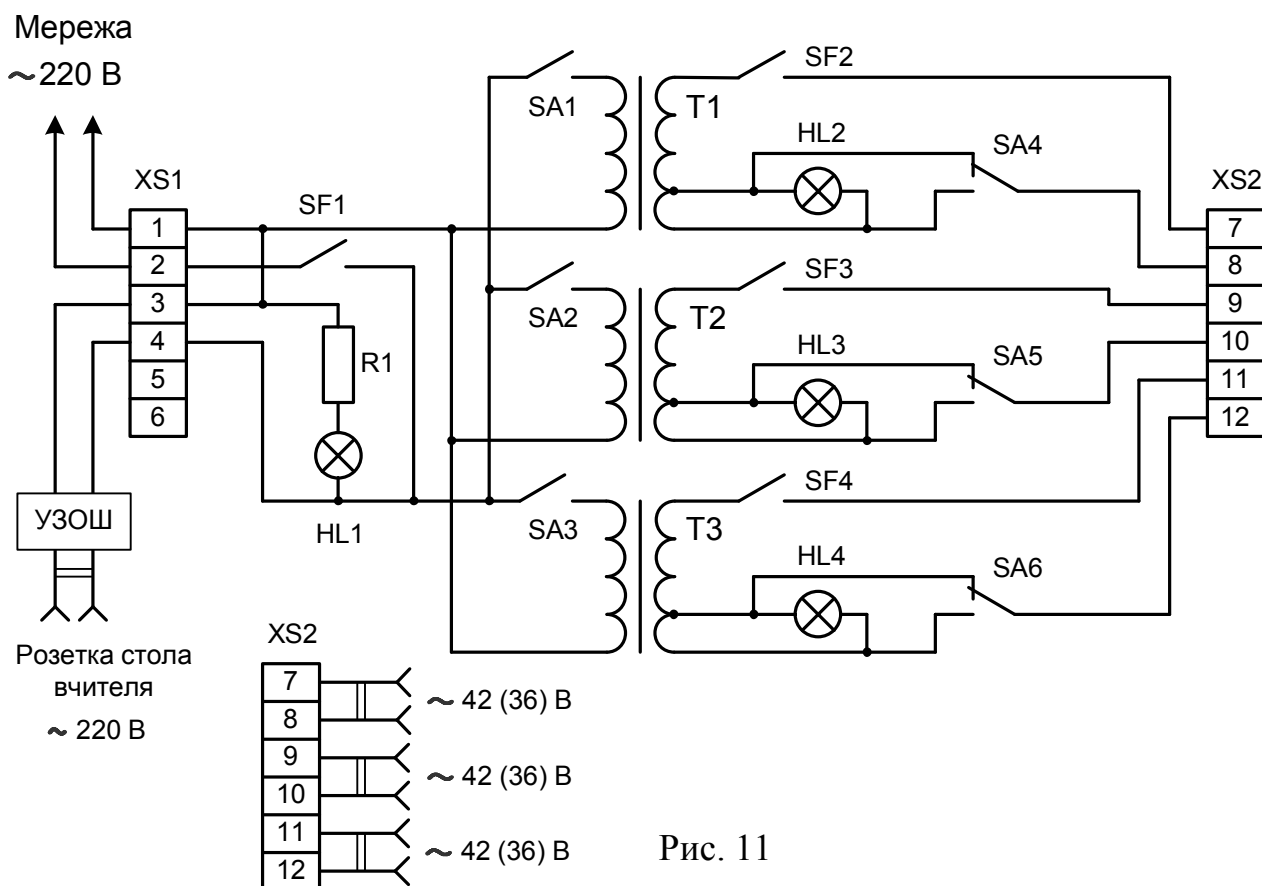


Рис. 11

### Хід роботи.

**Завдання 1. Ознайомтесь із зовнішнім видом і внутрішньою будовою електророзподільного щита, користуючись принциповою схемою.**

**Переконайтесь, що щит не підключений до мережі.**

1. Ознайомтесь з будовою передньої панелі. Визначте і запишіть, які електровимірювальні прилади встановлені на щиті (система приладу, для яких вимірювань, з якою межею вимірювань і ціною поділки).

2. З'ясуйте, як здійснюється регулювання напруги і чим відрізняється регулювання напруги постійного струму від регулювання напруги змінного струму.

3. Ознайомтесь з технічними параметрами і призначенням запобіжників FU1 – FU5. Відкрийте кришку на передній панелі щита, яка закриває запобіжники, і вийміть їх із тримачів. Використовуючи омметр від мультиметра, перевірте їх справність. Які з них не використовуються при включенні щита в однофазну мережу? Поставте запобіжники в тримачі і закрийте кришку.

4. Знайдіть затискачі, з допомогою яких щит підключається до мережі однофазного струму. На принциповій схемі вони позначені X1 і X2; на зворотній стороні щита ці затискачі позначені буквами А і Б („ввод сети”). При замкненому перемикачі SA1 („сеть”, положення „вкл”) між цими затискачами повинен бути малий опір обмотки автотрансформатора. **Перед вимірюванням опору омметром ще раз переконайтесь, що щит відключений від мережі!**

5. Переведіть перемикач SA1 „сеть” в положення „выкл” і приєднайте до затискачів X1 і X2 двопровідний шнур з вилкою.

### **Завдання 2. Отримайте від щита напругу змінного струму.**

1. Вивчіть послідовність дій при одержанні від щита напруги змінного струму (див. стор. 48, 49). Приєднайте щит до мережі змінного струму.
2. До затискачів X9 – X10 підключіть електроплитку.
3. Включіть щит. Отримайте від щита напругу змінного струму 20, 40, 60, 100, 200 В.
4. Переведіть ручку автотрансформатора в нульове положення шкали змінного струму і виключіть щит.

### **Завдання 3. Отримайте від щита напругу постійного струму.**

1. Вивчіть послідовність дій при одержанні від щита напруги постійного струму (див. стор. 3 даної інструкції).
2. До затискачів X9 – X10 підключіть електроплитку.
3. Включіть щит. Отримайте від щита напругу постійного струму 20, 40, 60 В.
4. Переведіть ручку автотрансформатора в нульове положення шкали постійного струму і виключіть щит.

### **Завдання 4. Вивчіть можливість використання електророзподільного щита в якості джерела постійного струму при виконанні лабораторних робіт.**

1. Використовуючи амперметри для лабораторних робіт, дротяні резистори 2 Ом 2 А, реостати і вимикачі, складіть два електричних кола, схеми яких зображені на рис. 12.

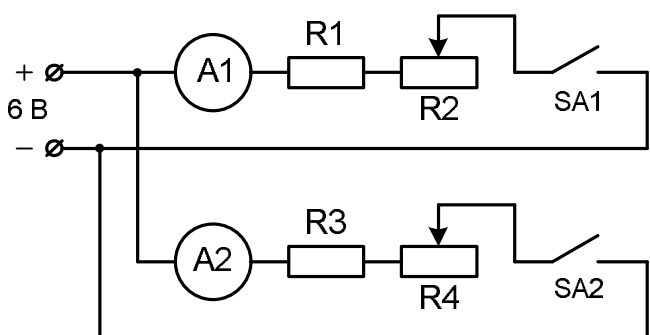


Рис. 12

2. З'єднайте кола паралельно і приєднайте їх до виходу регульованої напруги щита.

3. Встановіть на виході щита постійну напругу 6 В.

4. Замкніть ключ SA1 в першому колі і реостатом встановіть певне значення сили струму. Розімкніть ключ SA1, замкніть ключ SA2 в другому колі і теж встановіть певне значення сили струму.

5. Тепер, не розмикаючи ключа SA2, замкніть ключ SA1. Зверніть увагу на покази приладів в момент замикання чи розмикання одного з ключів. Зробіть висновок.

6. Виключіть щит з мережі і розберіть складені кола.

**Завдання 5. Отримайте від щита постійний струм для живлення електричної дуги.**

1. Вугільні стержні в спеціальних тримачах розташуйте так, щоб кінці вуглин дотикались один до одного (рис. 13). Послідовно з вугільними стержнями включіть спарений реостат на 10-15 Ом і струм 10 А та ключ. Приєднайте установку до виходу регульованої напруги щита. З'єднання з реостатом і щитом треба виконувати провідниками з достатньою площею поперечного перерізу (не менше 1,5 мм<sup>2</sup>).



Рис. 13

2. Переведіть щит в режим одержання постійного струму, включіть щит і встановіть напругу 40-60 В. Замкніть ключ. Амперметр постійного струму повинен показувати струм 3-4 А. Якщо це не так, то залиште напругу близько 40 В і забезпечте контакт між вуглинами. Надіньте захисні окуляри і збільшуйте напругу до 80-100 В (струм при цьому досягає значення 8-9 А). Кінці вугільних стержнів повинні розжаритись до червоного. Обережно розведіть вугільні стержні на невелику відстань, на якій підтримується стійке горіння дуги.

3. Для інтенсивного горіння дуги можна зменшити опір реостату до 7 – 8 Ом. Слідкуйте, щоб сила струму не перевищила максимально допустиму. Запишіть покази амперметра і вольтметра.

4. Закінчивши демонстрацію, розведіть кінці стержнів, розімкніть ключ і виключіть щит. Не забувайте про послідовність дій при включенні та виключенні щита (стор. 48, 49).

5. Зверніть увагу на форму кінців вугільних стержнів, що обгоріли. На стержні, який з'єднаний з позитивним полюсом джерела струму, утворюється невелике заглиблення – кратер.

**Не торкайтесь вугільних стержнів до їх повного охолодження!**

**Завдання 6. Отримайте від щита змінний струм для живлення електричної дуги.**

1. Використайте установку, що використовувалась в попередньому завданні. Переведіть щит в режим одержання змінного струму і виконайте описане в пунктах 2, 3, 4 завдання 5.

2. Зверніть увагу на форму кінців вугільних стержнів, що обгоріли. При використанні змінного струму кратери утворюються на обох стержнях.

**Завдання 7. Використайте РНШ для демонстрації теплової дії електричного струму.**

1. Ознайомтесь з будовою регулятора напруги РНШ. Поставте ручку регулятора напруги в нульове положення (поворотом проти годинникової стрілки до упору).

2. Включіть РНШ в мережу 220 В. Індикатором на неоновій лампі перевірте наявність фази на виході РНШ. Якщо індикатор світиться, то витягніть вилку з розетки і знову включіть, повернувши вилку на 180°.

3. Повертаючи ручку регулятора, переконайтесь в нормальній роботі приладу: вольтметр повинен показувати напругу, що збільшується в міру повороту регулятора за годинниковою стрілкою. Поставте регулятор на нуль і виключіть РНШ з мережі.

4. Закріпіть в штативах в натягнутому виді дріт з великим питомим опором (наприклад, розправлений шматок спіралі від електроплитки).

5. З'єднайте дріт з виходом РНШ провідниками. На дріт повісьте складені вдвоє смужки паперу.

6. Включіть РНШ в мережу (див. пункт 2!) і **повільно** збільшуйте напругу на виході. Дротина нагрівається до червоного, смужки паперу перегорають і падають на стіл (потурбуйтеся, щоб на столі під дротиною не було легкозаймистих матеріалів). Зверніть увагу також на видовження дротини при нагріванні.

7. Поверніть ручку регулятора в нульове положення. Дротина охолоджується і стає коротшою. Виключіть РНШ з мережі і від'єднайте від його виходу провідники.

**Завдання 8. Ознайомтеся з будовою щита живлення ЩПУ від комплекту КЭФ-10.**

1. Вивчіть розташування основних блоків та органів керування щита живлення комплекту КЭФ-10.

2. Вивчіть принципову схему щита. Порівняйте принципову і монтажну схеми.

3. Визначте, які клеми призначені для підключення до мережі змінного струму напругою 220 В, і від яких відводиться напруга до столів учнів та вчителя.

4. Визначте призначення автоматичних вимикачів і тумблерів на передній панелі і боковій стінці щита.



## **Завдання 9. Використайте ЩПУ для живлення навчальних випрямлячів ВУ-4.**

1. Приєднайте до клем, призначених для підключення мережі 220 В, двожильний дрiт з вилкою.



Рис. 14

2. До клем, від яких відводиться напруга до учнівських столів, приєднайте двожильні шнури зі спеціальними розетками.

**Перед вмиканням щита в мережу з'єднання повинен перевірити викладач або лаборант.**

3. Зберіть електричні кола за схемою рис. 12 і приєднайте їх кожне окремо до випрямлячів ВУ-4 (рис. 14). Приєднайте випрямлячі до розеток ліній 42 (36) В.

4. Увімкніть щит в мережу (див. вказівки про вмикання ЩПУ на стор. 52).

5. Замкніть ключі зібраних кіл і переконайтесь в тому, що замикання чи розмикання одного з кіл не приводить до змін показів приладів другого кола.

6. Якщо є можливість, то приєднайте обидва зібрані кола до однієї лінії і перевірте, чи впливає на покази приладів одного кола вмикання чи вимикання другого. Зробіть висновок.

### **Контрольні запитання.**

1. Які електровимірювальні прилади встановлені в електророзподільному щиті і РНШ? Назвіть систему приладів, межі їх вимірювання та ціну поділки.

2. Як здійснюється регулювання напруги в щиті і чим відрізняється регулювання напруги змінного струму від регулювання напруги постійного струму?

3. Як приєднати щит до мережі однофазного змінного струму з напругою 220 В?

4. Чи можна використовувати електророзподільний щит як низьковольтне джерело постійної напруги для проведення в класі лабораторних робіт? Чим пояснити цей недолік щита?

5. Як безпечно увімкнути РНШ в мережу змінного струму?

6. Яких правил безпеки слід дотримуватись під час демонстрації дугового розряду?

7. Яке призначення автоматичних вимикачів і тумблерів на передній панелі ЩПУ від КЭФ-10?

8. Яке призначення тумблерів на боковій стінці передньої панелі ЩПУ?

9. Як приєднати ЩПУ від КЭФ-10 до мережі однофазного змінного струму з напругою 220 В? До яких клем приєднуються лінії на 42 (36) В, що йдуть до учнівських столів?

## Частина 2. ДЕМОНСТРАЦІЙНІ ДОСЛІДИ З МЕХАНІКИ

### ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 1.

#### ЗАГАЛЬНЕ ОБЛАДНАННЯ ДО ДЕМОНСТРАЦІЙ З МЕХАНІКИ

**Мета роботи:** Ознайомитись з будовою і принципом роботи демонстраційних приладів для вимірювання часу, машини Атвуда та обертового диску з набором пристосувань.

**Прилади і матеріали:** Секундомір-датчик часу електроконтактний демонстраційний (СЭД-1М), лічильник-секундомір електронний шкільний (ССЭШ-63) з приставками, метроном, секундомір від електронного годинника, машина Атвуда, терези з важками до 350 г, обертовий диск з набором пристосувань, мультиметр, ключ, з'єднувальні провідники.

#### Теоретичні відомості.

В демонстраційних дослідах з кінематики важливо точно виміряти час руху тіл. Крім того, часто необхідно синхронізувати початок руху з початком відліку часу. Задовольнити вищенаведені умови дозволяють секундомір-датчик часу електроконтактний демонстраційний (СЭД-1М) та лічильник-секундомір електронний шкільний (ССЭШ-63) з приставками.



Рис. 1

**Секундомір - датчик часу електроконтактний демонстраційний (СЭД-1М)** (рис. 1) призначений для вимірювання інтервалів часу тривалістю до 12 с та для роботи в якості датчика часу з тривалістю відержок від 0,25 с до 11,75 с. Ціна поділки шкали приладу дорівнює 0,01 с, похибка вимірювання 2,5 %.

Електрична схема секундоміра наведена на рис. 2.

Чорні стрілки приладу з'єднані через редуктор з синхронним двигуном і служать для відліку проміжків часу. Червоні стрілки використовують для установки бажаних проміжків часу при роботі приладу в режимі

датчика часу. На передній панелі приладу розташований тумблер включення SA1, тумблер перемикання режимів роботи секундомір-датчик SA2, і клеми входу і виходу. На верхній панелі містяться кнопки пуску і установки нуля.

На задній панелі розташовані ручки керування червоними стрілками для встановлення бажаних проміжків часу при роботі приладу в режимі датчика. Напрям обертання ручок вказаний стрілками.

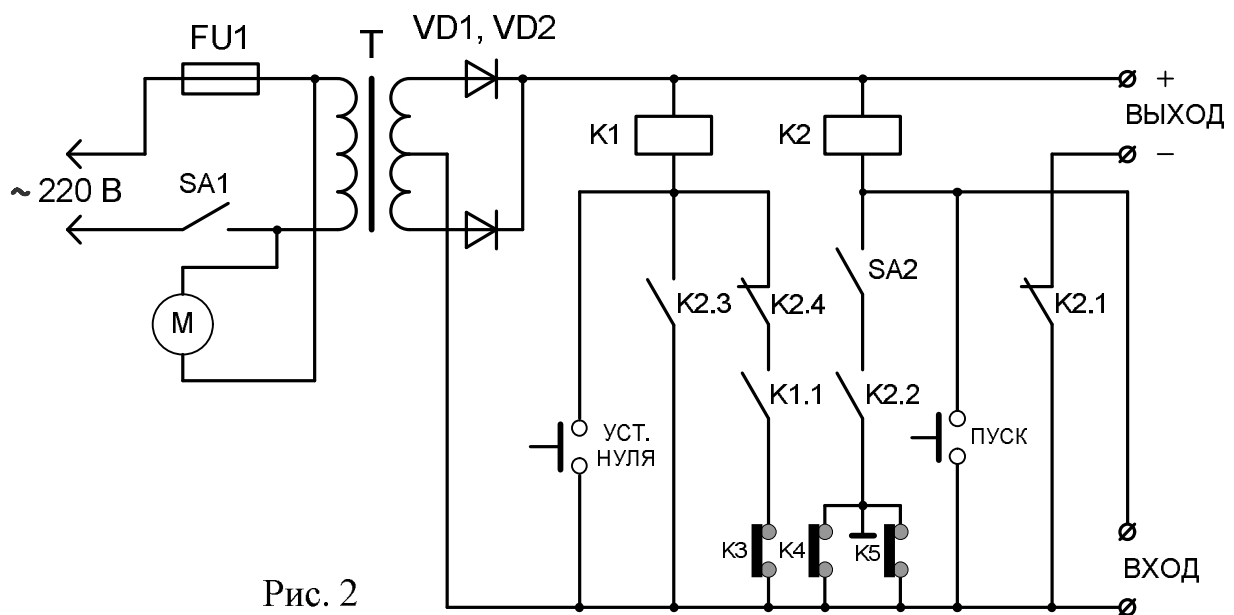


Рис. 2

При використанні приладу в режимі секундоміра правий тумблер SA2 треба переключити в положення „секундомір” і включити мережу тумблером SA1. Напряга мережі подається на синхронний двигун, на клеми „Виход” одночасно подається напряга 6 В.

При замиканні клем „Вход” або при натисканні кнопки „Пуск” спрацьовує реле K2, контакт K2.1 розмикається і відключає напрягу 6 В від вихідних клем; одночасно замикається контакт K2.3, при цьому спрацьовує електромагніт включення K1 і стрілочний механізм починає обертатись. Щоб зупинити секундомір, треба відпустити кнопку „Пуск” або розімкнути клеми „Вход”. При цьому реле K2 знеструмлюється і на клеми „Виход” подається напряга 6 В.

Щоб встановити стрілки в нульове положення слід короткочасно натиснути на кнопку „Установка нуля”. Включається електромагніт K1 (контакти K1.1 забезпечують живлення електромагніту і після відпускання кнопки „Установка нуля”), стрілки обертаються до тих пір, поки ковзний контакт K3 не попаде на ізолювану ділянку колеса механізму.

При використанні приладу в режимі датчика правий тумблер SA2 треба переключити в положення „датчик”. Ручками керування червоними стрілками на зворотній стороні приладу встановіть необхідний проміжок часу (*звертайте увагу на напрям обертання ручок!*).

При натисканні кнопки „Пуск” (або короткочасному замиканні клем „Вход”) спрацьовує реле K2 і з допомогою контактів K2.2 забезпечує собі живлення після розмикання кнопки „Пуск”. Контакт K2.1 знеструмлює вихідні клеми; одночасно контакт K2.3 вмикає електромагніт включення K1 і стрілочний механізм починає обертатись. Стрілки зупиняться, коли ковзні контакти K4 і K5 попадуть на ізолювані ділянки коліс механізму і реле K2 знеструмиться. В цей же момент на клеми „Виход” подається напряга 6 В. Для повернення стрілок секундоміру в початкове положення слід короткочасно натиснути кнопку „Установка нуля”.

**Лічильник-секундомір електронний шкільний (ССЭШ-63)** з приставками (рис. 3 і 4) призначений для вимірювання малих проміжків часу, підрахунку



Рис. 3

електричних імпульсів та механічних замикань при демонстрації дослідів з фізики в середній школі.

Діапазон вимірювання часу від 0,01 с до 9,99 с з похибкою  $\pm 0,01$  с. Максимальне число імпульсів, які рахує лічильник, – 999, похибка не більша  $\pm 1$  імпульс.

В основу роботи приладу покладена схема лічильника на газорозрядних лампах-декатронах.

На передній панелі приладу розташовані три декатрони з кільцевими шкалами, вимикач, два затискача з позначенням „Вход”, дві кнопки „Пуск” і „Сброс” та перемикач режимів роботи на три положення: підрахунок електричних імпульсів, секундомір і підрахунок механічних замикань.

Запускається лічильник при натисканні кнопки „Пуск” або замиканні клем „Вход”. При відпусканні кнопки (чи розмиканні вхідних клем) лічильник зупиняється. При натисканні кнопки „Сброс” покази всіх декатронів дорівнюють нулю.

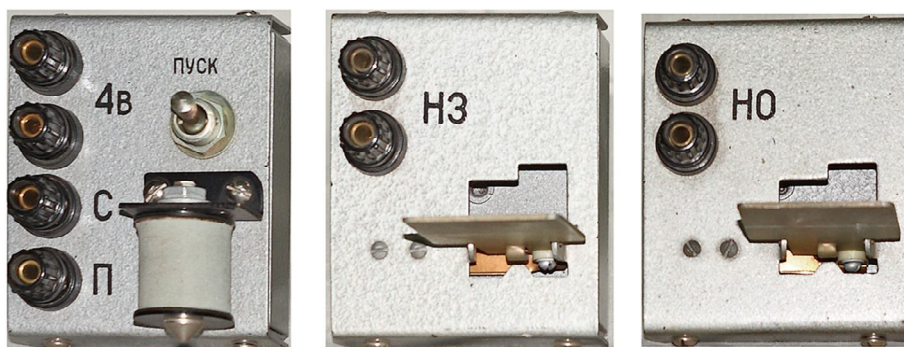


Рис. 4

В комплект лічильника-секундоміра входять три приставки (рис. 4): приставка з електромагнітом, приставка з нормально замкнутими контактами (НЗ), приставка з нормально відкритими контактами (НО).

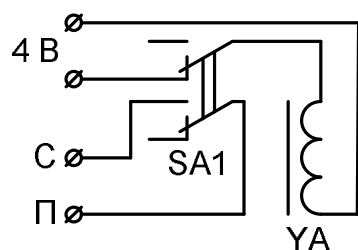


Рис. 5

Електрична схема приставки з електромагнітом наведена на рис. 5. Коли тумблер „Пуск” перебуває в нижньому положенні, клема „4 В” підключені до електромагніту. Якщо до клем підключене джерело живлення, то по обмотці електромагніту йде струм. При переведенні тумблера у верхнє положення магніт знеструмується, а клема С і П замикаються.

Приставка з нормально замкнутими контактами складається з панелі, на якій змонтовані два затискачі і контактна група. Якщо шторка приставки перебуває в горизонтальному положенні, то контакти приставки замкнуті. У приставки з нормально відкритими контактами при горизонтальному положенні шторки контакти розімкнуті. Всі приставки мають зі зворотної сторони стержень для кріплення приставки в штативі.

**Метроном.** В деяких демонстраційних дослідах та лабораторних роботах необхідний відлік рівних проміжків часу. Для цього використовують механічний чи електронний метроном. Механічний метроном (рис. 6) дає можливість відліку рівних проміжків часу в межах від 40 до 200 ударів за хвилину. Метроном – це простий годинниковий механізм з маятником, період коливань якого можна змінювати, переміщуючи спеціальний вантаж. Механізм метронома приводиться в дію з допомогою пружини.

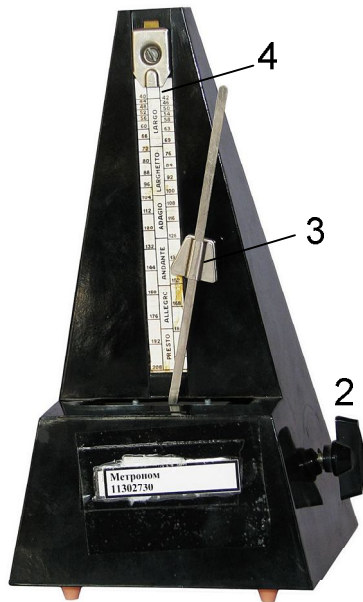


Рис. 6

Для підготовки метронома до використання необхідно:

1. Зняти кришку 1 з приладу (на рис. 6 кришка з метронома знята).

2. Завести пружину ключем 2, розташованим з правої сторони корпусу приладу. Якщо пружина зовсім не заведена, то ключем слід зробити не більше 10 півобертів. До упору пружину заводити не рекомендується, оскільки при цьому на анкерну вилку чиниться значний тиск і маятник буде працювати з перебоями.

3. Встановити рухомий вантаж 3 за шкалою на необхідне число ударів за хвилину. Відлік слід вести по верхньому краю вантажу, суміщаючи його з рисою на шкалі. Число коливань написано над рисою.

4. Пуск метронома здійснюють відведенням маятника в будь-яку сторону.

Після закінчення роботи стержень маятника слід поставити у вертикальне положення і завести верхній кінець стержня за планку 4, розташовану у верхній частині шкали. При тривалих перервах у роботі не залишайте метроном з заведеною пружиною.

**Машина Атвуда** (рис. 7) складається з шкали 1, блока 2, електромагнітного пускача 3, приймального столика 4, рухомого кільця 5, важків 6, з'єднаних капроною ниткою та підставки 7. Шкала 1 з сантиметровими поділками має на зворотній стороні паз з двома металевими шинами, через які з допомогою приймального столика 4 вмикається і вимикається секундомір. На тій же зворотній стороні шкали в нижній частині є колодка з клемми (див. рис. 8); клемми 1 і 2 підключаються до входу секундоміра СЭД-1М, а клемми 3 і 4 - до виходу. З клем 3 і 4 подається живлення на електромагнітний пускач. Для підключення пускача у верхній частині шкали закріплені дві колодки. Приймальний столик 4 переміщується в муфті кріплення вгору-вниз приблизно на 1 см. При переміщенні вгору столик замикає контакти, з'єднані з шинами, при переміщенні вниз-розмикає.

Рухоме кільце 5 призначене для вмикання секундоміра після проходження через кільце важка. Важок, проходячи через кільце, замикає перегрузком, який надітий на важок, металеві півкільця на рухомому кільці. Кожен з двох важків складається з двох циліндрів з порожнинами для насипання дробу під час тарування установки.

Принципова електрична схема приладу показана на рис. 8.

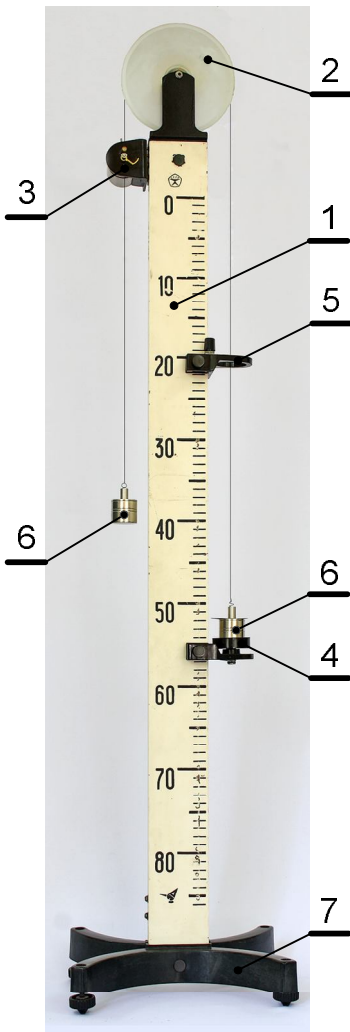


Рис. 7

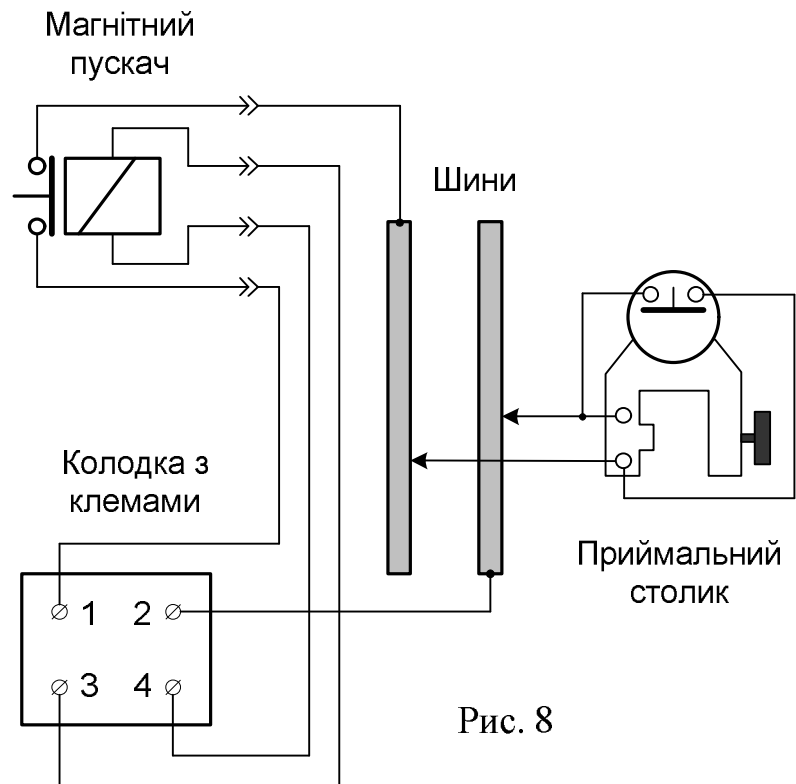


Рис. 8

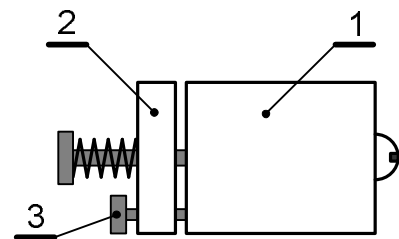


Рис. 9. Магнітний пускач

Під час проведення дослідів капронова нитка, що з'єднує важки, заводиться між електромагнітом 1 і притискним диском 2 (рис. 9). Для регулювання зазору між диском і електромагнітом використовують гвинт 3. Оптимальне значення зазору – 1...2 мм. Капронова нитка повинна вільно переміщуватись в зазорі, не торкаючись диска і електромагніту. Якщо нитка треться об електромагніт, то її можна змістити, переміщуючи блок з допомогою гайки, розташованої на вісі блоку.

Блок-схема з'єднання приладу з секундоміром СЭД-1М показана на рис. 10.

Перед проведенням дослідів прилад необхідно виставити в строго вертикальному положенні з допомогою гвинтових ніжок підставки 7. Для контролю установки використовують важки: регулювання вважається достатнім, якщо правий важок буде розташований в центрі приймального столика. Потім здійснюють компенсацію сили тертя. Для цього з порожнини лівого важка перекладають дріб в порожнину правого (сумарна маса важків повинна залишатись сталою і рівною  $2m=333$  г, див. далі). Компенсацію можна вважати закінченою, якщо важки самовільно не приходять в рух, але після легенького поштовху правого важка вниз вони продовжують рухатись з наданою їм швидкістю.

В дослідах з рухомим кільцем ділянка  
кола 1 замінюється ділянкою кола 2

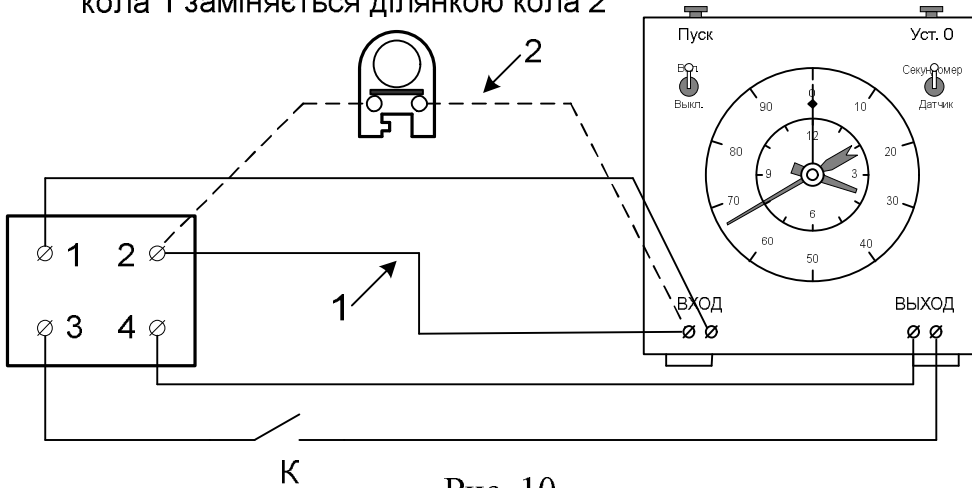


Рис. 10

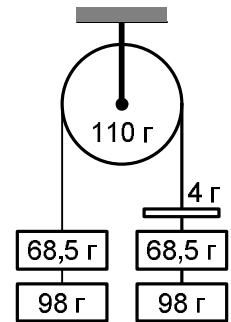


Рис. 11

Якщо тепер на правий важок покласти перегрузок масою  $m_1$ , то система почне рухатися з прискоренням  $a$ . Система рівнянь, що описує рух важків, буде наступною:

$$\begin{cases} T_1 - mg = ma \\ (m + m_1) \cdot g - T_2 = (m + m_1) \cdot a \\ (T_2 - T_1) \cdot r = J \cdot \varepsilon \\ a = \varepsilon \cdot r \end{cases} \quad (1)$$

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

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

Тарування важків виконується за наступним розрахунком. Припустимо, що важки при рівноприскореному русі повинні проходити шлях  $80 \text{ см}$  за  $4 \text{ с}$  (прискорення дорівнює  $10 \text{ см/с}^2$ ). Якщо при цьому використати перегрузок в  $4 \text{ г}$ , то рушійна сила дорівнюватиме:

$$F = m_1 g = 0,004 \text{ кг} \cdot 9,8 \text{ м/с}^2 = 0,0392 \text{ Н.}$$

Для прискорення  $10 \text{ см/с}^2 = 0,1 \text{ м/с}^2$  рухома маса дорівнює:

$$m_{\text{заг}} = \frac{F}{a}; \quad m_{\text{заг}} = \frac{0,0392 \text{ Н}}{0,1 \text{ м/с}^2} = 0,392 \text{ кг}, \text{ тобто } 392 \text{ г}$$

Маса блока проставлена на його бічній частині. Припустимо, що

$m_0 = 110 \text{ г}$ ,  $\frac{m_0}{2} = 55 \text{ г}$ . Тоді маси двох важків повинні дорівнювати:

$$2m = 392 \text{ г} - 55 \text{ г} - 4 \text{ г} = 333 \text{ г}.$$

На важках є маркування „П” – правий і „Л” – лівий, на що слід звертати увагу при навішуванні важків. Тарування здійснюють з точністю до 0,1 г, додаючи до важків дробинки невеликого розміру.

В деяких дослідах масу рухомої системи слід зменшити вдвічі. Для цього кожен з важків складається з двох половинок – верхньої та нижньої. В кожній з половинок є порожнини для дробу, який насипається в них при таруванні. Згідно з наведеними вище розрахунками маса кожного з важків дорівнює

$$m = \frac{333 \text{ г}}{2} = 166,5 \text{ г}.$$

Відкрутивши нижні частини важків, ми зменшимо масу рухомої системи вдвічі:

$$\frac{m_{\text{заг}}}{2} = \frac{392 \text{ г}}{2} = 196 \text{ г}.$$

Для маси верхніх половинок одержимо:

$$2m_0 = \frac{m_{\text{заг}}}{2} - \frac{m_0}{2} - m_1. \quad 2m_0 = 196 \text{ г} - 55 \text{ г} - 4 \text{ г} = 137 \text{ г}.$$
$$m_0 = 68,5 \text{ г}.$$

Маси нижніх половинок важків дорівнюють:

$$2m_n = 333 \text{ г} - 137 \text{ г} = 196 \text{ г}. \quad m_n = \frac{196 \text{ г}}{2} = 98 \text{ г}.$$

Отже, після тарування маси важків повинні бути такими, як вказано на рис. 11.

Компенсацію сили тертя слід виконати спочатку для верхніх половинок важків, а потім для цілих важків, використовуючи при цьому дріб з нижніх половинок.

**Обертовий диск з набором пристосувань** призначений для вивчення і демонстрації законів механіки. Діаметр диска дорівнює 430 мм, діаметр шківів, з'єднаних з диском, – 50 і 100 мм.

В комплект приладу входять (див. рис. 12):

1. Диск.
2. Стержень кріплення диска.
3. Гайка спеціальна М6.
4. Два стояки висотою 200 мм.
5. Стержень з трьома кульками.
6. Маятниковий тахометр.
- 7, 8. Коток малий (250 г) і великий (500 г).
9. Колодка з роликом.
10. Пружина від динамометра з кріпленням до колодки і котків.
11. Дротяна дуга з центруючою муфтою і кулькою на нитці.
12. Жолоб з хомутиком.



13. Конус для дослідів з прецесією вісі гіроскопу.
14. Клин дерев'яний (3 шт.).
15. Муфта (затискач) паралельна.
16. Гвинт М5 (2 шт.).
17. Кулька діаметром 16 мм.
18. Ящик для укладки комплекту.

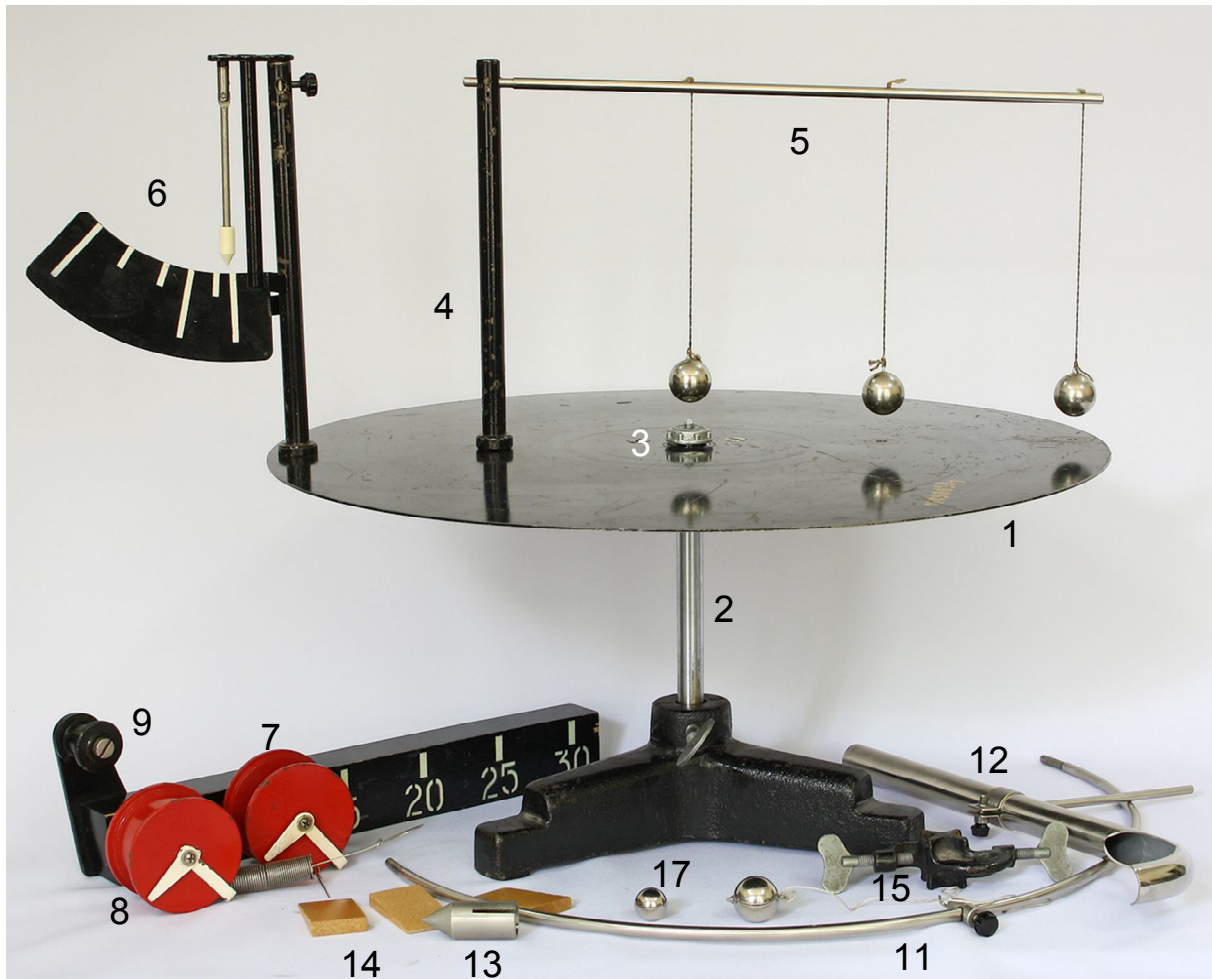


Рис. 12.

Основним робочим вузлом, на якому монтуються всі пристосування приладу для проведення дослідів, служить сталевий диск 1, насаджений на сталевий стержень 2 і закріплений гайкою 3. Між диском і стержнем розташовані кулькові підшипники. Сталевий стержень з диском закріплюється в тринозі від універсального штатива.

Для закріплення пристосувань в диску просвердлені отвори. При виконанні більшості дослідів диск слід встановити горизонтально. Перевірку горизонтальності здійснюють рівнем. В разі необхідності під ніжки триноги підкладають клини 14.

## **Хід роботи.**

### **Завдання 1. Ознайомтеся з секундоміром-датчиком часу електроконтактним демонстраційним СЭД-1М.**

1. Огляньте зовнішній вигляд приладу. Знайдіть тумблер включення, тумблер перемикач режимів роботи, кнопки пуску та установки нуля. Знайдіть відповідні елементи комутації на схемі рис. 2.

2. Увімкніть прилад в мережу і здійсніть ручний пуск секундоміра. Поверніть стрілки в нульове положення.

3. Приєднайте до клем „Вход” ключ. Запустіть секундомір замиканням ключа. Поверніть стрілки в нульове положення.

4. Виміряйте мультиметром напругу на клеммах „Выход” секундоміра. Чому дорівнює ця напруга під час роботи секундоміра? Перевірте припущення, ще раз запустивши секундомір.

**Увага! Не можна замикати накоротко клеми „Выход”. Це може привести до псування секундоміра.**

5. Переведіть прилад в режим датчика. Встановіть певний інтервал часу (наприклад, 1 с). Запустіть секундомір-датчик. Як змінюється напруга на вихідних клеммах секундоміра?

### **Завдання 2. Ознайомтеся з лічильником-секундоміром електронним шкільним ССЭШ-63.**

1. Огляньте зовнішній вигляд приладу. Знайдіть тумблер включення, кнопки „Пуск” та „Сброс”, перемикач режимів роботи.

2. Підготуйте секундомір до роботи для відліку часу. Приєднайте прилад до мережі, поставте перемикач в режим роботи „секунди” і переведіть тумблер в положення „вкл”. Через 1-2 хв натисніть кнопку „сброс”. В декатронах біля цифри „0” повинен з'явитись розряд.

3. Здійсніть ручний пуск секундоміра і через деякий час встановіть нульові покази.

4. Приєднайте до клем „Вход” ключ. Запустіть секундомір замиканням ключа. Натиснувши „сброс”, встановіть нульові покази.

### **Завдання 3. Ознайомтеся з метрономом.**

Перевірте, чи заведений метроном. Для цього звільніть маятник і відведіть його в сторону. При наявності стійких коливань заводити метроном не треба. Зупиніть маятник і встановіть частоту ударів метронома 120 за хвилину. Перевірте з допомогою електронного секундоміра частоту ударів метронома.

### **Завдання 4. Ознайомтеся з машиною Атвуда.**

1. Ознайомтеся із зовнішнім виглядом машини Атвуда. Знайдіть всі елементи, позначені на рис. 7.

2. Знайдіть відповідні елементи на принциповій схемі машини (рис. 63).
3. Перевірте вертикальність машини Атвуда. В разі необхідності встановіть її у вертикальному положенні з допомогою гвинтів підставки 7.
4. З допомогою терезів перевірте тарування важків (див. стор. 62, 63). При виявленні неточностей тарування повідомте викладача. Повторне тарування можна здійснювати лише з дозволу викладача.
5. Перевірте компенсацію сили тертя. В разі необхідності компенсуйте силу тертя, перекладаючи дріб з нижніх половинок важків.
6. Приєднайте машину Атвуда до секундоміра-датчика СЭД-1М за схемою рис. 10 (варіант 1, без рухомого кільця). Перемикач роду роботи секундоміра переведіть в положення „Секундомір”.
7. Встановіть приймальний столик на висоті 45 см і опустіть його (при опусканні столика вниз вхід секундоміра буде розімкнено).
8. Увімкніть секундомір і встановіть його стрілки на нуль, натиснувши кнопку „Установка нуля”.
9. Розімкніть ключ К і встановіть правий важок з розташованим на ньому перегрузком масою 4 г так, щоб нижня частина важка була навпроти нульової поділки шкали. Замкніть ключ К.
10. Підніміть столик. Натисніть кнопку „ Пуск ” секундоміра. Пускач звільняє нитку, важки приходять в рух і секундомір починає відлік часу. В момент удару правого важка об приймальний столик секундомір зупиняється.
11. Запишіть покази секундоміра. Повторіть пункти 8 – 11 декілька раз, знайдіть середнє значення часу.
12. За формулою  $s = \frac{at^2}{2}$  обчисліть прискорення. Порівняйте його значення з теоретичними розрахунками (с. 7 – 8), зробіть висновок.

**Завдання 5. Ознайомтеся з набором „ Обертвий диск з набором пристосувань ”**

1. Перевірте комплектність укладки згідно з рис. 12.
2. Закріпіть в тринозі 19 стержень кріплення диска 2 і надіньте на стержень диск 1. Закріпіть диск гайкою 3.
3. Вивчіть способи кріплення та призначення всіх пристосувань набору. В разі виникнення запитань консультуютьесь з викладачем.
4. Закріпіть на диску маятниковий тахометр. Плавнo збільшуйте кутову швидкість обертання диска і стежте за відхиленням тахометра. Забезпечте таку частоту обертання, при якій маятник тахометра відхиляється до середньої великої поділки.
5. З допомогою секундоміра визначте час 5 – 10 обертів диска і визначте частоту його обертання. Середня велика поділка тахометра відповідає частоті 0,5 об/с.
6. Виконайте аналогічні вимірювання для наступної великої поділки, яка відповідає частоті обертання 1 об/с. Зробіть висновки.

## Контрольні запитання.

1. Як здійснюється пуск електромеханічного секундоміра?
2. Як досягається синхронізація відліку часу і руху важків на машині Атвуда?
3. Як використати СЭД-1М в режимі датчика часу?
4. Як здійснюється пуск електронного секундоміра ССЭШ-63?
5. Як можна синхронізувати пуск електронного секундоміра з початком руху, наприклад, кульки при знаходженні прискорення вільного падіння? Накресліть схему з використанням приставок до ССЭШ-63.
6. Як встановити частоту ударів метронома?
7. Як перевірити вертикальність установки машини Атвуда?
8. Як в машині Атвуда компенсують сили тертя?
9. Поясніть, чому важки машини Атвуда повинні мати маси, вказані на рис.
11. З яким прискоренням рухаються важки під дією перегрузка 4 г? 2 г?
10. Як на диску, що обертається, продемонструвати залежність доцентрового прискорення від частоти обертання? Від відстані до вісі обертання?

## ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 2.

### КІНЕМАТИКА. ВІДНОСНІСТЬ МЕХАНІЧНОГО РУХУ.

**Мета роботи:** Засвоїти техніку постановки і методику проведення демонстраційних дослідів з кінематики.

**Прилади і матеріали:** Рухома платформа з візком, візок з крапельницею і рейковою дорогою або прилад Покровського зі встановленою на ньому крапельницею, вузький рулонний папір (як для обклеювання вікон або малярна стрічка), машина Атвуда, секундомір-датчик часу електроконтактний демонстраційний (СЭД-1М), секундомір електронний ССЭШ-63 з приставками, метроном, обертовий диск з маятниковим тахометром, лінійка або рейка довжиною 0,5 м, скляна трубка з гліцерином, невеликий циліндричний вантаж, прив'язаний до нитки довжиною 1 м, скляний циліндр довжиною близько 1 м, в який вільно входив би циліндричний вантаж, похилий жолоб з кулькою і металевим циліндром, ручне точило зі шматком полотна ножівки по металу, штатив універсальний, джерело постійного струму на 4 В, кулька сталева, з'єднувальні провідники.

### Теоретичні відомості.

Приступаючи до вивчення розділу „Кінематика”, учні знайомляться з поняттями „Система відліку”, „Відносність механічного руху” та „Траєкторія руху”. Ідея відносності механічного руху пронизує увесь курс механіки (відносність координат, переміщень, швидкостей, траєкторій, відносний характер

імпульсу тіла та кінетичної енергії та ін.) і допомагає в засвоєнні матеріалу розділів „Електродинаміка” та „Теорія відносності”. На перших уроках ці поняття важко засвоюються учнями і тому вимагають ілюстрації з допомогою простих і наочних дослідів.

В дослідах з відносності руху демонстраційний стіл грає роль нерухомої системи відліку. Для ілюстрації координатної вісі на краю столу необхідно закріпити стрічку з зображенням масштабної лінійки, що закінчується стрілкою (рис. 1).

В якості рухомої системи відліку рекомендується використати саморобну платформу розміром близько 20x100 см, встановлену на колесах. На бічній поверхні платформи, як і на демонстраційному столі, закріплена лінійка зі стрілкою (рис. 2).

Як рухоме тіло може використовуватись будь-який невеличкий візок, наприклад, дитяча іграшка – машинка. Дуже добре буде, якщо іграшка має електропривод і рухається з невеликою швидкістю.

Для того, щоб відмітити „рухомих” і „нерухомих спостерігачів”, можна використати вирізані з цупкого паперу фігурки людей, прапорці, шахматні фігури.

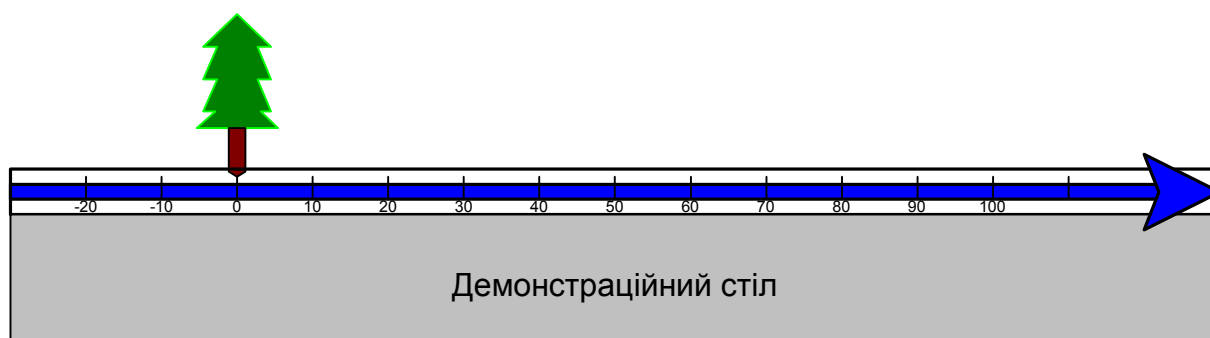


Рис. 1

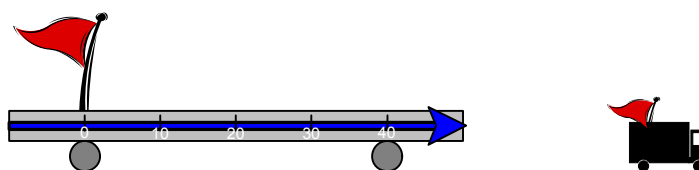


Рис. 2

Наступні поняття, які повинні бути проілюстровані, це – „Рівномірний та рівноприскорений рух”, „Швидкість”, „Прискорення”, „Вільне падіння”, „Рух по колу та обертовий рух”. Для аналізу механічного руху часто виконують запис руху з допомогою, наприклад, крапельниці. Проте більш доцільно вивчати механічний рух на основі безпосереднього вимірювання шляхів, проміжків часу, швидкостей та прискорень. На жаль, у фізичних кабінетах шкіл поки що відсутні спідометри та акселерометри. Основним приладом з кінематики і динаміки в кабінетах є машина Атвуда (див. роботу № 1), що використовується разом з електромеханічним секундоміром СЭД-1М. Проте машина Атвуда має цілий ряд суттєвих недоліків: вона складна в налагоджуванні та експлуатації, недостатньо

надійна, досліди з нею важкі для розуміння учнями.

Для окремих демонстрацій більш зручно використовувати електронний секундомір ССЭШ-63 з приставками (див. роботу № 1). Проте і в цьому випадку в результати вимірювань велику похибку вносять механічні контакти, що слід враховувати при постановці експерименту та обробці його результатів.

### Хід роботи.

**Завдання 1. Продемонструйте запис рівномірного та рівноприскореного рухів з допомогою крапельниці.**

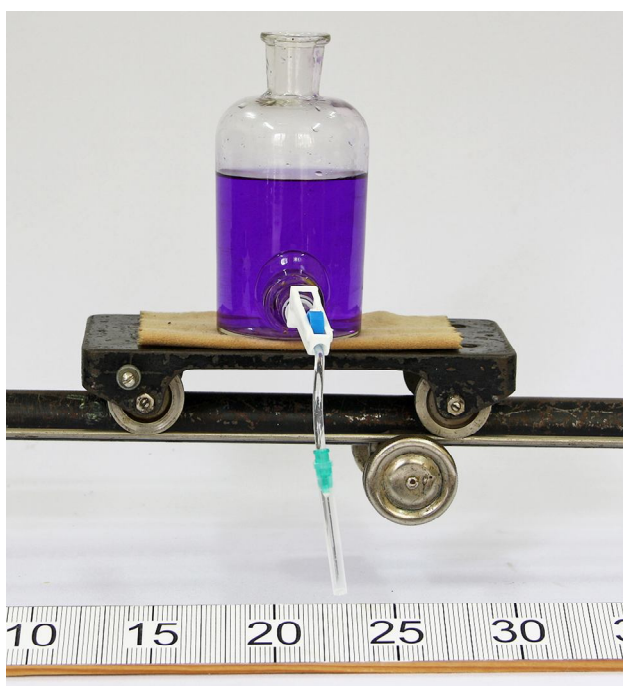


Рис. 3

(див. рис. 3). Кінець голки повинен бути на висоті не більше 15 мм над паперовою стрічкою. Під крапельницю бажано покласти підкладку з поролону, який пом'якшить поштовхи під час руху візка.

Лінійку для запису треба розташовувати з поперечним нахилом під таким кутом, щоб краплини не текли і в той же час їх було б добре видно учням. Частоту падіння крапель слід відрегулювати так, щоб проміжок часу між падінням краплин приблизно дорівнював 0,5 с.

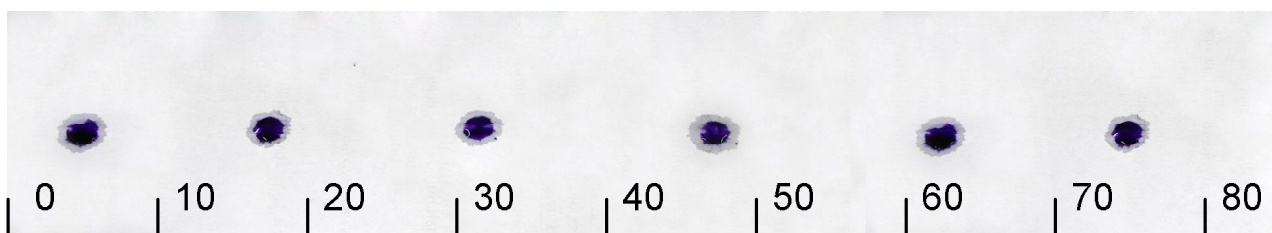


Рис. 4.

Для запису рівноприскореного руху під один з кінців рейкової дороги ставлять підкладку такого розміру, щоб візок рухався рівноприскорено і проходив увесь шлях приблизно за 5 с.

Приклад стрічки з записом руху візка подано на рис. 4.

**Завдання 2. Продемонструйте відносність переміщень, що здійснюються вздовж однієї прямої, відносність спокою та руху.**

На платформу встановіть візок. Відмітьте покажчиками початкове положення платформи і візка відносно демонстраційного столу. Покажіть, що під час руху платформи і візка переміщення візка відносно столу дорівнює сумі переміщень візка відносно платформи і платформи відносно столу.

Для демонстрації відносності спокою та руху покажіть:

- а) переміщення візка відносно платформи, нерухомої відносно столу;
- б) переміщення платформи з возиком, нерухомим відносно платформи;
- в) переміщення платформи назустріч руху візка з однаковими швидкостями.

На наступних рисунках завдання 2 проілюстроване.

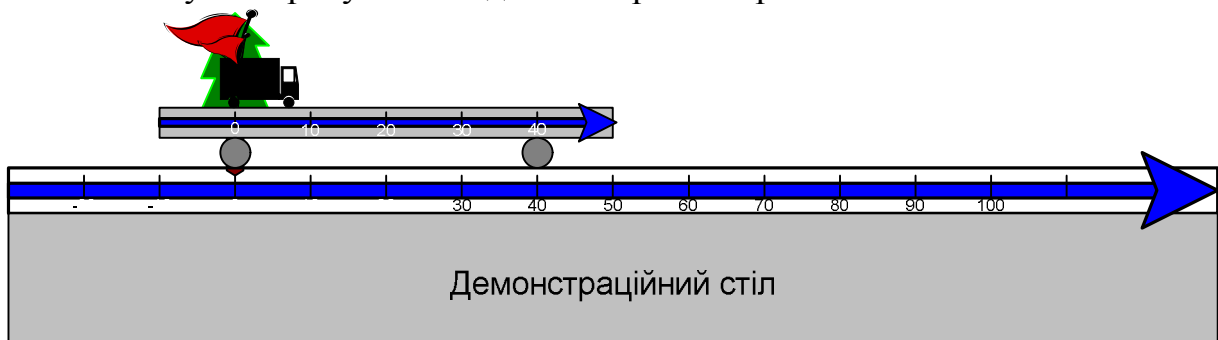


Рис. 5. Початкове положення платформи і візка.

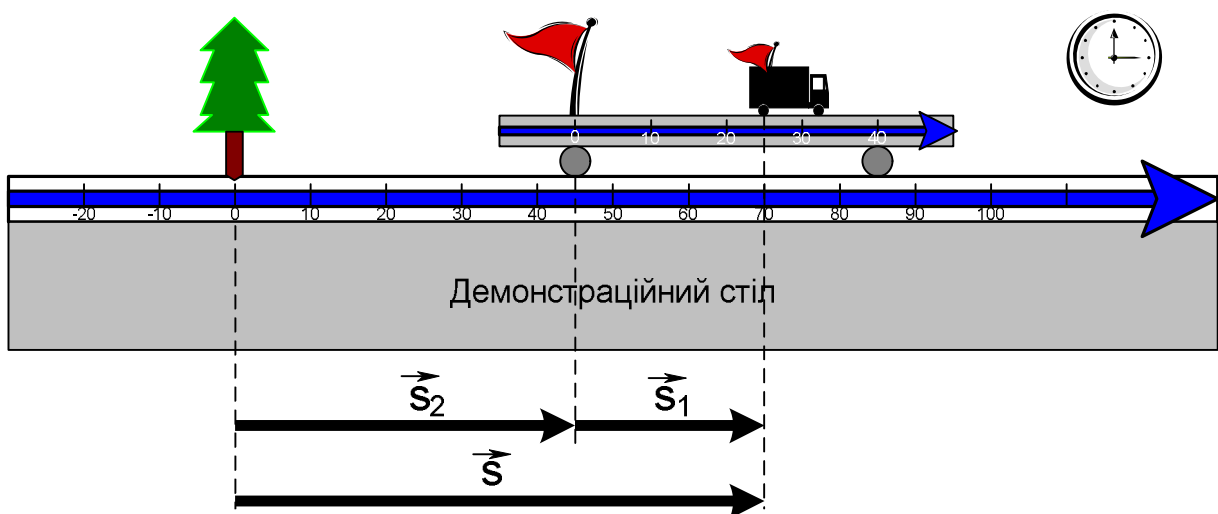


Рис. 6.

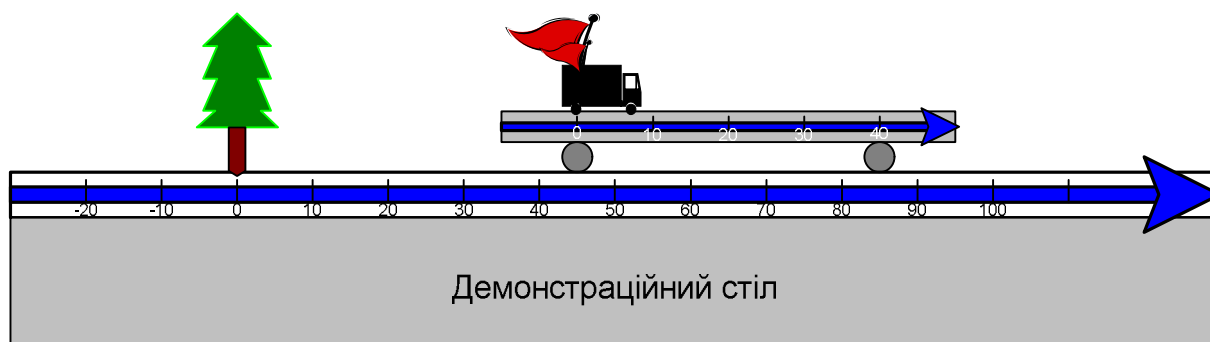


Рис. 7.

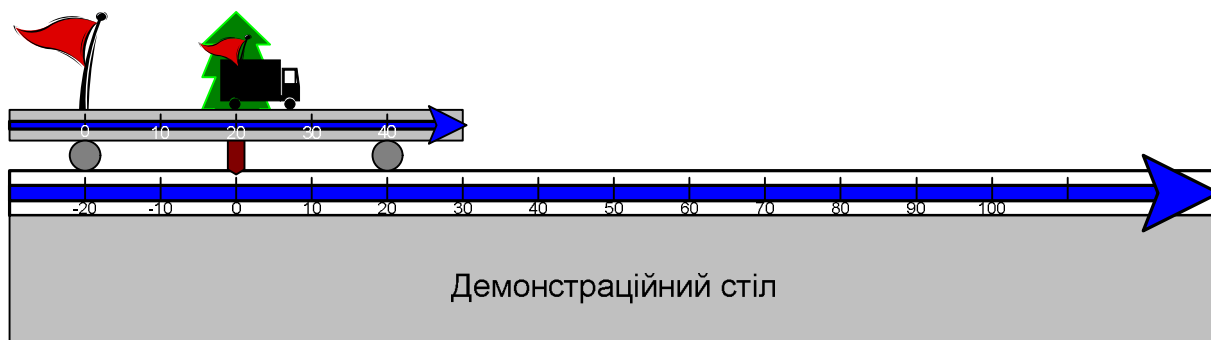


Рис. 8.

**Завдання 3. Продемонструйте відносність траєкторії.**

1. Візьміть пластмасовий блок з закріпленою віссю і в один з отворів блока вставте шматочок крейди. Котіть блок по лотку класної дошки так, щоб крейда залишала на дошці слід. Траєкторія крейди відносно вісі блока – коло, а відносно дошки – циклоїда.

2. Великих розмірів диск закріпіть в штативі так, щоб його вісь була горизонтальна. До вісі диска притисніть вертикально лінійку і, розкрутивши диск, проведіть по його поверхні вздовж лінійки шматочком крейди. В цьому досліді траєкторія крейди відносно лінійки – пряма, а відносно диска – спіраль (рис. 9)

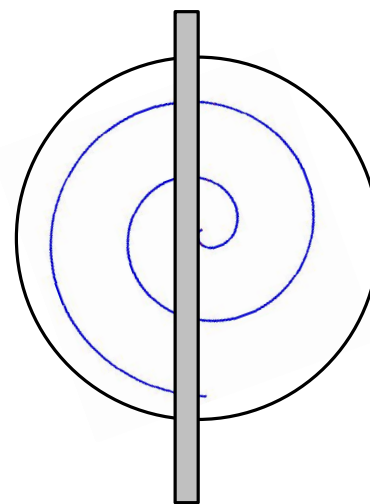


Рис. 9

**Завдання 4. Продемонструйте додавання переміщень, що здійснюються під кутом одне до одного.**

1. Скляну трубку довжиною близько 1 м заповніть гліцерином і закрийте пробкою так, щоб в ній залишилася бульбашка повітря. Якщо трубку перевернути, бульбашка буде спливати. Рух, що встановлюється, буде рівномірним.

Розташуйте трубку вертикально поруч з класною дошкою і одночасно з підніманням бульбашки рухайте трубку паралельно дошці. Покажіть, що переміщення бульбашки повітря відносно дошки є векторною сумою переміщень її відносно трубки і трубки відносно дошки.



2. До дошки за допомогою цвяха підвісьте на нитці невеликий вантаж і занурте його в скляну трубку. Переміщуйте трубку рівномірно паралельно нижньому краю дошки. Як при цьому переміщується вантаж? Зробіть висновок.

**Завдання 5. Використайте похилий жолоб і метроном для демонстрації закону шляхів при рівноприскореному русі.**

1. З допомогою штатива затисніть жолоб під деяким невеликим кутом до горизонту. Нахил жолоба виберіть таким, щоб кулька скочувалась жолобом протягом приблизно 4 с.

2. На деякій відстані від початку жолоба покладіть циліндр. Кулька, що котиться по жолобу, при ударі в циліндр повинна зупинитись.

3. Встановіть на метрономі частоту 120 уд/хв. Запустіть метроном і в такт з ударами вимовляйте „нуль”, „нуль”, „нуль”... Одночасно з одним з ударів метронома пустіть кульку вздовж жолоба, продовжуючи лічити удари метронома: „один”, „два”, „три”, ...

4. Змінійте положення циліндра і повторюйте п. 3 до тих пір, поки удар метронома і удар кульки об циліндр співпадуть.

5. П. 4 виконайте для двох, чотирьох та шести ударів метронома. Кожного разу виміряйте і запишіть шлях, що його пройшла кулька.

6. Покажіть, що дослід підтверджує залежність  $s = \frac{at^2}{2}$ .

**Зауваження.** Можна при підготовці цієї демонстрації виконати п. 4 для максимальної довжини. Визначивши  $s$  і  $t$ , обчислити прискорення і розрахувати теоретично положення циліндра для часу 1, 2, 3 с. Малопомітні мітки на жолобі допоможуть прискорити процес знаходження правильних положень циліндра.

**Завдання 6. Використайте машину Атвуда і секундомір СЭД-1М для демонстрації закону шляхів при рівноприскореному русі.**

1. Приєднайте машину Атвуда до секундоміра СЭД-1М згідно схеми рис. 10 з лабораторної роботи №1 (варіант 1, без рухомого кільця). Включіть секундомір.

2. Переключіть секундомір в режим «Датчик», встановіть на ньому червоними стрілками час  $t_1 = 1,4$  с. Ручки, з допомогою яких обертають червоні стрілки, знаходяться на задній стінці секундоміра (**звертайте увагу на напрям обертання ручок!**). Маленька стрілка повинна перебувати приблизно посередині між поділками 1 с і 2 с.

3. Приймальний столик розташуйте якомога нижче і опустіть його.

4. Розімкніть ключ К. Правий важок з перегрузком 4 г встановіть навпроти нульової поділки шкали (з нульовою поділкою повинна співпадати нижня поверхня важка). Замкніть ключ К.

5. Натисніть кнопку «Пуск» секундоміра. Важки повинні прийти в рух і зупинитись через 1,4 с. Запишіть поділку шкали  $h_1$ , біля якої знаходиться нижня частина важка. (Якщо регулювання машини Атвуда було виконано так, як

описано в роботі № 1, то  $h_1 \approx 10$  см)

6. Поверніть стрілки секундоміра в нульове положення, короткочасно натиснувши кнопку „Установка нуля”.

7. Повторіть пункти 2 – 6 два-три рази для часу 1,4 с, а потім для проміжку часу  $t_2 = 2,8$  с. Знайдіть середні значення висот  $h_1$  і  $h_2$ .

8. Перевірте залежність  $h = \frac{at^2}{2}$ , зробіть висновок.

### **Завдання 7. Продемонструйте на машині Атвуда непряме вимірювання миттєвої швидкості.**

1. Секундомір СЭД-1М вимкніть з мережі і встановіть на машині Атвуда рухоме кільце 5. Ділянку кола 1 замініть ділянкою 2 (рис. 10 з лабораторної роботи №1). Кільце повинно бути на висоті  $h_1 = 2,8$  см, де  $h_1$  візьміть із завдання 6, а 2,8 см – це висота циліндричного важка.

2. Переключіть СЭД-1М в режим «Секундомір». Приймальний столик встановіть на позначці 80 см, підніміть його. Увімкніть секундомір і поставте його стрілки на нуль.

3. Розімкніть ключ К. Правий важок з перегрузком 4 г встановіть навпроти нульової поділки шкали (з нульовою поділкою повинна співпадати нижня поверхня важка). Замкніть ключ К.

4. Розімкніть ключ К. Важки придуть в рух, але стрілки секундоміра будуть нерухомі. В момент проходження важка через кільце перегрузок залишається на кільці і вмикає секундомір. Важки продовжують рух вже рівномірно зі швидкістю, яку вони набули на кінець першої секунди. Удар важка об столик зупиняє секундомір.

5. Запишіть покази секундоміра  $t'_1$ . Правий важок з перегрузком 4 г знову встановіть навпроти нульової поділки шкали, замкніть ключ. Повторіть пункти 2 – 5 для висоти  $h_1$  декілька раз, знайдіть  $t'_{1\text{сеп}}$ .

6. Переставте кільце на висоту  $h_2 = 2,8$  см ( $h_2$  візьміть з завдання 6) і повторіть пункти 2 – 5.

7. Обчисліть швидкості в моменти часу  $t_1$  і  $t_2$ :

$$v_1 = \frac{80 - h_1}{t'_1}, \quad v_2 = \frac{80 - h_2}{t'_2}.$$

8. Порівняйте одержані значення швидкостей і проміжки часу, протягом яких важок рухався прискорено ( $t_1, t_2$ ).

### **Завдання 8. Покажіть, що під час криволінійного руху швидкість направлена по дотичній до траєкторії.**

Для демонстрації використайте ручний точильний круг і шматок полотна від ножівки по металу. Точильний круг треба розташувати так, щоб іскри, які утворюються при обертанні точила, летіли паралельно демонстраційному столу. Поблизу не повинно бути учнів!

## Завдання 9. Визначте прискорення вільного падіння.

Для визначення прискорення вільного падіння використайте секундомір електронний з приставками ССЭШ-63. Приставку з електромагнітом закріпіть в штативі і розташуйте на максимальній висоті на краю столу. На підлозі розташуйте штатив, на якому закріплена приставка з нормально замкненими контактами. Приставки розташовуються так, щоб вертикальна лінія пройшла через вісь осердя електромагніту і центр шторки нижньої приставки (шторка повинна бути встановлена горизонтально). Під нижньою приставкою поставте невеликий ящик, в який буде падати кулька. Підключіть до приставки з електромагнітом джерело постійного струму на 4 В. Обидві приставки з'єднайте з секундоміром так, як вказано на рис. 10.

1. Переведіть тумблер „Пуск” в нижнє положення і піднесіть невелику сталеву кульку до осердя електромагніту: кулька повинна притягнутись магнітом.
2. Включіть секундомір в мережу, поставте перемикач роду роботи в положення „секунди”.
3. Виміряйте рулеткою відстань від нижньої поверхні кульки до шторки нижньої приставки; запишіть значення висоти падіння кульки.

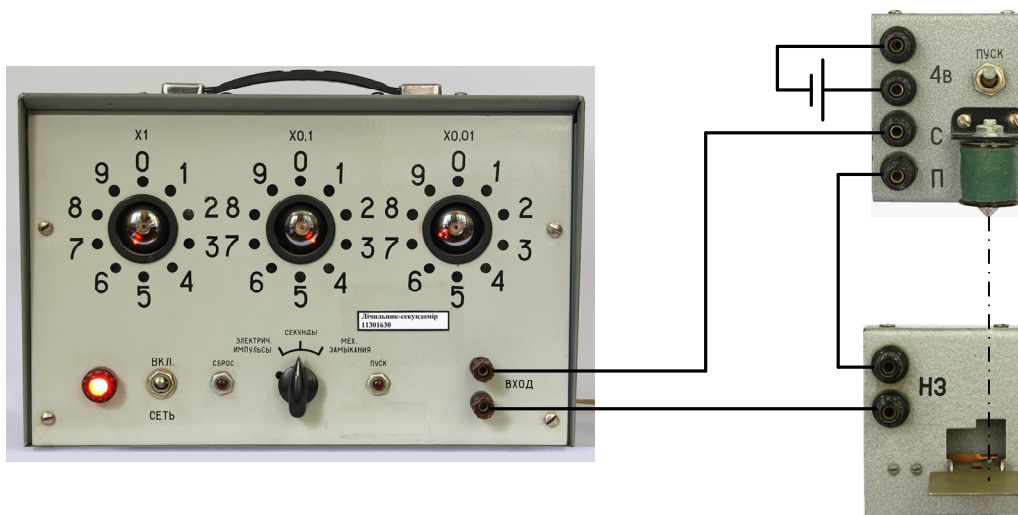


Рис. 10

4. Натисніть кнопку „Сброс”. Переведіть тумблер в положення „Пуск”: кулька повинна впасти і ударити по шторці. Час польоту кульки, зареєстрований секундоміром, запишіть в зошит.

5. Переведіть тумблер „Пуск” в нижнє положення, піднесіть до електромагніту кульку, шторку нижньої приставки переведіть в горизонтальне положення.

6. Повторіть пункт 4 декілька раз, знайдіть середнє значення часу польоту кульки.

7. За формулою  $g = \frac{2h}{t^2}$  обчисліть прискорення вільного падіння. Зробіть висновок.

*Зауваження.* Сталева кулька при контакті з магнітом намагнічується. Тому може статись, що при виключенні магніту вона ще долі секунди не рухається.

Секундомір при цьому реєструє час, більший реального часу падіння. Запобігти проблемі можна, вставивши паперову прокладку між кулькою і осердям магніту. Товщина прокладки повинна бути такою, щоб кулька ще утримувалась на осерді.

**Завдання 10. Покажіть дослід, що ілюструє поняття кутової швидкості.**

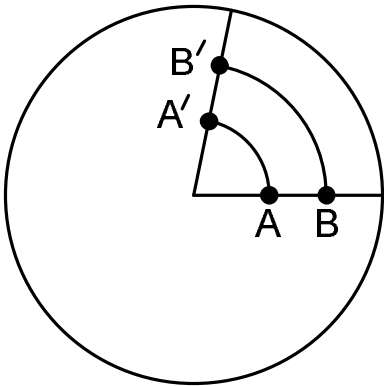


Рис. 11

Закріпіть горизонтально вісь диска великого розміру (можна скористатись обертовим диском). На диску нанесіть крейдою дві точки, розташовані на одному радіусі (рис. 11). Поверніть диск на деякий кут і відмітьте крейдою кут повороту і дуги, описані точками. Зверніть увагу учнів на те, що переміщення і шляхи, здійснені різними точками тіла, різні, а кут повороту для всіх радіусів один і той же. Тому лінійні швидкості різних точок диска різні, а кутові швидкості однакові.

**Завдання 11. Покажіть вимірювання кутової швидкості.**

Встановіть обертовий диск строго горизонтально і закріпіть на ньому з допомогою стояка маятниковий тахометр. Плавнo збільшуючи кутову швидкість обертання диска, приведіть його в рух. Маятник тахометра відхиляється тим більше, чим більша кутова швидкість (рис. 12). Як показано в роботі 1, великі поділки тахометра відповідають частоті обертання 0, 0.5 і 1 об/с.



Рис. 12

## Контрольні запитання.

1. Що називають системою відліку?
2. Як продемонструвати відносність механічного руху?
3. Порівняйте результати виконання завдань 5 і 6. Які з них більш переконливі? Який із способів простіший за технікою виконання?
4. Виконайте аналіз завдання 7 з точки зору наочності, доступності та складності експерименту.
5. Проаналізуйте виконання завдання 9. Яку похибку Ви одержали при визначенні прискорення вільного падіння? Що може впливати на результати експерименту?
4. Які способи вимірювання кутової швидкості Ви могли б запропонувати?

## ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 3.

### ДИНАМІКА.

**Мета роботи:** Засвоїти техніку постановки і методику проведення демонстраційних дослідів з динаміки.

**Прилади і матеріали:** Машина Атвуда, секундомір-датчик часу електроконтактний демонстраційний (СЭД-1М), обертовий диск з пристосуваннями, жолоб, кулька, ящик з піском, лист поролону, лист скла, прилад Покровського, два візки з пружиною, брусок дерев'яний, підставка з кулькою і листком картону, гиря на П-подібній рамі, котушка ниток, два демонстраційні динамометри, лінійка або рейка довжиною 0,5 м з прикріпленим динамометром, відерце з водою на міцному шнурі, вантаж набірний масою 2 кг, міцний шнур, мішечок з піском або обрізками поролону, вузькі паперові стрічки, штативи універсальні (6 шт.), струбцина.

### Теоретичні відомості.

Демонструючи перший закон динаміки слід розуміти, що він не допускає прямої дослідної перевірки, а встановлюється на основі екстраполяції результатів руху тіл в умовах, коли сила тертя послідовно зменшується.

Експериментально складно дослідним шляхом підтвердити другий закон динаміки. З технічної точки зору дослід простіше виконати для руху тіла по колу. Оскільки доцентрове прискорення  $a = \omega^2 R$ , то проілюструвати залежність  $a \sim F$  (при сталій масі тіла) – це значить показати, що зі збільшенням  $\omega$  збільшується  $F$ . Цю демонстрацію можна виконати на обертovому диску з пристосуваннями.

Для демонстрації законів динаміки можна також використати машину Атвуда з електромеханічним секундоміром СЭД-1М. Важки машини Атвуда слід обов'язково відтарувати, як це описано в роботі 1.

При ілюстрації другого закону динаміки на прикладі прямолінійного руху перш за все нагадують учням наступне. Якщо тіла здійснюють одне і те ж

переміщення за різні проміжки часу, то їх прискорення обернено пропорційні квадрату часу  $\frac{a_1}{a_2} = \frac{t_2^2}{t_1^2}$ . Дослідним шляхом спостерігають вплив діючої сили на час, необхідний для здійснення тілом даного переміщення, і тим самим встановлюють залежність прискорення тіла від сили. Для простоти відношення  $\frac{t_2^2}{t_1^2}$  повинно виражатись цілими числами. Успіх демонстрації цілком залежить від того, наскільки точно вдалося синхронізувати вимірювання часу з рухом тіла. Саме на машині Атвуда можна здійснити автоматичний пуск секундоміра одночасно з початком руху тіла і автоматичне виключення при зупинці тіла.

### Хід роботи.

**Завдання 1. Покажіть, що тіло зберігає стан спокою чи рівномірного прямолінійного руху, якщо сили, які діють на нього, компенсуються.**

1. Встановіть жолоб (довжиною близько метра) під невеликим кутом до площини столу. Під кінець жолобу покладіть на стіл довгу коробку з невисокими стінками, заповнену піском. Покажіть, що кулька, скотившись з жолоба, пройде по піску невелику відстань.

В демонстрації використовується невелика сталева кулька діаметром 1 – 2 см. Перед початком демонстрації пісок слід розрівняти.

Замініть коробку з піском листом поролону. Шлях, пройдений кулькою, стає більшим. Ще більший шлях проходить кулька по листу скла.

2. Прилад Покровського закріпіть в двох штативах під невеликим кутом до площини столу. До візка від приладу прив'яжіть на нитці циліндричний вантаж масою близько 100 г.

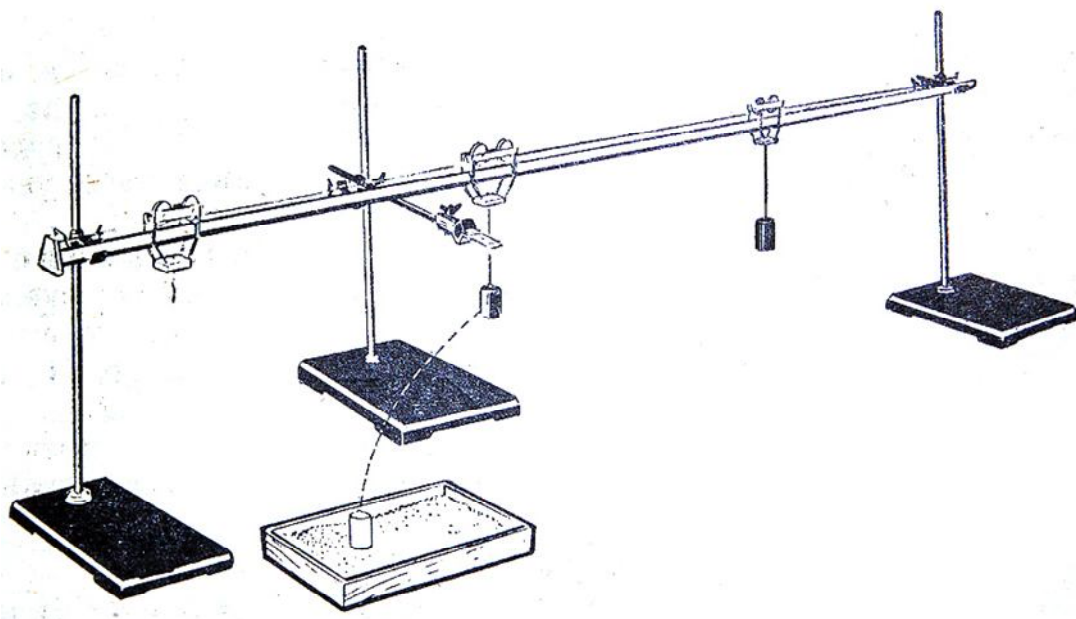


Рис. 1

Лезо безпечної бритви затисніть в лапці штативу і розташуйте його так, щоб при скочуванні візка лезо обрізало нитку, до якої прив'язаний вантаж (див. рис. 1). В місці падіння вантажу поставте невеликий ящик з піском. Поясніть спостережуване явище.

### Завдання 2. Продемонструйте спосіб порівняння мас.

Для досліду необхідні два однакові легкорухомі візки. Між візками затисніть плоску пружину, стягнувши її нитяною петлею (рис. 2). Перепаліть чи переріжте ножицями нитку і покажіть, що візки одночасно ударять в обмежувачі, розташовані на однакових відстанях від візків.

Покладіть на один з візків гирю масою 1 чи 2 кг і повторіть дослід. Візок з більшою масою при взаємодії одержує менше прискорення.

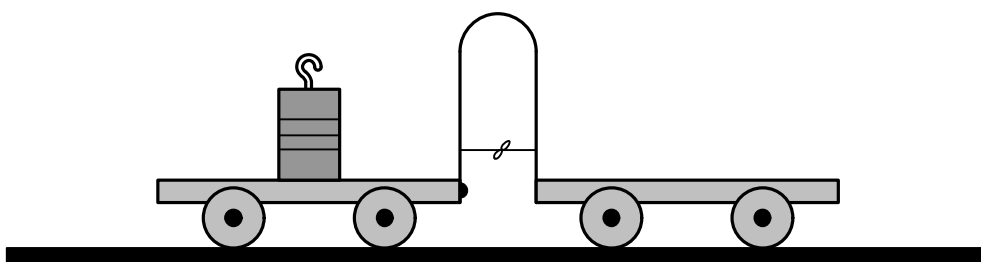


Рис. 2

### Завдання 3. Продемонструйте явище інерції.

1. Для демонстрації явища інерції можна скористатись візком з вертикально розташованим на ньому дерев'яним бруском (рис.3). Різким поштовхом приведіть візок в рух – брусок при цьому падає в сторону, протилежну рухові. Поверніть візок в попереднє положення, знову поставте на нього брусок і плавно надайте візку швидкості. Наштовхнувшись на перешкоду, візок зупиняється, а брусок падає вперед.

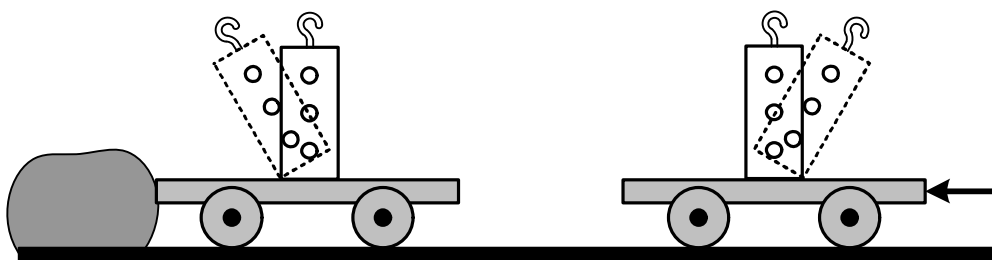


Рис. 3

2. Продемонструйте явище інерції на підставці з кулькою і листком картону. Під кульку на підставку покладіть невеликий листок картону (рис. 4). Щоб кулька не скочувалась з картону, зробіть в ньому невелику заглибину. Відведіть в сторону пружину і відпустіть її. Після удару пружини по листку картону листок вилітає, а кулька залишається на місці.

#### **Завдання 4. Покажіть, що масивні тіла більш інертні.**

До П-подібної рами ниткою прив'яжіть масивну (2 кг) гирю. Знизу до гирі прив'яжіть таку ж нитку з невеликою перекладиною (рис. 5). Паралельно верхній нитці прив'яжіть міцний шнур, довжина якого трохи більша, ніж довжина нитки. Цей шнур не дасть гирі впасти на стіл при обриві верхньої нитки.



Рис. 4

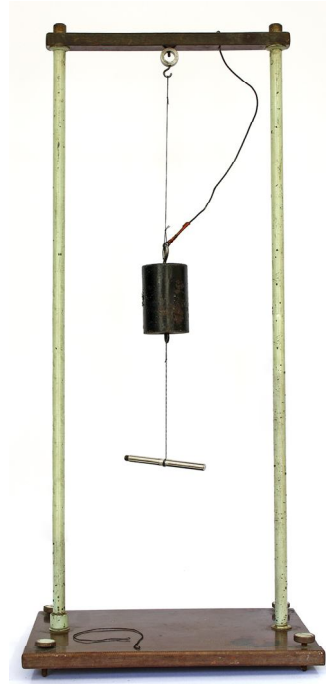


Рис. 5

Покажіть, що при поступовому натягуванні нижньої нитки рветься верхня. Замініть розірвану верхню нитку і різко смикніть нижню нитку: нижня нитка порветься, а верхня залишиться цілою.

#### **Завдання 5. Продемонструйте з допомогою диска виникнення доцентрової сили.**

1. Закріпіть на диску стояк висотою 200 мм, а в ньому – стержень з трьома кульками, як показано на рис. 6.

2. Приведіть диск в обертовий рух, плавно збільшуючи його кутову швидкість

3. Зверніть увагу на те, що кулька, яка висить над центром диска, залишилась у початковому стані, а інші дві кульки відхилились від вісі тим більше, чим далі вони перебувають від вісі обертання.

4. Поясніть, що доцентровою силою, яка утримує кульки на коловій траєкторії, є рівнодійна сил тяжіння і натягу нитки (рис. 7).





Рис. 6

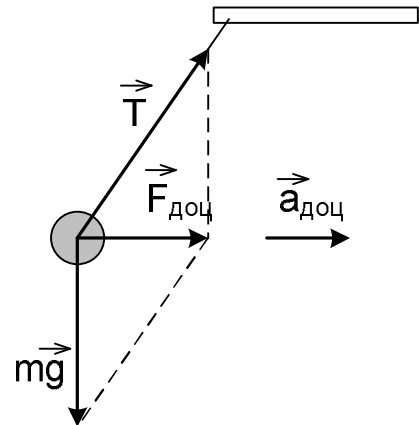


Рис. 7

**Завдання 6. Продемонструйте другий закон динаміки з допомогою обертового диска з пристосуваннями.**

1. На обертовий диск встановіть колодку з роликом, покладіть на нього коток масою 500 г і з'єднайте коток з роликом пружиною від динамометра (див. рис. 8). На краю диска закріпіть маятниковий тахометр.

2. Плавно збільшуючи кутову швидкість, приведіть диск в обертовий рух з частотою 0,5 об/с і запам'ятайте (запишіть) положення котка.

3. Зупиніть диск і замініть коток на інший – масою 250 г. Приведіть диск в обертовий рух так, щоб положення котка відповідало попередньому. Запишіть покази тахометра.

4. Порівняйте покази тахометра в першому і другому досліді (знайдіть відношення частот  $\nu_2/\nu_1$ ).

Сила пружності – це доцентрова сила. Розтяг пружини визначається радіусом кола, по якому рухається коток. Оскільки радіуси в обох дослідіх однакові, то й сили пружності однакові.

$$F_{np} = m\omega^2 R; \quad \omega = 2\pi\nu.$$

$$\text{Для першого котка: } F_{np} = m \cdot 4\pi^2 \nu_1^2 R.$$

$$\text{Для другого котка: } F_{np} = \frac{1}{2} m \cdot 4\pi^2 \nu_2^2 R.$$

Прирівнявши праві частини виразів, після перетворень одержимо:

$$\nu_1^2 = \frac{1}{2} \nu_2^2, \quad \nu_2^2 = 2\nu_1^2, \quad \text{або } \nu_2 = \sqrt{2} \cdot \nu_1.$$

Чи справджується це співвідношення на досліді?



Рис. 8

**Завдання 7. Продемонструйте другий закон динаміки з допомогою машини Атвуда.**

Машина Атвуда повинна бути встановлена вертикально, а її важки відтаровані згідно з рис. 11 роботи № 1. Компенсація тертя повинна бути виконана спочатку для верхніх половинок важків, а потім для цілих важків. В останньому випадку для компенсації сили тертя перекладають дробинки з нижніх половинок важків.

1. З'єднайте машину Атвуда з секундоміром СЭД-1М за схемою рис. 10 до лабораторної роботи № 1 (варіант 1, без рухомого кільця). Перемикач роду роботи на секундомірі поставте в положення «*Секундомір*».

2. Встановіть приймальний столик на висоті  $h=45$  см, опустіть його (при опусканні столика вниз вхід секундоміра буде розімкнено).

3. Увімкніть секундомір і встановіть його стрілки на нуль, натиснувши кнопку «*Установка нуля*».

4. Вимкніть ключем  $K$  пускач і встановіть правий важок з розташованим на ньому перегрузком масою  $m_1=2$  г так, щоб нижня частина важка була навпроти нульової поділки шкали. Замкніть ключ  $K$ .

5. Підніміть столик. Натисніть кнопку «*Пуск*» секундоміра. Пускач звільнює нитку, важки приходять в рух і секундомір починає відлік часу. В момент удару правого важка об приймальний столик секундомір зупиняється.

6. Запишіть покази секундоміра  $t$ . Повторіть пункти 3 – 5 декілька раз, знайдіть середнє значення часу.

7. За формулою  $a = \frac{2h}{t^2}$  обчисліть прискорення  $a$ . Зробіть оцінку похибки вимірювань.

8. Встановіть стрілки секундоміра на нуль, натиснувши кнопку «Установка нуля». Повторіть пункти 4 – 7 для важка  $m_2=4$  г.

9. Вважайте, що рухома маса в обох дослідах не змінювалась, а рушійна сила збільшилась вдвічі. Як змінилося прискорення? Зробіть висновок.

10. Зменште масу рухомої системи вдвічі, відкрутивши нижні частини важків. Встановіть стрілки секундоміра на нуль. Використавши перегрузок 4 г, повторіть пункти 4 – 7.

11. Порівняйте прискорення, одержані в пунктах 8 і 10, зробіть висновок.

### Завдання 8. Продемонструйте третій закон динаміки.

Один з демонстраційних динамометрів закріпіть в штативі. Подійте на динамометр рукою (потягніть його за крючок вниз). Динамометр покаже силу, з якою ви дієте на нього.

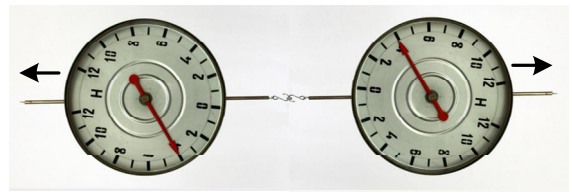


Рис. 9

Візьміть другий динамометр в руки і розтягуйте пружину першого динамометра другим динамометром. Другий динамометр покаже силу, з якою перший динамометр діє на вас.

Ще один варіант демонстрації показано на рис. 9.

### Завдання 9. Продемонструйте зміну ваги тіла під час прискореного руху.

1. З'єднайте динамометр Бакушинського з лінійкою або планкою довжиною 50 см. У верхній частині лінійки зробіть отвір діаметром 4,5 мм, через який пропустіть болт М4, вільний кінець якого закріпіть в лапці штативу. Лінійка повинна вільно обертатись навколо болта (рис. 10). Основу штативу прикріпіть до столу струбциною.

2. Прикріпіть до крючка динамометра вантаж масою 100 г. Запам'ятайте покази динамометра: 1 Н.

3. Відхиліть лінійку з динамометром на кут близько  $45^\circ$  і відпустіть. Що показує динамометр при проходженні вантажем положення рівноваги? Зафіксувати покази динамометра можна з допомогою стопора, виготовленого з гуми.

4. Повторіть пункт 3 для кута  $90^\circ$ . Для цієї демонстрації штатив повинен бути міцно прикріплений до демонстраційного столу! Розрахуйте теоретично покази динамометра, вважаючи, що під час руху радіус

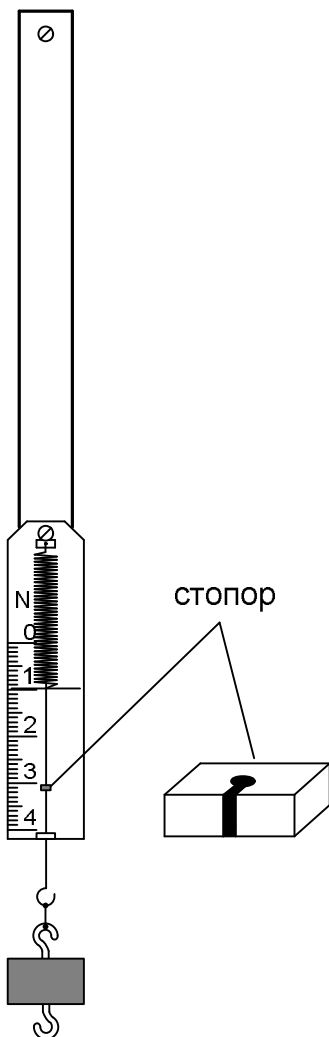


Рис. 10

траєкторії важка не змінюється. Чи відповідають розрахунки результатам досліду?

### **Завдання 10. Продемонструйте невагомість при падінні тіла.**

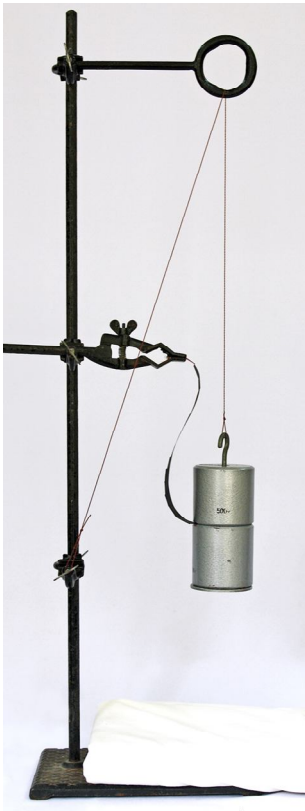


Рис. 11

1. На міцному шнурку, пропущеному через кільце штативу, підвісьте вантаж масою 2 кг, що складається з окремих циліндричних гир. На другому кінці шнурка зробіть петлю, яку зачепіть за крючок муфти на стержні від штативу, як показано на рис. 11. Під вантаж на стіл покладіть мішок з піском або поролоном.

2. Між гирями набірною вантажу вставте смужку газетного паперу, вільний кінець якої міцно затисніть в лапці штативу. Смужка повинна бути вузькою або на ній треба буде зробити надрізи, щоб вона легко рвалась.

3. Відчепіть петлю шнурка і повільно опускайте вантаж. Смужка натягується і розривається. Робимо висновок, що смужка міцно придавлена гирею.

4. Замініть смужку цілою. Відчепіть петлю шнурка і відпустіть вантаж. Вантаж вільно падає, а паперова смужка повисає в лапці штативу.

Дослід показує, що при вільному падінні тиск гирі на опору відсутній, тобто гиря під час падіння перебуває в стані невагомості.

### **Завдання 11. Обертання відерця з водою.**

1. Наповніть відерце з водою приблизно наполовину і прикріпіть до дужки міцний шнур. Приведіть відерце з водою в обертовий рух по колу в горизонтальній площині (як у випадку конічного маятника). Спостерігайте за поверхнею води у відерці. Як розташована поверхня води? Поясніть явище.

2. Приведіть відерце з водою в рух по колу у вертикальній площині. Під час тренувальних вправ з цього досліду слід потурбуватись, щоб вода випадково не потрапила на учнів та обладнання. Поясніть, чому вода при швидкому обертанні відерця не виливається з нього.

### **Контрольні запитання.**

1. На основі яких дослідів вводиться поняття маси?
2. Чи можна перший закон динаміки перевірити на досліді?
3. Як оцінити прискорення візка за його переміщенням та проміжком часу?
4. Яку похибку у вимірювання маси рухомої системи машини Атвуда внесе заміна перегрузка масою 4 г на перегрузок масою 2 г?
5. Як зберегти масу рухомої системи сталою, якщо масою перегрузка знехтувати не можна?
6. На яких дослідах можна продемонструвати явище інерції, що

спостерігається під час прискорення чи гальмування транспорту?

7. Як показати, що сила тяжіння всім тілам надає одне і те ж прискорення?

8. Чи може сила тертя надавати тілу прискорення?

9. Дайте означення ваги тіла. Якими демонстраціями слід супроводжувати це означення?

10. Як продемонструвати зменшення ваги тіла при його русі з прискоренням, направленим вниз?

## ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 4

### СТАТИКА.

**Мета роботи:** Засвоїти техніку постановки і методику проведення демонстраційних дослідів з розділу „Статика”.

**Прилади і матеріали:** Набір зі статики з магнітними тримачами, трубчаті та дискові динамометри, прилад для демонстрації розкладання ваги тіла на кронштейні, горизонтальний важіль, похила площина, брусок для похилої площини, набір важків, нерухомі блоки, диск на горизонтальній вісі, штативи з затискачами (5 – 6 шт.), моток міцного бавовняного шнурка, ножиці, висок, прилад для демонстрації видів рівноваги, призма для демонстрації стійкості тіл, що мають площу опори.

### Теоретичні відомості.

Статика вивчає умови рівноваги тіл. З другого закону Ньютона випливає перша умова рівноваги тіл, що не мають вісі обертання: тіло перебуває в рівновазі тоді, коли рівнодійна сил, що на нього діють, дорівнює нулю. Друга умова стосується тіл, що мають вісь обертання. Для цих тіл рівновага матиме місце тоді, коли сума моментів усіх сил, що діють на тіло, дорівнюватиме нулю. Ця умова дістала назву правила моментів.

Перша умова ілюструється прикладами на додавання сил, що діють вздовж прямої та під кутом одна до одної. Правило моментів слід спочатку проілюструвати на прикладі горизонтального важеля, а потім на диску для демонстрації правила моментів. На наш погляд, в цих демонстраціях доцільно обмежитись трьома силами для спрощення обчислень.

Для демонстраційних дослідів зі статики використовують різноманітні динамометри: трубчаті динамометри, демонстраційні динамометри з круглою шкалою, динамометри Бакушинського (див. рис. 1).

Найбільш зручно виконувати вимірювання сил з допомогою демонстраційного динамометра з круглою шкалою конструкції А. Г. Дубова і А. П. Кузьміна. Значна кількість демонстрацій може бути виконана з допомогою набору зі статики з магнітними тримачами конструкції Б. С. Зворикіна, в якому використовуються трубчаті динамометри з межею вимірювання 3 Н. На жаль, ці динамометри не витримують тривалої експлуатації і виходять з ладу.

Найбільш „живучими” виявились динамометри Бакушинського, які, хоч

вони і не призначені для демонстраційних дослідів, можуть замінити трубчаті динамометри набору Б. С. Зворикіна. Для цього динамометри Бакушинського треба закріпити на магнітних тримачах трубчатих динамометрів і використовувати їх замість останніх (рис. 2).

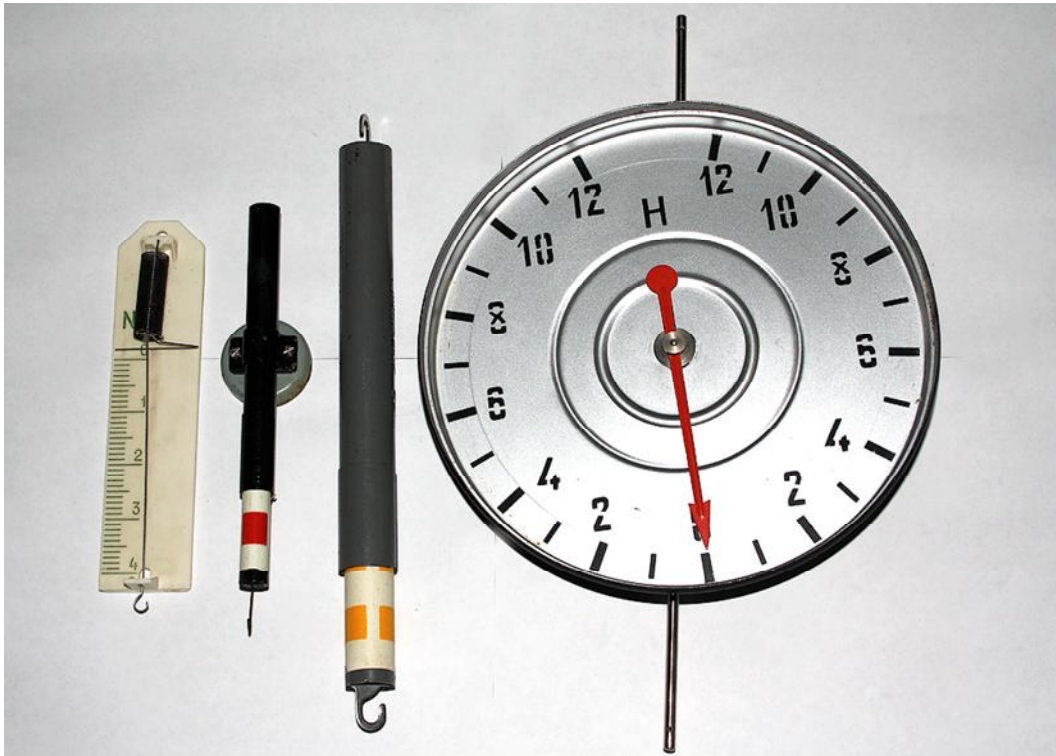


Рис. 1

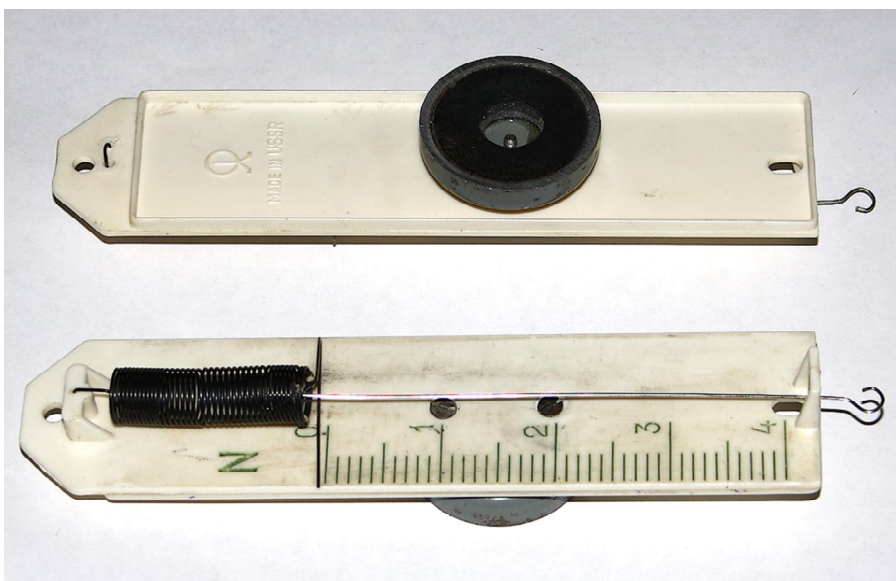


Рис. 2



Рис. 3

## Хід роботи.

### Завдання 1. Покажіть додавання сил, що діють вздовж однієї прямої.

1. Закріпіть демонстраційний динамометр з круглою шкалою в штативі так, щоб стержень динамометра був вертикальним. Надіньте на верх стержня столик і поставте на нього важки загальною масою 300 г (їх вага дорівнює 3 Н). До нижнього крючка стержня підвісьте два важки по 100 г кожний. Покази динамометра дорівнюватимуть сумі ваги верхніх і нижніх важків (5 Н, див рис. 3).

2. На попередній установці зніміть столик і додайте важків знизу. До верхнього крючка стержня приєднайте динамометр і потягніть вгору. Динамометр з круглою шкалою покаже різницю між вагою важків і силою пружності, яку показує верхній динамометр.

### Завдання 2. Продемонструйте правило паралелограма сил.

1. На вертикальному щиті від набору зі статки закріпіть з допомогою магнітних тримачів пружину і два динамометра так, як показано на рис 4. Відтягніть пружину двома динамометрами так, щоб вони розташувались під прямим кутом один до одного і показували 1,5 Н і 2 Н. Відмітьте крейдою положення кільця пружини, від'єднайте один динамометр а другим відтягніть пружину в попереднє положення. Що показує динамометр? Зобразіть складові сили і їх рівнодійну. Чи виконується правило паралелограма в цьому досліді?

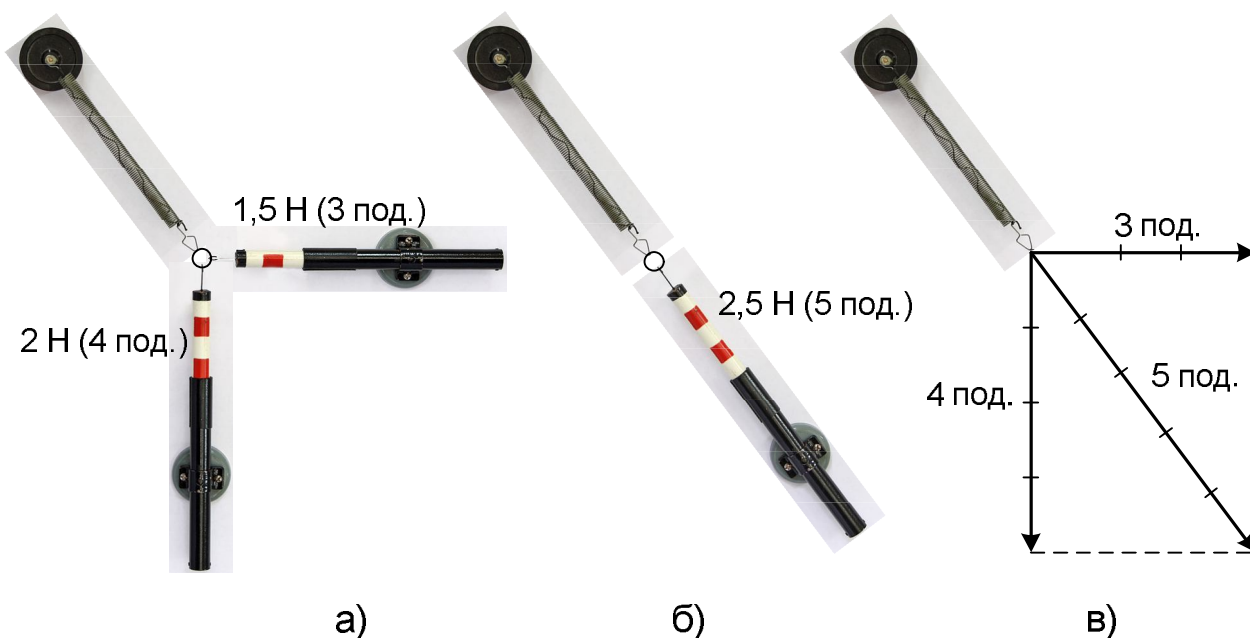


Рис. 4

Можна виконати варіант цієї демонстрації, замінивши пружину третім динамометром. Цей динамометр показує урівноважуючу силу, яка дорівнює за модулем рівнодійній і направлена протилежно до неї.

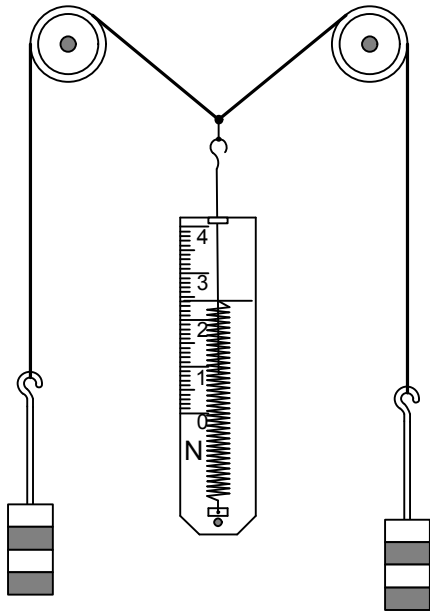


Рис. 5

2. На щиті закріпіть два блоки на відстані 10 – 15 см один від одного. Перекиньте через блоки бавовняний шнур з петлею посередині і прив'яжіть до його кінців однакові важки масою 150 – 200 г. Середину шнура відтягніть динамометром (рис. 5). Відмітьте напрям складових і урівноважуючої сил, зобразіть їх в певному масштабі. Зобразіть рівнодійну – силу, яка дорівнює по модулю і протилежно направлена урівноважуючій силі. Переконайтесь, що рівнодійна є діагоналлю паралелограма, побудованого на складових силах як на сторонах.

**Завдання 3. Покажіть залежність значення рівнодійної від кута між складовими.**

Для цієї демонстрації використовується та ж установка, що і в попередньому завданні (рис. 5). Зачепивши крючком динамометра за петлю, переміщуйте блоки, зменшуючи кут між нитками. Динамометр показує значення урівноважуючої сили, яка зі зменшенням кута між нитками поступово зростає. Вона дорівнює сумі складових сил, коли кут зменшується до нуля (для цього блоки розмістіть на різній висоті).

**Завдання 4. Продемонструйте розкладання ваги тіла, що діє на кронштейн.**

Розкладання ваги тіла, підвішеного до кронштейна, можна показати на установці, зображеній на рис. 6. Підвісьте до шнура вантаж і відмітьте покази динамометрів. Виконайте малюнок, який ілюструє розкладання сили, що діє на кронштейн.

**Завдання 5. Покажіть розкладання сили тяжіння, що діє на вантаж, який лежить на похилій площині.**

Зберіть установку за рис. 7. Підбираючи маси важків, добийтесь того, що тіло і важки будуть перебувати в рівновазі, при чому тіло ледь торкатиметься похилої площини. Запишіть значення сил і кута нахилу похилої площини. Виконайте теоретичний розрахунок розкладання сили тяжіння на похилій площині. Чи співпадають результати розрахунків з даними експерименту?



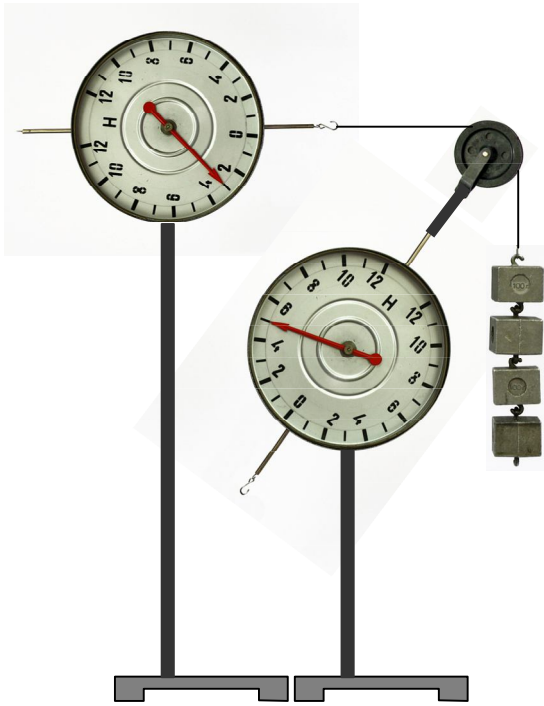


Рис. 6

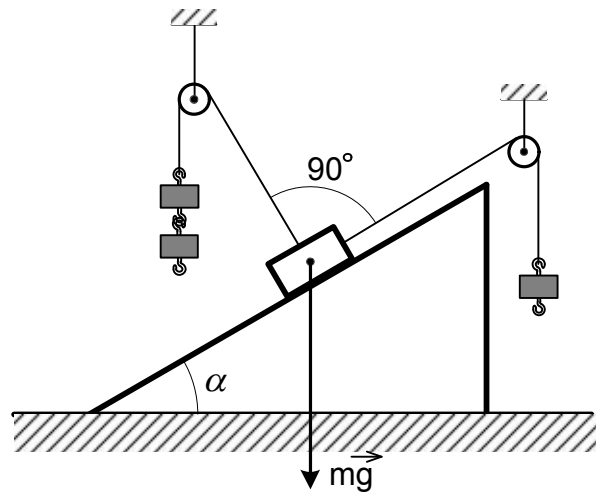


Рис. 7

### Завдання 6. Продемонструйте правило моментів сил.

1. Продемонструйте рівновагу сил на важелі першого і другого роду. Для цього вісь демонстраційного важеля закріпіть в муфті штатива (рис. 8). Зрівноважте важіль, переміщуючи гайки на його кінцях. В отвори важеля вставте дротяні гачки і підвісьте до них потрібну для рівноваги кількість важків. Поясніть поняття „плече сили”, „момент сили”, сформулюйте умову рівноваги важеля. На рис. 8а зображений важіль першого роду, а на рис. 8б – важіль другого роду. Замість важка, підвішеного на нитці, можна використати динамометр, що тягнутиме важіль вгору.

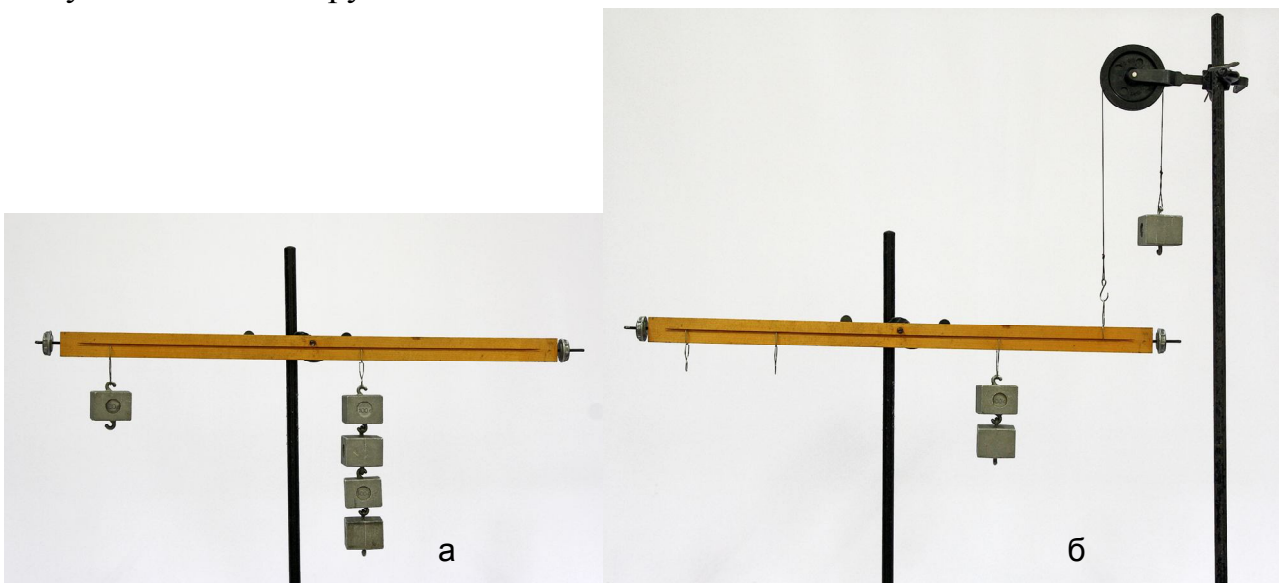


Рис. 8

2. Повторіть демонстрації з важелями, використавши три або чотири сили. Сформулюйте правило моментів.

3. Більш складна установка для демонстрації правила моментів зображена на рис. 9. Підберіть вантажі так, щоб диск перебував у рівновазі. Виміряйте плечі сил, обчисліть їх моменти. Покажіть, що при рівновазі диска алгебраїчна сума моментів відносно вісі обертання дорівнює нулю.

**Завдання 7. Виведіть дослідним шляхом правило додавання паралельних сил.**

1. Додавання паралельних сил, напрямлених в один бік.

Дерев'яну лінійку завдовжки 50 – 60 см з сантиметровими поділками і вушками кріплення на кінцях підвісьте на двох блоках, закріплених у муфтах штативів (рис. 10). Зверніть увагу учнів на те, що вага лінійки урівноважена двома маленькими гирками, які прив'язані до кінців бавовняних шнурків. На кожному шнурок почепіть певну кількість важків масою по 100 г з двома гачками. Урівноважуючу силу прикладіть до вушка дротяного гачка, який охоплює лінійку і може пересуватись вздовж неї. При додаванні паралельних сил рівнодійна (яка за модулем дорівнює урівноважуючій силі) дорівнює сумі сил, що додаються. Тому кількість важків урівноважуючої сили дорівнює сумі кількостей важків складових сил. Навантажений гачок пересувайте в бік більшої сили доти, поки не встановиться рівновага. Визначте відстані від точки прикладання урівноважуючої сили ( $a$ , значить, і рівнодійної) до точок прикладання складових сил. Вимірювання повинні показати, що відстані обернено пропорційні значенням сил. Повторіть дослід ще 2 рази, змінюючи значення сил. Встановлена закономірність повинна зберігатись. Зробіть висновок з дослідів і сформулюйте правило додавання паралельних сил.

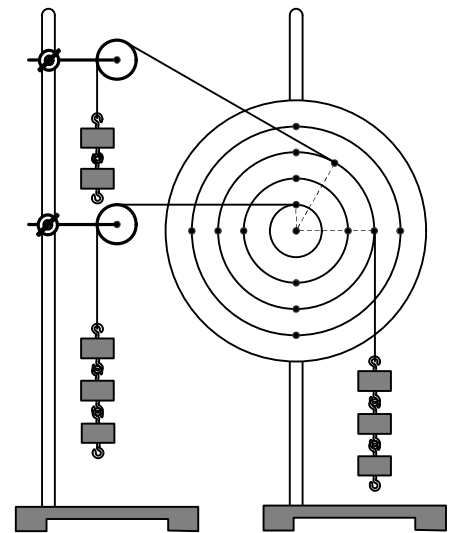


Рис. 9

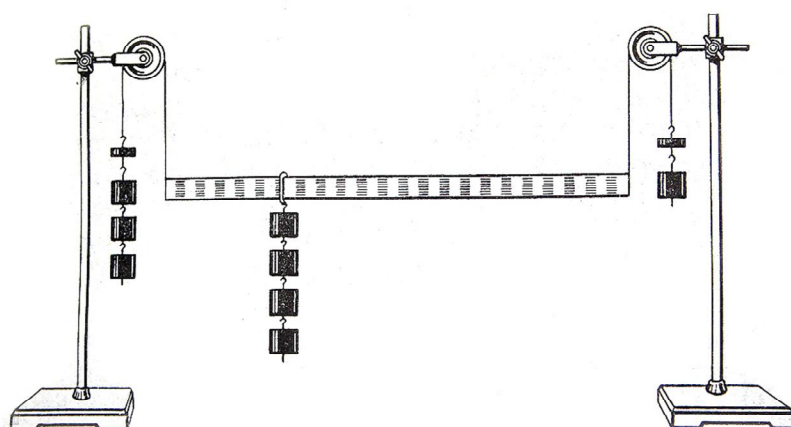


Рис. 10

2. До кінців легенького (дерев'яного чи пластмасового) стержня прикріпіть з допомогою бавовняних шнурків два динамометра з магнітними тримачами. Закріпіть динамометри на вертикальному щиті від набору зі статики так, як показано на рис. 11. Третій динамометр приєднайте до петлі, що може переміщуватись вздовж стержня. Цей динамометр розташуйте ближче до одного з верхніх динамометрів. Перемішуючи динамометри по щиту, встановіть на них певне значення сил. Слідкуйте, щоб шнурки від динамометрів були перпендикулярні до стержня. Виміряйте відстані від точок прикладання складових і урівноважуючої сил, запишіть їх значення. Переконайтесь, що рівнодійна дорівнює сумі складових, а відстані від точки прикладання рівнодійної до точок прикладання складових обернено пропорційні значенням складових. Обидві демонстрації бажано ілюструвати малюнком (див. рис. 12).

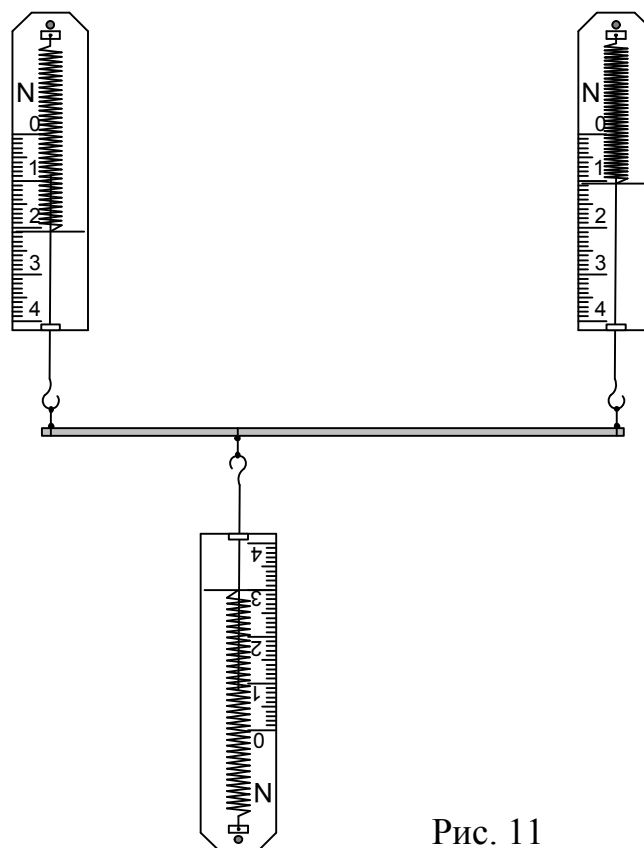


Рис. 11

3. Результат обох демонстрацій можна трактувати і як приклад додавання паралельних сил, направлених в протилежні сторони. Наступні міркування ілюструються рис. 13. Можна вважати, що додаються сили  $F_1$  і  $F_2$ , а  $F$  є урівноважуючою. Тепер модуль урівноважуючої (а, отже, і рівнодійної) дорівнює різниці сил  $F_1$  і  $F_2$ , а відстані від точки прикладання рівнодійної до точок прикладання складових обернено пропорційні складовим.

Вказані демонстрації ілюструють загальну умову рівноваги тіла:

Тіло перебуває в рівновазі тоді, коли одночасно виконуються дві умови: 1) сума сил, що діють на тіло, дорівнює нулю, і 2) сума моментів всіх сил, що діють на тіло (відносно довільної вісі), теж дорівнює нулю.

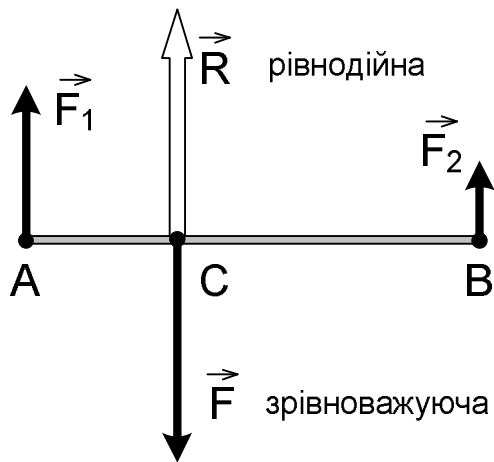


Рис. 12

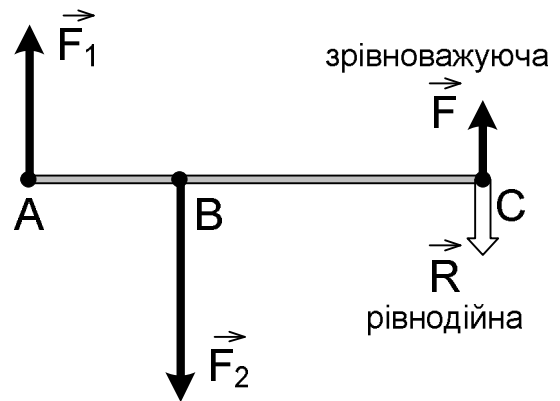


Рис. 13

**Завдання 8. Покажіть різні види рівноваги однорідного тіла, що має одну точку опори.**



Рис. 14

1. З допомогою пластини з набору по статиці (рис. 14) і виска покажіть, як знайти центр мас тіла неправильної форми.

2. Закріпіть горизонтально в штативі стержень, на який підвісьте пластину з набору по статиці таким чином, щоб:

- а) центр мас перебував на одній вертикалі з точкою опори і був розташований нижче її;
- б) центр мас перебував на одній вертикалі з точкою опори і був розташований вище її;
- в) точка опори співпадала з центром мас.

3. Продемонструйте різні види рівноваги на приладі, зображеному на рис. 15.

Зробіть висновки з дослідів.

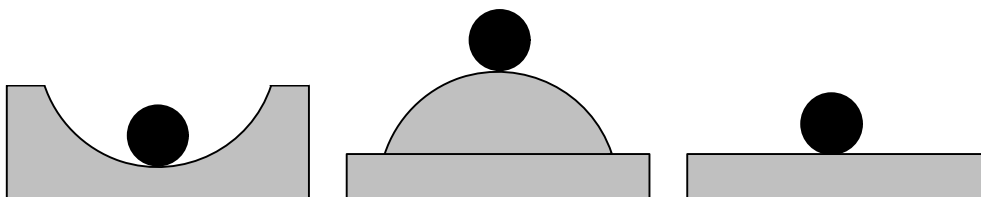


Рис. 15

## Завдання 9. Продемонструйте стійкість тіл, що мають площу опори.



Рис. 16

Умови рівноваги тіла, що має площу опори, демонструють з допомогою спеціального приладу (рис. 16), який має вид призми. Кут нахилу призми до вертикалі можна змінювати. До центра мас призми підвішений невеликий висок. Призма перебуває в рівновазі до тих пір, поки вертикаль, проведена з центра мас, перетинає площу основи призми.

### Контрольні запитання.

1. Сформулюйте правило додавання сил, направлених вздовж однієї прямої.
2. Як додають сили, направлені під кутом одна до одної?
3. В чому відмінність між рівнодійною і урівноважуючою силами?
4. Поясніть правило додавання паралельних сил, не направлених вздовж однієї прямої.
5. Наведіть приклади використання важелів різного роду.
6. Маса металевої труби близько 18 кг. Як можна визначити масу труби більш-менш точно з допомогою побутового кантора з межею зважування 10 кг?
7. Як знайти точку прикладання сили реакції опори, що діє на прямокутний брусок, який лежить на похилій площині?
8. В яких випадках прямокутний брусок буде ковзати по похилій площині, а в яких – перекидатись? Продемонструйте це явище на досліді.
9. Наведіть приклади стійкої, нестійкої та байдужої рівноваги.

## ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 5

### ЗАКОНИ ЗБЕРЕЖЕННЯ.

**Мета роботи:** Засвоїти техніку постановки і методику проведення демонстраційних дослідів з розділу „Закони збереження”.

**Прилади і матеріали:** Пружні кульки на біфілярному підвісі, непружні (пластилінові) кульки на біфілярному підвісі, модель ракети, велосипедний насос або насос Шінца, сегнерове колесо, маятник Максвелла, маятник Галілея, рухомий і нерухомий блоки, набір важків, похила площина, модель гвинта, гиря 2 кг, динамометри, штативи.

## Теоретичні відомості.

Наведемо формулювання законів збереження імпульсу та енергії.

Векторна сума імпульсів тіл ізольованої системи залишається сталою в часі, тобто зберігається.

В ізольованій системі, в якій не діють сили тертя, повна механічна енергія системи зберігається.

Для демонстрації закону збереження імпульсу можна скористатись легкорухомими візками, описаними в роботі № 3. Непружну взаємодію демонструють, закріпивши на одному з візків пластилінову кульку. Для демонстрації пружної взаємодії пластилінову кульку замінюють пружиною. Непогані результати також одержують, використавши металеві і пластилінові кульки, попарно закріплені на біфілярному підвісі. Яскравою ілюстрацією закону збереження імпульсу є реактивний рух, демонстрацію якого виконують з допомогою моделі ракети.

Ілюстрацію закону збереження починають з демонстрації перетворення потенціальної енергії в кінетичну і навпаки. На жаль, наявність втрат механічної енергії практично в усіх демонстраціях не дає можливості виконати кількісну перевірку закону. Яскравими прикладами перетворення і збереження енергії є досліди з маятником Максвелла і з маятником Галілея.

До цієї ж лабораторної роботи відносяться демонстрації „золотого правила” механіки: жоден з простих механізмів не дає виграшу в роботі. Якщо при використанні механізму ми дістаємо виграш у силі, то у стільки ж разів ми програємо в шляху. Через наявність тертя всі механізми мають ККД менший 100 %. В даній роботі пропонується визначити ККД похилої площини, рухомого блока і гвинта.

Застосування закону збереження енергії до руху ідеальної рідини приводить до рівняння Бернуллі, одним з наслідків якого є висновок: тиск в трубці течії більший в тих перерізах потоку, в яких швидкість менша, і навпаки.

## Хід роботи.

### Завдання 1. Продемонструйте закон збереження імпульсу.

1. Дві однакові сталеві кульки підвісьте на біфілярних підвісах так, щоб вони дотикались одна до одної. Нитки біфілярних підвісів повинні бути паралельні. Реалізувати вказане кріплення можна наступним чином. У бічні грані дерев'яної планки, ширина якої дорівнює діаметру кульки, забивають по два цвяхи, до яких прикріплюють біфілярний підвіс кульок. Планку закріплюють в штативі (рис. 1).

Одну з кульок відхиліть на деякий кут і відпустіть. Під час зіткнення рухома кулька зупиняється, а нерухома починає рухатись, відхиляючись на той самий кут. Повертаючись назад, рухома кулька знову вдаряє нерухома і зупиняється, а нерухома починає рухатись з швидкістю, яку мала рухома в момент зіткнення. Висновки про

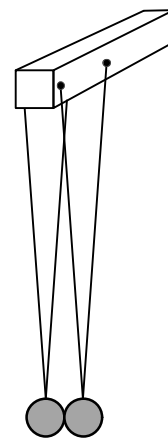


Рис. 1

швидкість кульок ми робимо, спостерігаючи відхилення кульок від положення рівноваги.

Після двох-трьох зіткнень рух кульок треба припинити, а потім, в разі потреби, повторити знову.



Рис. 2

Візьміть обидві кульки руками і розведіть їх так, щоб кути відхилення їх підвісів були однаковими, і відпустіть. Зіткнувшись, кульки майже з незмінними швидкостями знову розходяться в протилежні сторони і піднімаються на однакову висоту. Врахувавши напрям і значення швидкостей кульок до взаємодії і після взаємодії, зробіть висновок.

При наявності іграшки з пружними кульками (рис. 2) цю демонстрацію можна виконувати з нею.

Аналогічні досліди виконайте з двома пластиліновими кульками. Покажіть, що при зіткненні рухомої кульки з нерухомою вони починають рухатись разом в одну сторону, але зі швидкістю вдвічі меншою. При зустрічному ударі кульки після удару зупиняються. Пояснення супроводжуйте рисунками і записом закону збереження імпульсу.

## Завдання 2. Продемонструйте реактивний рух.

а). З допомогою моделі ракети (рис. 3, рис. 4).

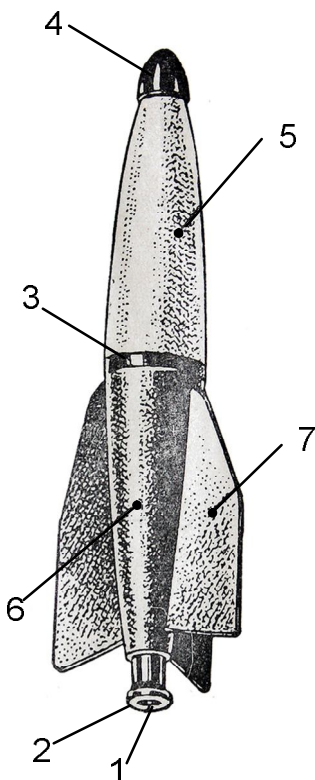


Рис. 3

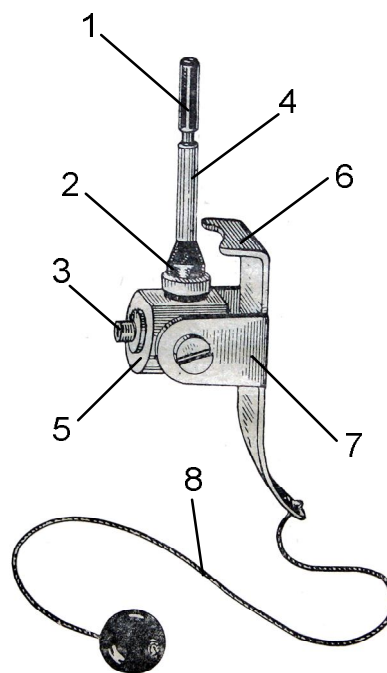


Рис. 4

Для демонстрування реактивного руху і залежності реактивної тяги від маси речовини, яка відокремлюється від ракети, використовують пластмасову ракету зі спеціальним пристроєм для її запускання. Корпус ракети має обтічну форму з трьома стабілізаторами 7, які забезпечують напрямлений рух ракети (рис. 3).

Головна частина 5 приладу має гумовий амортизатор 4, у хвостовій частині 6 змонтовано реактивне сопло 1 з кільцевим бортиком 2, за допомогою якого ракета закріплюється на пусковому пристрої. Пусковий пристрій (рис. 4) складається з ніпеля 1, який пропускає повітря лише всередину ракети, пускової скоби 7, виріз якої 6 заходить за бортик корпусу ракети і утримує його під час накачування повітря. Скоба з кронштейном обертається навколо вісі, якщо потягнути за мотузку 8. Деталі пускового пристрою змонтовано на корпусі 5, який має гвинтовий штуцер 3 для сполучення з велосипедним насосом. Герметизація сопла ракети досягається за допомогою гумового кільця 2, розміщеного навколо основи напрямної трубки 4.

Ракету запускають пневматичним чи гідропневматичним способами. В першому випадку висота підйому ракети не перевищує 1 – 1,5 м. В другому випадку висота вертикального підйому ракети досягає 30 – 50 м, а дальність польоту доходить до 70 м. Тому запуск ракети гідропневматичним способом слід проводити на майданчику.

1. Використайте пневматичний спосіб запуску ракети. Насадіть ракету соплом на напрямну трубку пускового пристрою, попередньо відхиливши пускову скобу. Переведіть скобу в положення, при якому вона заскочить за буртик сопла і утримуйте її пальцем аж до моменту пуску.

2. З'єднайте пусковий пристрій з насосом, візьміть насос в ліву руку і притисніть вказівним пальцем скобу до сопла. Накачайте повітря, тримаючи ракету головною частиною вниз. Для досягнення тиску 2 – 3 ат треба зробити 20 – 25 ходів поршня. Для першого пуску обмежтесь половиною ходів.

3. Як тільки повітря буде накачане, переверніть ракету головною частиною вгору, не відпускаючи пускової скоби. Відпустіть скобу і різко смикніть за мотузку. Пускова скоба звільняє бортик сопла і ракета злітає.

4. Для гідропневматичного запуску ракети в її корпус треба налити 50 – 70 мл води. Для цього переверніть ракету головною частиною вниз, в отвір сопла вставте спеціальну лійку і налійте воду. Не перевертаючи ракету, сполучіть її з пусковим пристроєм і накачайте повітря. Під час запуску врахуйте, що із сопла ракети при старті вилетить вода.

б). З допомогою сегнерового колеса.

Сегнерове колесо (рис. 5) дає можливість продемонструвати принцип дії реактивної турбіни. Налийте в кінчну посудину приладу воду. Витікаючи з трубок, кінці яких відігнуті під прямими кутами, струмінь води створює реактивну силу, що напрямлена в бік, протилежний напрямку витікання води. Пара сил і приводить в рух вертушку приладу.



Рис. 5



**Завдання 3. Проілюструйте дослідним шляхом закон збереження і перетворення механічної енергії.**

1. До пружини від відерця Архімеда (або аналогічної) підвісьте гирю масою 0,5 – 1 кг (рис. 6). Відтягніть гирю вниз і відпустіть її. Спостерігайте коливання, що відбуваються під дією сили пружності пружини. Послідовно розгляньте сили, які діють на гирю, і характер її руху в різних точках траєкторії, зробіть висновок про перехід потенціальної енергії розтягнутої чи стисненої пружини в кінетичну чи потенціальну енергію гири.

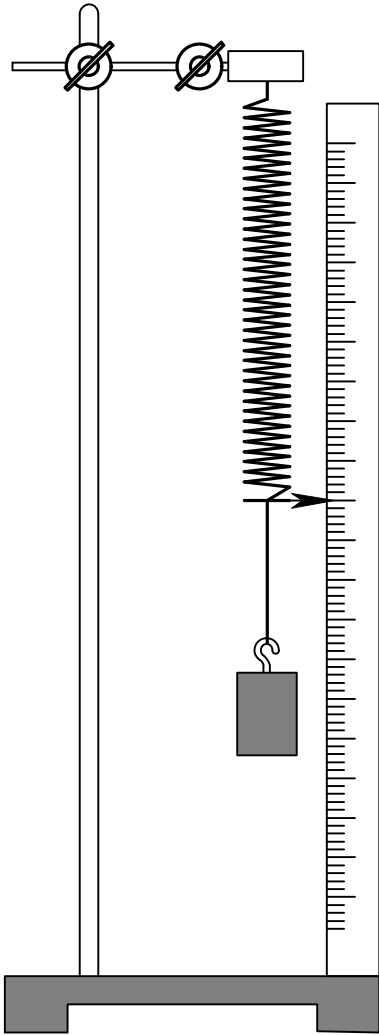


Рис. 6

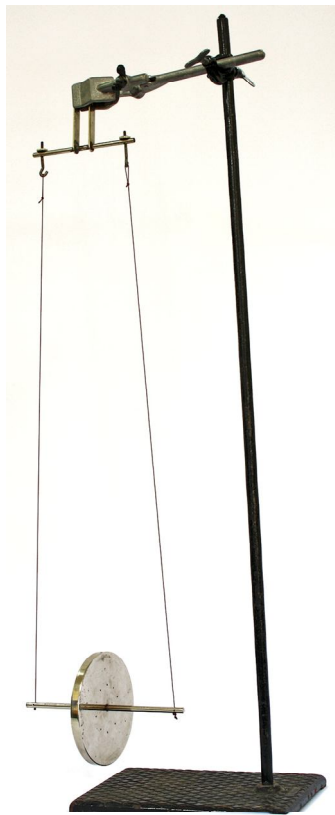


Рис. 7

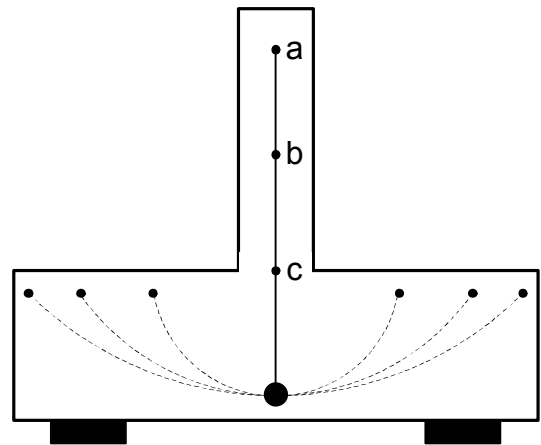


Рис. 8

2. Покажіть перетворення енергії на маятнику Максвелла.

Дослід з маятником Максвелла (рис. 7) завжди зацікавлює учнів. Повністю розглянути причини саме такого руху маятника в школі найчастіше неможливо. Обмежтесь зауваженням, що потенціальна енергія маятника переходить в основному в кінетичну енергію обертового руху і навпаки.

Зверніть увагу: маятник працює краще, якщо відстань між точками підвісу його до штативу трохи більша або менша, ніж відстань між точками кріплення ниток підвісу до вісі маятника.

3. Покажіть перетворення енергії на маятнику Галілея (рис. 8).

Відхиліть кульку маятника в одне з крайніх положень і відпустіть. Спіймайте маятник в другому крайньому положенні і покажіть, що маятник піднявся на ту ж висоту, з якої був запущений. Знову відведіть маятник в крайнє положення і вставте в гніздо b чи c (див. рис. 8) невеликий стержень. Відпустіть маятник і покажіть, що і в цьому випадку кулька підніметься на попередню висоту. Дослід з маятником Галілея переконливо показує, що запас енергії маятника зберігається при русі по будь-якій траєкторії.

#### **Завдання 4. Проілюструйте „золоте правило” механіки та визначте ККД простих механізмів.**

Виконайте завдання для важеля, похилої площини, рухомого блоку та моделі гвинта.

1. Закріпіть в штативі демонстраційний важіль не в центрі, а в точці, що перебуває на відстані чверті довжини важеля від одного з його кінців. До короткого плеча підвісьте вантаж вагою 4 Н. До довгого плеча з допомогою нитяної петлі приєднайте динамометр (рис. 9).

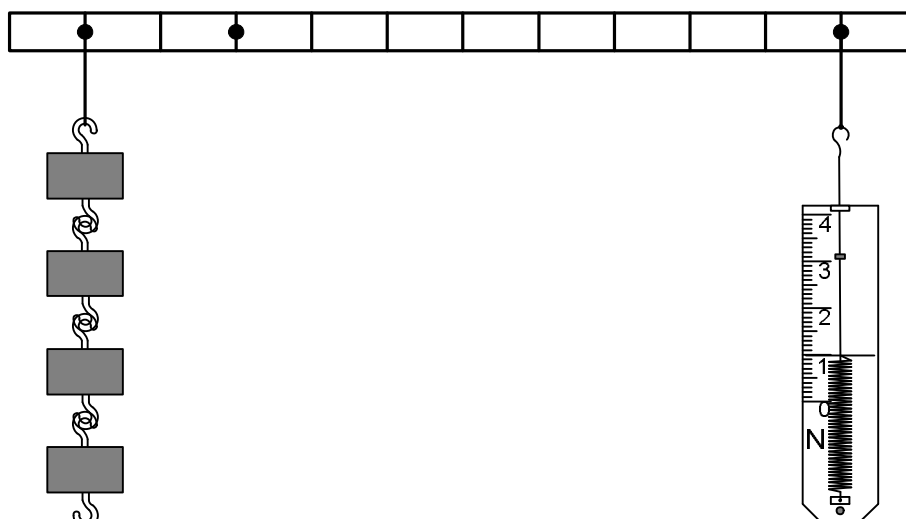


Рис. 9

3. Закріпіть кінець шнура в штативі, перекиньте шнур через рухомий блок і навантажте рухомий блок важками. До вільного кінця шнура приєднайте динамометр (рис. 10). Повільно піднімайте динамометр, запишіть його покази. Виміряйте висоту, на яку піднялись важки, і висоту, на яку перемістився динамометр. Яке співвідношення між висотами? Як відносяться між собою вага важків і покази динамометра? Обчисліть ККД установки.

4. Демонстраційну модель гвинта можна використати для визначення виграшу в силі та ККД при підніманні вантажу гвинтом. На кришку верхнього циліндру приладу поставте важку гирю (рис. 11). До ручки, що відходить від верхнього циліндру, приєднайте динамометр. Тягнувши за динамометр, зробіть півоберта. Слідкуйте, щоб сила, яка діє з боку динамометра на ручку, була перпендикулярна до неї. Визначте, на яку висоту піднялась гиря, та обчисліть шлях, що його пройшла рука, повертаючи ручку. Обчисліть виграш у силі, зміну

потенціальної енергії гирі, роботу, виконану рукою, та ККД гвинта.

*Зуваження.* Якщо гвинтом тривалий час не користувались, то корисно перед початком демонстрації змастити машинним маслом всі поверхні, що труться.

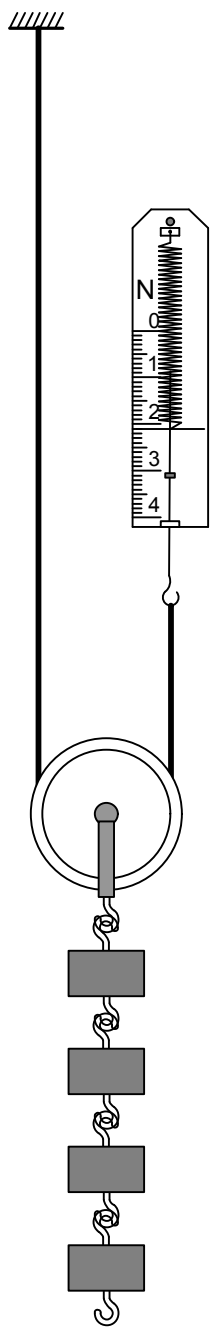


Рис. 10

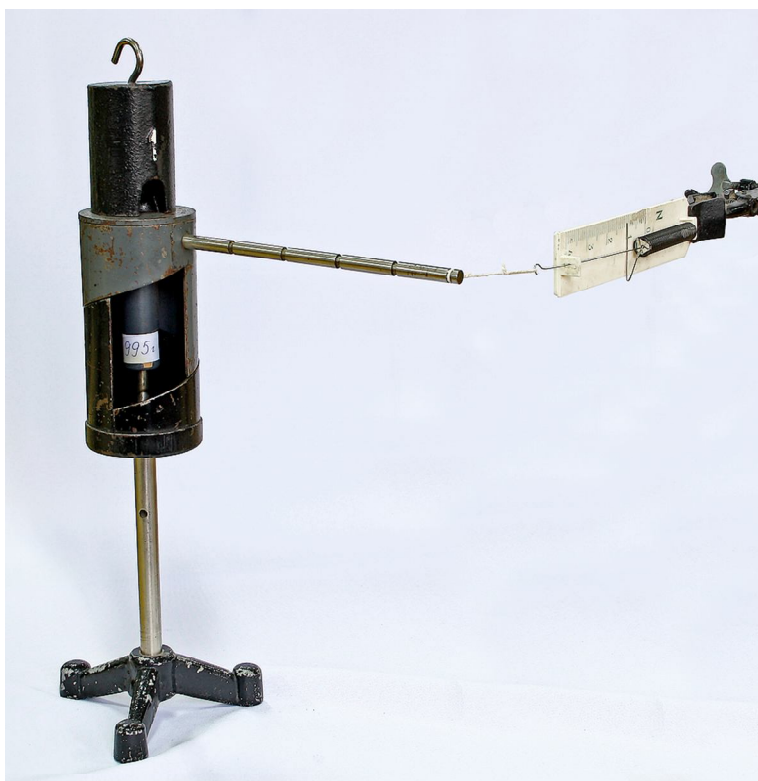


Рис. 11

**Завдання 5. Покажіть прояв та застосування закону Бернуллі.**

1. З допомогою приладу, зображеного на рис. 12, покажіть залежність тиску в рідині, що тече, від площі поперечного перерізу трубки (а, отже, і від швидкості течії). Дослід бажано виконувати з використанням проєкційного апарату, в якому використовується об'єктив з оборотною призмою.

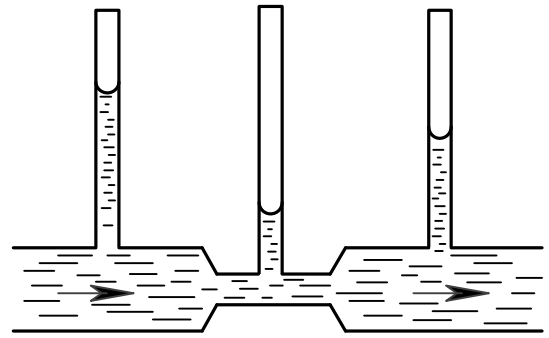
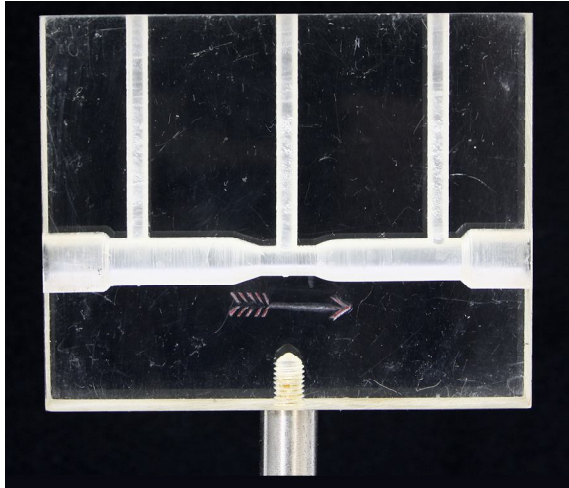


Рис. 12

2. Дві легенькі зігнуті пластини розміром 100x160 мм з тонкої жерсті вільно підвісьте на стержнях так, щоб відстань між ними була 4 – 5 см (рис. 13). Стержні повинні мати вигляд вилки з ручкою, яку затискають в муфті штативу так, щоб в сторону класу були направлені торці пластин. Зверху штативу на відстані 15 – 20 см від пластин закріплюють повітродувку.

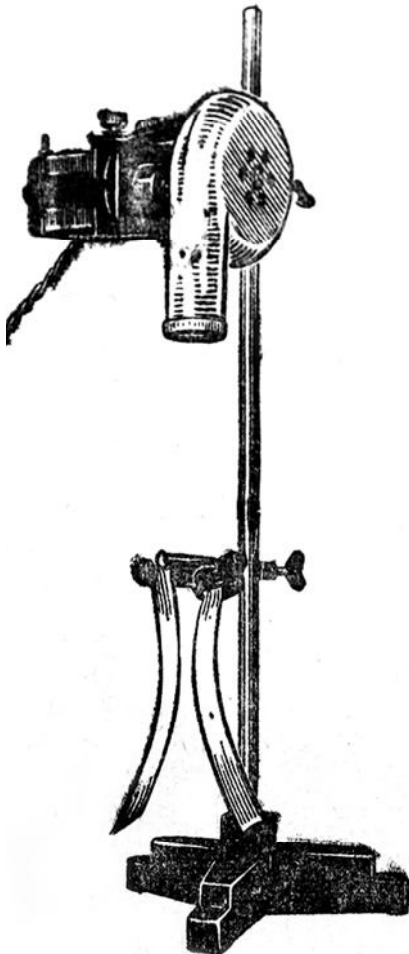


Рис. 13



Рис. 14

3. З повітродувкою можна показати ще один ефектний дослід: плавання кульки від настільного тенісу в повітряному потоці (рис. 14).

4. До цієї серії дослідів відноситься також демонстрація роботи водоструминного насоса, описана в роботі № 1 першого туру.

### **Контрольні запитання.**

1. Сформулюйте закон збереження імпульсу.
2. Як обчислити роботу сили? Сформулюйте теорему про кінетичну енергію.
3. Які сили називають консервативними? Як вводиться поняття потенціальної енергії?
4. Сформулюйте закон збереження енергії.
5. В чому полягає „золоте правило” механіки? Поясніть результати виконання завдання 4.
6. Запишіть рівняння Бернуллі і вкажіть наслідки з нього.

## **ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 6**

### **МЕХАНІЧНІ КОЛИВАННЯ.**

**Мета роботи:** Засвоїти техніку постановки і методику проведення демонстраційних дослідів з теми „Механічні коливання”.

**Прилади і матеріали:** Математичний маятник, вертикальний і горизонтальний пружинні маятники, обертовий диск, кульки зі стрілками для закріплення на обертовому диску, освітлювач, екран зі шкалою, сталева пластина, закріплена в тисках, прилад для механічного запису коливань, прилад для демонстрації вимушених коливань, резонансний тахометр, установка для демонстрації резонансу маятників і дві струбцини до неї, установка для демонстрації автоколивань (годинник з маятником), установка для спостереження коливань з допомогою осцилографу, з'єднувальні провідники.

### **Теоретичні відомості.**

Засвоєння значної кількості понять, що характеризують коливальний рух, неможливе без широкого використання демонстраційного експерименту. Використовуючи найпростіші коливні системи, треба проілюструвати такі поняття, як період, амплітуда, фаза коливань, показати залежність періоду коливань від параметрів коливної системи, продемонструвати явище резонансу та одержання й використання автоколивань. На простих демонстраціях показують принцип запису гармонічних коливань та зв'язок між коливним і обертовим рухами. Використовуючи осцилограф у деяких демонстраціях з механічних коливань, ми тим самим готуємо учнів до сприйняття майбутніх дослідів з електромагнітних коливань. Слід пам'ятати, що ефективність дослідів, навіть

простих в технічному відношенні, цілком залежить від правильної методики їх проведення.

### Хід роботи.

#### Завдання 1. Покажіть вільні коливання наступних коливних систем:

- а) математичного маятника;
- б) вертикального пружинного маятника;
- в) горизонтального пружинного маятника;
- г) сталеві пластини, закріпленої з одного кінця.

Зверніть увагу на формування понять „амплітуда”, „період”, продемонструйте процедуру визначення періоду коливань математичного і пружинного маятників.

#### Завдання 2. Покажіть тіньову проекцію кульки, що рівномірно обертається по колу.

1. Зберіть установку з обертовим диском, схема якої показана на рис. 1.

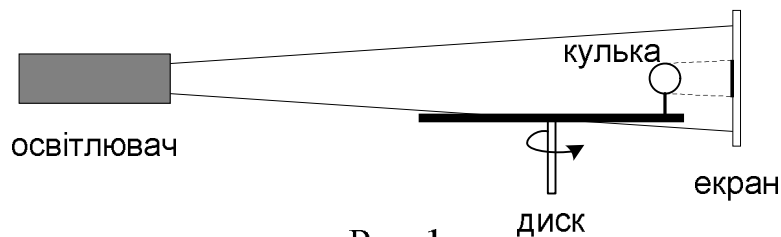


Рис. 1

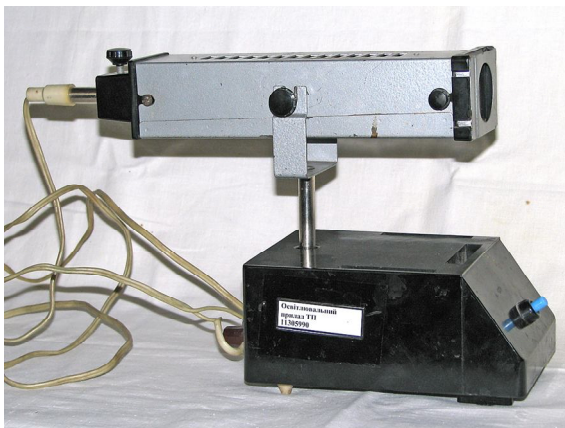


Рис. 2

Для одержання тіньової проекції кульки на екрані використайте освітлювач для тіньового проектування (рис. 2). Освітлювач і диск з кулькою повинні бути розташовані на одній висоті. Світловий потік повинен давати на екрані тіньове зображення всього диска у вигляді вузької лінії.

2. Приведіть диск в обертовий рух і спостерігайте на екрані коливання тіні від кульки. Виконайте малюнок, який показує, що коливання тіні кульки є гармонічними коливаннями. Покажіть, що період

обертання кульки і період коливання тіні від кульки однакові. Поясніть також зв'язок між циклічною частотою коливань і кутовою швидкістю обертання диска.

3. При наявності двох однакових кульок закріпіть їх на різних відстанях від вісі обертання диска і продемонструйте коливання, що відбуваються з однаковою частотою але з різними амплітудами. Розташуйте кульки один раз з однієї сторони від вісі, а другий раз – з протилежних сторін. Що можна сказати про зсув фаз цих коливань?

4. Замініть кульку на диску аналогічною кулькою, до якої прикріплена стрілка з жерсті. Кульку зі стрілкою закріпіть так, щоб стрілка була направлена по дотичній до диска. В цьому випадку стрілка символізуватиме швидкість руху кульки в обертовому русі, а тіньова проекція стрілки – швидкість руху кульки, що здійснює коливний рух.

5. Приведіть диск в обертовий рух і спостерігайте за зміною тіньової проекції стрілки. Зверніть увагу учнів на те, в яких положеннях тіньової проекції кульки швидкість її найбільша, в яких – рівна нулю.

6. Змініть положення стрілки на кульці: тепер стрілка повинна бути направлена до центра кола, по якому рухається кулька. Тіньова проекція стрілки тепер вказує на значення прискорення коливного тіла в різні моменти часу.

### **Завдання 3. Покажіть способи запису вільних коливань.**

1. З допомогою пишучого пристрою.

Для запису коливань слід виготовити маятник з довжиною підвісу близько 1 м. Циліндричний вантаж масою 500 г закріпіть з допомогою біфілярного підвісу на П-подібній рамі. Запис здійснюватиметься з допомогою крапельниці, виготовленої з системи для внутрішньовенного введення ліків (рис. 3).

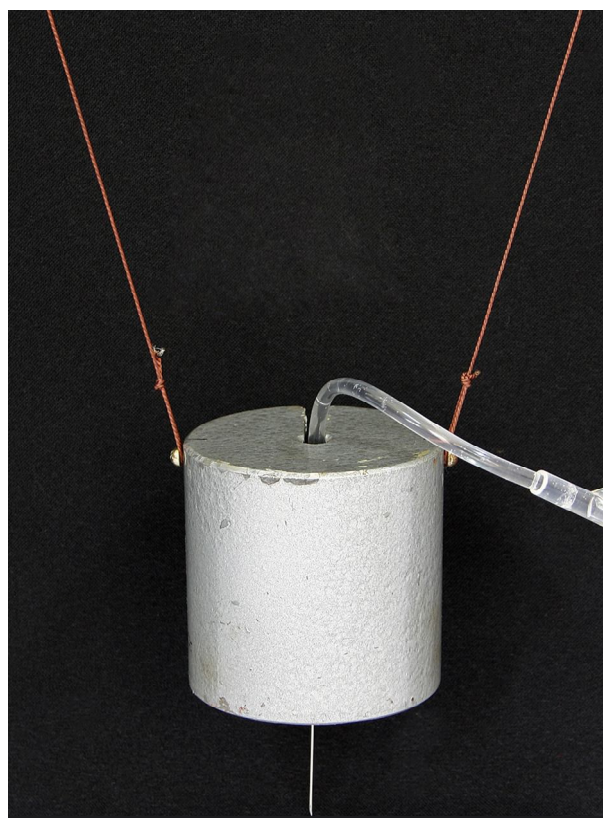
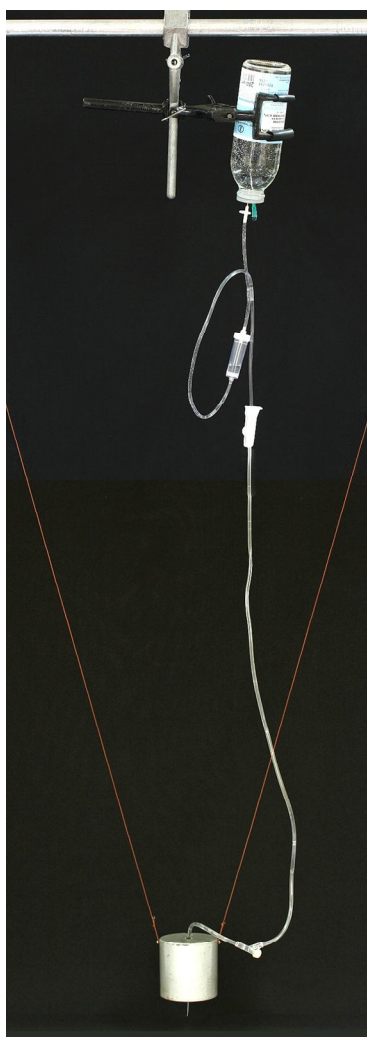


Рис. 3

Конструкція виходить дещо громіздкою, проте гарний запис матимемо лише при періоді коливань близько 2 секунд.

Поставте під голку крапельниці пласку кювету з висотою бортів близько 1 см. Пляшку крапельниці заповніть зафарбованою водою. Автори [13] радять використовувати чорнило для авторучки, розведене водою у співвідношенні 1:3, додавши до 400 мл розчину ложку цукру. Рідина повинна добре відстоятися.

Встановіть швидкість капання рівною приблизно 10 краплин на секунду, запусіть маятник, відхиливши його від положення рівноваги на 8 – 10 см. Запис здійснюйте на смужку паперу завширшки 20 – 25 см і довжиною 60 – 80 см. Зручно буде прикріпити смужку скотчем до дна кювети і під час запису рухати кювету. Рівномірно переміщуйте смужку в напрямі, перпендикулярному до площини коливань. Швидкість переміщення повинна бути такою, щоб на смужці одержати запис 2 – 3 коливань.

Закінчивши запис, поставте під крапельницю другу кювету і перекрийте крапельницю. Зразок одержаної картини подано на рис. 4. Поясніть зміст плоскої діаграми коливань.



Рис. 4

2. З допомогою електронного осцилографа та датчиків – перетворювачів механічних коливань в електричні.

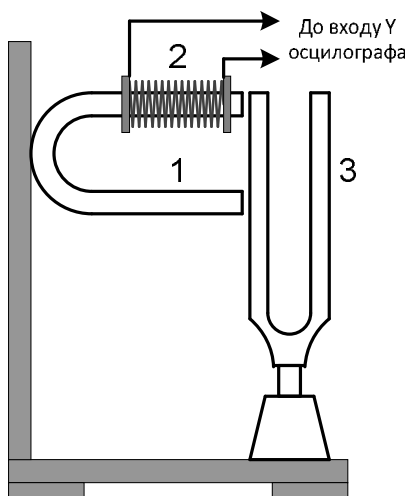


Рис. 5

Використайте установку, зображену на рис. 5. На одну з „ніг” підковоподібного магніту 1 намотана котушка 2, яку підключають до входу Y осцилографа (див. рис. 6). Поруч з магнітом закріплений камертон 3. При ударі молоточком по камертону його ніжки починають коливатись, в результаті чого змінюється магнітний потік, що пронизує котушку. В котушці виникає змінна е.р.с., яка викличе зміщення електронного променя на екрані осцилографа.

Приєднайте котушку до входу Y осцилографа і включіть його в мережу. Через деякий час на екрані повинен з’явитись слід електронного променя.



Поставте ручки управління осцилографом в положення: „ОСЛАБЛЕНИЕ” – 1:1, „УСИЛЕНИЕ Y” – на максимум, за годинниковою стрілкою до упору, „ДИАПАЗОН ЧАСТОТ” – в положення 0, „УСИЛЕНИЕ X” на мінімум, проти годинникової стрілки до упору. Ручками „СМЕЩЕНИЕ X” і „СМЕЩЕНИЕ Y” поставте електронний промінь в центр екрану. Відрегулюйте яскравість і чіткість ручками „ЯРКОСТЬ” і „ФОКУС”.

Ударивши гумовим молоточком по камертону, спостерігайте відхилення променя по вертикалі. Включіть розгортку („ДИАПАЗОН ЧАСТОТ” – в положення 30) і поверніть „УСИЛЕНИЕ X” на максимум. Знову вдарте молоточком камертон: на екрані повинна з'явитись синусоїда.



Рис. 6

**Завдання 4. Продемонструйте залежність періоду коливань математичного маятника від довжини нитки і незалежність періоду від маси кульки і амплітуди коливань.**

1. Для демонстрації використовується установка, зображена на рис. 7.

В металевому стержні, який закріплений в штативі, зроблені конічні отвори, через які пропущені нитки маятників. Нитки в отворах закріплюються за допомогою дерев'яних кілочків, які можна виготовити з зубочисток. В першій демонстрації використовується один маятник. Спочатку довільним чином змінійте довжину нитки і покажіть, що період коливань тим більший, чим більша довжина нитки. Потім встановіть довжину нитки такою, щоб відстань від точки підвісу до центра мас кульки дорівнювала 1 м. Довжину маятника виміряйте демонстраційним метром або рулеткою. (Щоб прискорити процедуру встановлення потрібної довжини, нанесіть на нитку мітки, які відповідали б довжинам маятників 1 м і 25 см). Визначте період коливань одержаного маятника (2 с). Зменште довжину маятника до 25 см, тобто в 4 рази, і знову визначте період коливань (1 с). З дослідів випливає, що період коливань маятника прямо пропорційний кореневі квадратному з його довжини.

2. В другій демонстрації використовуються два маятника різної маси. Ретельно вирівняйте довжини маятників, лінійкою відведіть їх від положення рівноваги на кут до  $5^\circ$  і одночасно відпустіть.

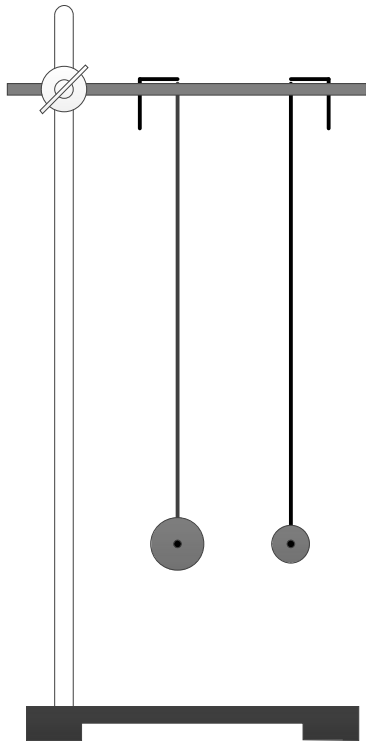


Рис. 7

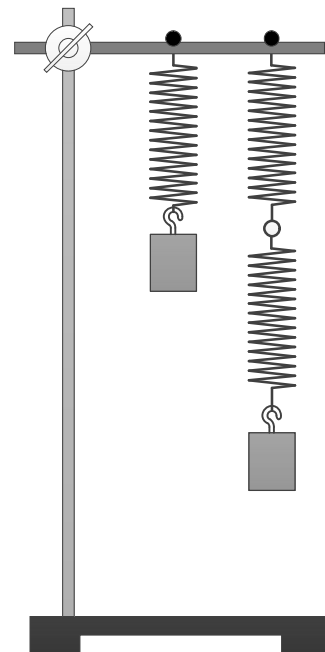


Рис. 8

Протягом 10 – 20 коливань спостерігайте коливання однакової частоти. Зробіть висновок про незалежність періоду коливань від маси маятника.

Зупиніть маятники і знову відведіть їх від положення рівноваги тепер уже на різні (проте малі) кути. Спостерігайте синхронність коливань маятників. Зробіть висновок, що при малих кутах відхилення період коливань маятника не залежить від амплітуди.

3. Якщо кулька маятника сталева, то можна показати ще й залежність періоду коливань від прискорення вільного падіння. Для цього під кульку, що коливається, піднесіть плоский магніт. Краще магніт покласти на дощечку і підсунути її під маятник. Як тільки магніт опиниться під кулькою, період коливань зменшиться.

З цією ж метою можна використати електромагніт, зібраний на основі котушки на 220 В і осердя від універсального трансформатора. Котушка через вимикач живиться струмом від джерела з напругою 4 – 6 В. Довжина маятника повинна бути такою, щоб відстань між кулькою в положенні рівноваги і осердям електромагніту була 3 – 5 мм. На початку досліду джерело живлення вимкнуте. Запустіть маятник і спостерігайте декілька коливань. Потім підключіть джерело живлення і спостерігайте значне збільшення частоти коливань. Після вимкнення джерела частота коливань відновлюється.

**Завдання 5. Продемонструйте залежність періоду коливань пружинного маятника від маси тіла і жорсткості пружини і незалежність від амплітуди коливань.**

1. Для демонстрації використовується установка, зображена на рис. 8. До

пружины (аналогічній пружині від відерця Архімеда) підвісьте набірний вантаж масою 1 кг. Приведіть маятник у коливний рух з амплітудою 4 – 5 см. За допомогою секундоміра визначте період коливань даного пружинного маятника. Зменште амплітуду коливань і покажіть, що період залишився незмінним.

2. Зменште вантаж маятника в чотири рази (тобто, підвісьте до пружини вантаж масою 250 г) і знову визначте період коливань. Він повинен бути вдвічі меншим, ніж у першому досліді. На основі цих дослідів зробіть висновок: період коливань пружинного маятника прямо пропорційний квадратному кореню з маси тіла.

3. Замініть пружину на іншу, з іншою жорсткістю. Для цього можна взяти або коротшу пружину (але аналогічну попередній), або довшу. Наприклад, можна дві пружини з'єднати послідовно, при цьому жорсткість зменшиться вдвічі. Підвісьте вантаж масою 250 г і приведіть маятник у коливний рух. Визначте період коливань і порівняйте з періодом, одержаним у попередньому завданні. Який висновок можна одержати з цих дослідів?

### **Завдання 6. Покажіть фазові співвідношення при коливанні маятників.**

На штативі підвісьте два однакових математичних маятника або два однакових пружинних маятника (або обидві пари), як показано на рис. 9. Для демонстрації руху маятників в однаковій фазі (зсув фаз дорівнює нулю) відведіть їх в одну сторону і відпустіть одночасно. Важливо, щоб довжини маятників були ретельно підібрані, а пружини і вантажі були ідентичними.

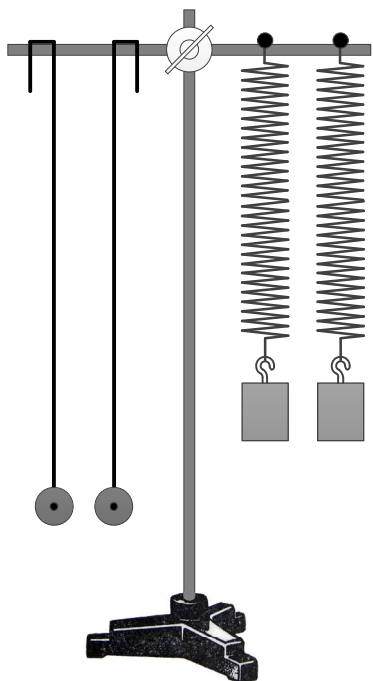


Рис. 9

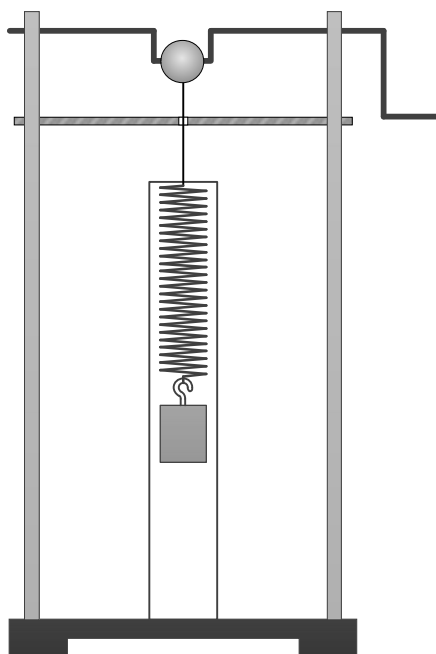


Рис. 10

Щоб продемонструвати рух маятників у протифазі (зсув фаз дорівнює  $\pi$ ), відведіть їх в протилежні сторони і одночасно відпустіть.

Демонстрацію зсуву фаз на  $\pi/2$  можна здійснити наступним чином. Обидва маятника відведіть в одну сторону. Спочатку відпустіть один маятник, а коли він проходить положення рівноваги, відпустіть другий.

**Завдання 7. Покажіть приклади вимушених коливань та продемонструйте їх основні властивості.**

1. Для демонстрації вимушених коливань використовують прилад, зображений на рис. 10. Спочатку покажіть вільні коливання вантажу на пружині. Для цього поштовхом виведіть вантаж з положення рівноваги. Приблизно оцініть період (чи частоту) вільних коливань. Потім продемонструйте вимушені коливання, рівномірно обертаючи ручку приладу з невеликою частотою (меншою частоти вільних коливань вантажу). Вимушені коливання встановлюються не відразу, а лише через певний час, який називають часом встановлення режиму. При обертанні ручки приладу кулька дає можливість реєструвати частоту зовнішньої періодичної сили. Спостереження повинні приводити до висновку, що частота вимушених коливань дорівнює частоті зовнішньої періодичної сили.

2. Поступово збільшуйте частоту обертання – амплітуда вимушених коливань зростає. Коли частота зовнішньої періодичної сили виявиться близькою до власної частоти коливань пружинного маятника, амплітуда вимушених коливань різко зростає. Це явище називають резонансом. Подальше збільшення частоти обертання приводить до зменшення амплітуди вимушених коливань, але частота їх, як і раніше, співпадає з частотою діючої сили.

3. Повторіть описані досліди і вясніть залежність фази вимушених коливань від частоти зовнішньої періодичної сили. Теоретичні міркування показують наступне. Якщо частота зовнішньої сили менша частоти власних коливань, то фази практично співпадають. При збільшенні частоти зовнішньої сили вимушені коливання починають відставати за фазою і в момент резонансу різниця фаз досягає  $90^\circ$ . Коли частота зовнішньої сили стає більшою частоти власних коливань, різниця фаз наближається до  $180^\circ$ . Чи підтверджує дослід вказані висновки?

4. Резонанс маятників можна показати на установці, зображеній на рис. 11. Зібравши установку, не забудьте закріпити триноги на столі струбцинами. Приведіть маятник 1 в колильний рух (він виконує роль вібратора) і спостерігайте за поведінкою інших маятників. Найбільше розгойдується маятник 4, який має з вібратором однакову довжину ( $a$ , значить, і однаковий період коливань). Зверніть увагу на різницю фаз між коливаннями вібратора (маятник 1) і резонатора (маятник 4). В момент резонансу вона дорівнює  $90^\circ$ , що легко спостерігати на досліді завдяки повільним коливанням маятників.

Успішність демонстрації значною мірою залежить від величини зв'язку між маятниками. Нитка між ними повинна бути слабо натягнута, щоб енергія від вібратора поступала тільки в одному напрямку – до резонатора. При наявності сильного зв'язку відбувається обмін енергією між маятниками і явище резонансу ускладнюється биттям.

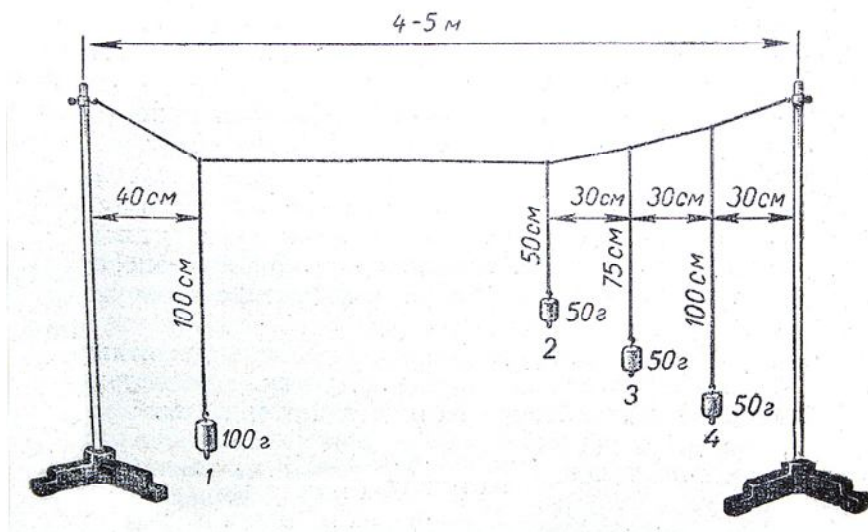


Рис. 11

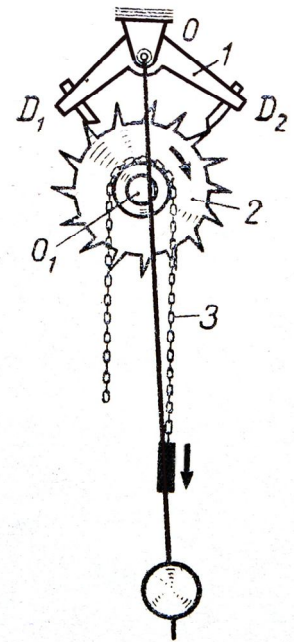


Рис. 12

**Завдання 8. Продемонструйте збудження автоколивань різними автоколивальними системами та опишіть їх основні властивості.**

Прикладом механічної автоколивальної системи є годинник з маятником, що одержує енергію від гирі, яка опускається в полі тяжіння. Суттєвими частинами такого годинника є (рис. 12): маятник, що коливається навколо горизонтальної вісі  $O$  і який жорстко зв'язаний з пластиною 1; ця пластина закінчується двома дугами  $D_1$  і  $D_2$ ; зубчате колесо 2, що обертається навколо горизонтальної вісі  $O_1$ ; колесо має шків, на який надітий ланцюжок 3 з гирею на кінці.

Під час коливань маятника дуги то притискаються до внутрішньої поверхні зубців, то виходять назовні, зазнаючи при цьому короточасні поштовхи від торцевих поверхонь зубців. Профіль зубців і дуг вибраний так, що при дотиканні дуги до внутрішньої сторони зубця напрям сили, яка діє на дугу, проходить через вісь  $O$ , тому маятник в цей час не зазнає ніякого обертового моменту. Але при взаємодії торця дуги з торцем зубця виникає короточасний обертовий момент і маятник зазнає поштовху; це відбувається в момент проходження маятником положення рівноваги. За рахунок роботи поштовху енергія маятника зростає, одночасно гиря опускається і її потенціальна енергія зменшується.

Механізм розраховано так, що при нормальних амплітудах коливань маятника приріст його енергії як раз відповідає втратам енергії на тертя за половину періоду коливань маятника.

Схожий процес відбувається і в маятниковому годиннику, що одержує енергію від закрученої пружини, – такий годинник теж є автоколивальною системою.

## Контрольні запитання.

1. Дайте означення вільних, власних і вимушених коливань.
2. Який шлях проходить точка, що здійснює гармонічні коливання, за один період?
3. Від чого залежить період коливань пружинного маятника? Як це продемонструвати на досліді?
4. Жорсткість однієї пружини дорівнює  $k$ . Чому дорівнює жорсткість двох пружин, з'єднаних послідовно? паралельно?
5. Від чого залежить період коливань математичного маятника? Як це продемонструвати на досліді?
6. Як сформулювати в учнів поняття фази коливань?
7. Які основні властивості вимушених коливань?
8. Поясніть явище резонансу. Яка з демонстрацій найкраще ілюструє це явище? Який резонанс називають параметричним?
9. Що називають автоколиваннями? Зобразіть схему виникнення автоколивань.

## ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 7

### МЕХАНІЧНІ ХВИЛІ.

**Мета роботи:** Засвоїти техніку постановки і методику проведення найбільш важливих демонстраційних дослідів з теми „Механічні хвилі. Звук.”.

**Прилади і матеріали:** Хвильова ванна, хвильова машина, освітлювач для тіньової проекції, стробоскоп, м'який шнур довжиною 4-5 м, довга м'яка пружина (Slinky), звуковий генератор, електромагнітний телефон або маленький гучномовець, до якого припаяні два довгих провідники, два гучномовці, два камертони на резонаторних ящиках, гумовий молоточок, установка для демонстрування стоячих хвиль.

### Теоретичні відомості.

Після розгляду механічних коливань доцільно перейти до вивчення хвильового руху. Механічні хвилі відносяться до явищ, які можна безпосередньо спостерігати. Це спрощує вивчення хвильового руху і полегшує в наступному вивчення електромагнітних хвиль. Від успішного засвоєння учнями закономірностей механічних хвиль залежить подальший успіх вивчення явищ і закономірностей електромагнітних хвиль (радіо і світлових хвиль).

Особливість демонстрацій з цієї теми полягає в технічній складності забезпечити гарні умови спостереження учнями ефектів більшості демонстрацій. Процеси поширення хвиль, їх відбивання, заломлення та інтерференцію можна показати з допомогою хвильової ванни, проте досліди з хвильовою ванною вимагають затемнення аудиторії, використання потужного джерела світла та використання стробоскопів. З цієї точки зору актуальним буде використання на уроках мультимедійних засобів навчання для демонстрації відео фрагментів з необхідними демонстраціями.

Перелічені вище явища можна показати і з використанням звукових хвиль. Проте в цьому випадку неможливо спостерігати за динамікою процесів. Можна спостерігати лише кінцеві ефекти вказаних явищ. Проте деякі з демонстрацій (ефект Доплера, інтерференція звукових хвиль) створюють значне враження на учнів і надовго ними запам'ятовуються. Використання електронного осцилографа при вивченні властивостей звуку дозволить краще їх зрозуміти.

### Хід роботи.

#### **Завдання 1. Продемонструйте утворення поперечних хвиль з допомогою довгого шнура.**

1. М'який шнур для білизни довжиною 4 – 5 м покладіть на підлогу, візьміть в руки кінець шнура і здійсніть одне коливання рукою в горизонтальному напрямі. Коливання слід виконувати швидко з достатньою амплітудою. По шнуру в напрямі вільного кінця побіжить хвиля. Повторіть демонстрацію, виконавши декілька коливань. Зверніть увагу учнів, що окремі точки шнура коливаються в напрямі, перпендикулярному напрямку поширення хвилі. Крім того, чим далі точки розташовані від джерела коливань, тим пізніше приходять вони в коливальний рух.

2. Запросіть на допомогу одного учня, нехай він тримає другий кінець шнура. Шнур не сильно натягніть над підлогою і здійсніть одне коливання в горизонтальній чи вертикальній площині. Видно, як хвиля, дійшовши до протилежного кінця, відбивається і поширюється в протилежному напрямі.

3. Збуджуючи неперервно коливання кінця шнура, добийтесь утворення стоячої хвилі з вузлами і пучностями (рис. 1). Виконання демонстрації полегшується, якщо збуджувати коливання кінця шнура, обертаючи його по колу (на зразок дитячої гри в скакалки).

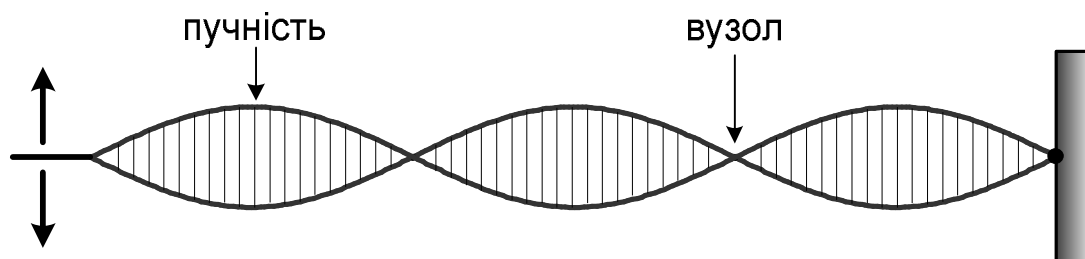


Рис. 1

#### **Завдання 2. Продемонструйте утворення поздовжніх хвиль на м'якій довгій пружині.**

Покладіть на гладенький стіл довгу м'яку пружину (пружинка-іграшка, відома під назвою „слінкі”, рис. 2). Розтягніть її на ширину рук і штовхніть однією рукою край пружинки. Добре видно, як по пружинці побіжить поздовжня хвиля. Для покращання ефекту можна натягнути товсту рибальську волосінь і надіти на неї пружинку.

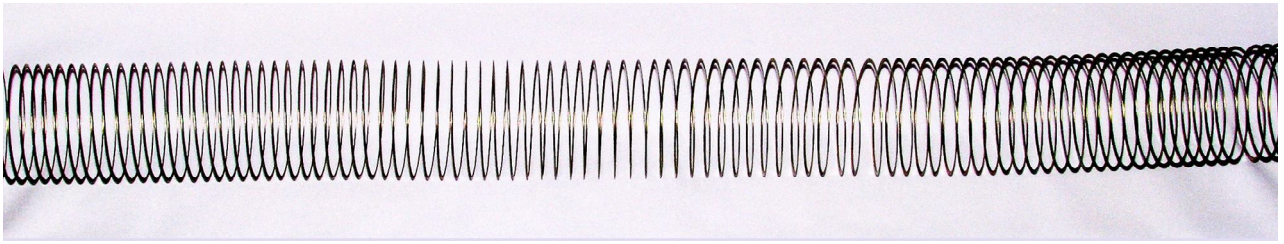


Рис. 2

На розтягнутій пружині можна показати і поперечну хвилю, збудивши коливання кінця розтягнутої пружини в поперечному напрямі.

**Завдання 3. Покажіть моделювання механізму утворення поперечних та поздовжніх хвиль з допомогою хвильової машини.**

1. Для демонстрування поперечних хвиль диск хвильової машини встановіть так, як показано на рис. 3. Для цього стержень *a* з шарніром вкрутіть в металеве гніздо *b*, що прикріплене до щитка. Диск відтягніть від щитка і насадіть центральним отвором на гвинт шарніра, на який накрутіть рукоятку *б*. При такому положенні диска всі кульки піднімуться на рівень білої лінії, що проведена на лицьовій стороні щитка. Рукоятку *б* обертайте так, щоб вона описувала бічну поверхню конуса. Рух кульок буде моделювати процес поширення поперечної хвилі (рис. 4).

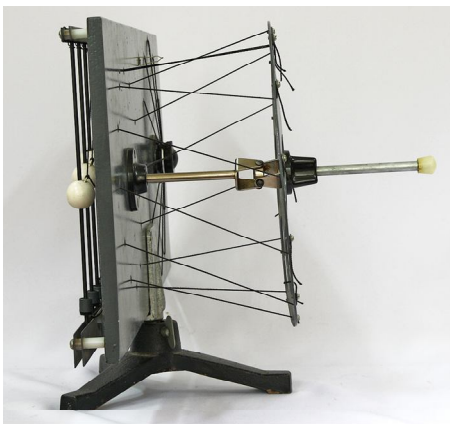


Рис. 3

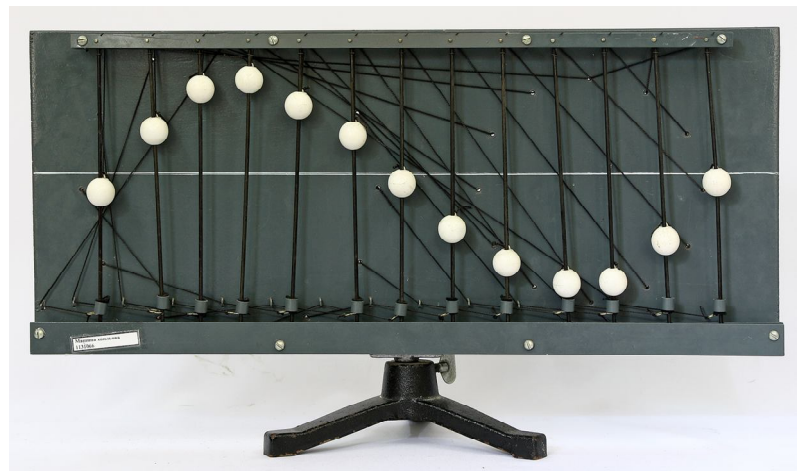


Рис. 4

В ході демонстрації зверніть увагу на напрям руху частинок і на напрям поширення коливного руху. Вони взаємно перпендикулярні, тому хвилі, в яких частинки середовища коливаються перпендикулярно до напрямку поширення хвиль, називають поперечними.

Покажіть, що за час одного коливання будь-якої з кульок (тобто, за період) коливальний рух поширюється на відстань, що дорівнює довжині хвилі.

Зверніть увагу також на різницю фаз коливань окремих кульок і сформулюйте поняття довжини хвилі як відстані між найближчими частинками, які коливаються в однакових фазах.

2. Для демонстрування поздовжніх хвиль диск хвильової машини встановіть



так, як показано на рис. 5. В цьому випадку кульки опустяться до нижньої планки приладу. Взявшись за ручку нитяного затискача (див. рис. 6), обертайте його по колу, зображеному на щитку.



Рис. 5

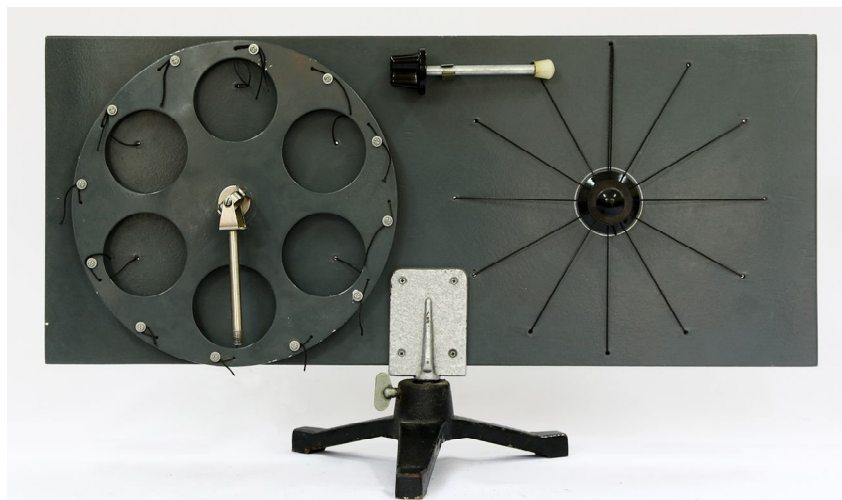


Рис. 6

Кульки здійснюватимуть коливальний рух і створять картину поширення поздовжніх хвиль (рис. 7).



Рис. 7

В поздовжній хвилі частинки теж коливаються з однаковим періодом і амплітудою і кожна наступна відстає від попередньої за фазою. Але в поздовжній хвилі частинки коливаються вздовж напрямку поширення хвилі. Внаслідок цього частинки середовища то наближаються одна до одної, то віддаляються. Процес поширення поздовжньої

хвилі супроводжується переміщенням областей згущення і розрідження.

**Завдання 4. Продемонструйте утворення, поширення і властивості поперечних хвиль з допомогою хвильової ванни.**

1. Встановіть на столі хвильову ванну, на її дно покладіть тканину за розміром ванни. Зверху на тканину покладіть дзеркало. Поруч з ванною в штативі на висоті 50 – 60 см закріпіть освітлювач для тіньової проекції так, щоб світловий пучок був направлений на ванну. З другої сторони від ванни закріпіть похилий екран (див. рис. 8).

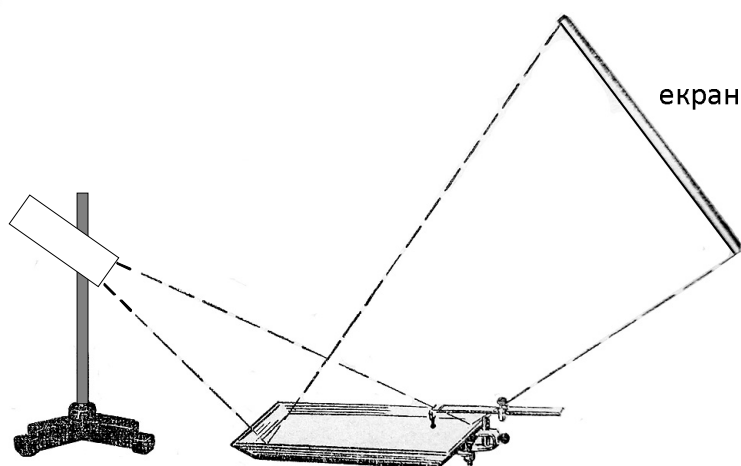


Рис. 8

2. З допомогою гвинтових ніжок ванни і рівня виставте ванну в горизонтальному положенні. Налийте у ванну воду шаром 5 – 6 мм над поверхнею дзеркала. Поруч з ванною розташуйте вібратор, в якому закріпіть насадку з однією кулькою для збудження колових хвиль.

3. Покажіть в затемненій аудиторії в тіньовій проекції збудження і поширення колових хвиль (рис. 9а). Замініть вібратор на плоский, розташувавши його паралельно поверхні води, і покажіть утворення прямолінійних хвиль (рис. 9б).

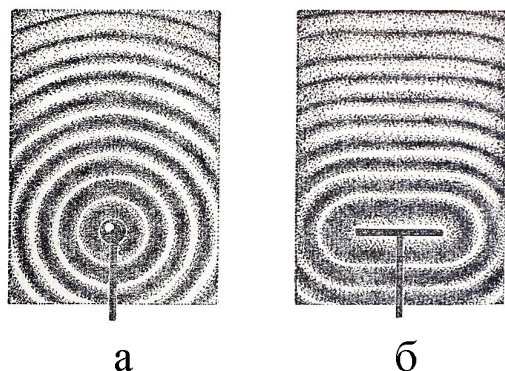


Рис. 9

Корисно також показати, що хвилі, які утворюються на поверхні води, близькі до поперечних. Для цього на поверхню води покладіть декілька дрібних предметів, що плавають на воді (сірники, шматочки пінопласту, тощо). Тіні на екрані від цих предметів залишаються майже нерухомими: хвилі, що поширюються по воді, не захоплюють їх за собою, а змушують здійснювати, головним чином, вертикальні коливання.

4. При наявності стробоскопічного освітлення, синхронізованого з роботою вібратора, можна показати явища інтерференції (рис. 10) та дифракції (рис. 11)

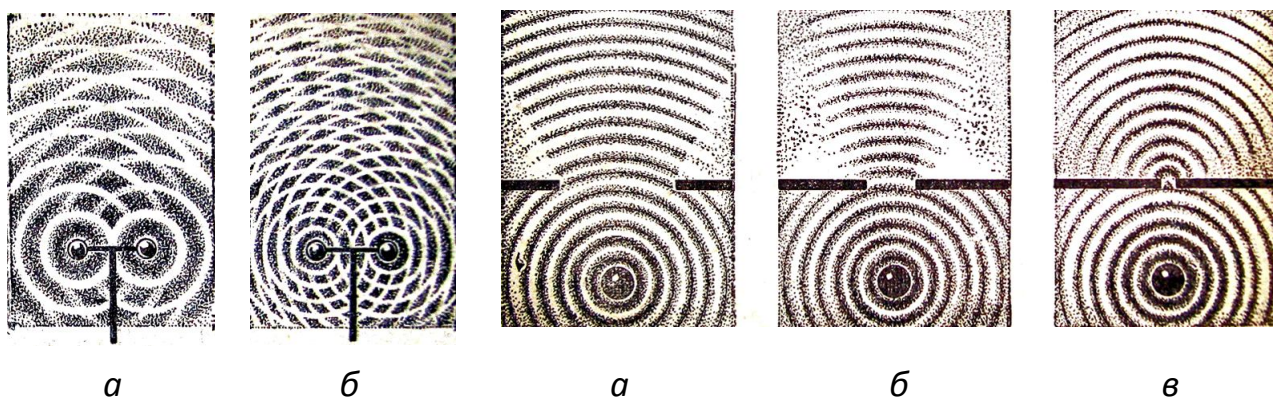


Рис. 10

Рис. 11

### **Завдання 5. Продемонструйте утворення стоячих хвиль.**

Утворення стоячих хвиль на шнурі було описано в завданні 1. В даному завданні треба одержати стоячі хвилі на шнурі довжиною близько 1 – 1,5 м.

1. Один кінець шнура прикріпіть до молоточка вібратора від моделі електричного дзвінка (рис. 12), до другого кінця підвісьте вантаж 20 – 100 г і

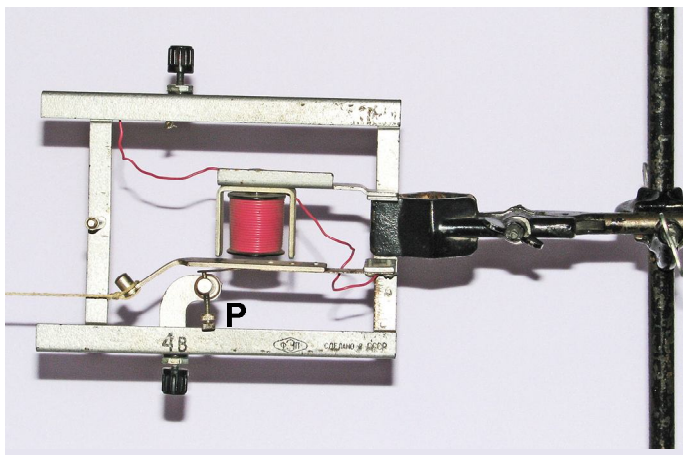


Рис. 12

перекиньте шнур через невеликий блок. Модель дзвінка міцно закріпіть в штативі і підключіть до дзвінка джерело з напругою 4 – 6 В через вимикач. Шнур повинен бути розташований горизонтально, а вібратор дзвінка рухатись вгору-вниз.

2. Включіть живлення дзвінка і відрегулюйте коливання вібратора гвинтом Р (рис. 12). Змінюючи масу важків, підберіть натяг шнура таким чином, щоб на шнурі утворилася стояча хвиля (рис. 1). Орієнтовно

підібрати натяг можна навіть рукою.

### **Завдання 6. Продемонструйте ефект Доплера для звукових хвиль.**

До звукового генератора з допомогою довгих, гнучких і досить міцних провідників приєднайте електромагнітний телефон чи невеличкий гучномовець. На генераторі встановіть частоту 600 – 800 Гц і включіть генератор. В телефоні чи гучномовці буде чути чистий тон певної частоти. Візьміть в руки провідники, що приєднані до телефону, і починайте обертати телефон по колу радіусом 50 – 60 см в площині, перпендикулярній класній дошці, з частотою 2 – 3 об/с. Учні помічають періодичне збільшення і зменшення частоти звуку (висоти тону звуку), що відповідає наближенню до них телефону чи віддаленню його від них.

### **Завдання 7. Продемонструйте інтерференцію звукових хвиль.**

1. Для демонстрації інтерференції звукових хвиль зберіть установку, зображену на рис. 13. Відстань між гучномовцями встановіть рівною 1 – 2 м, відстань до спостерігачів 2 – 3 м. Зверніть увагу учнів, що в цій установці гучномовці є джерелами когерентних хвиль.

2. Встановіть частоту звукового генератора в діапазоні від 1 до 4 кГц і включіть генератор. Слухати звучання гучномовців краще одним вухом. При переміщенні учнів вздовж лінії, паралельній гучномовцям, вони повинні чути підсилення та послаблення гучності.

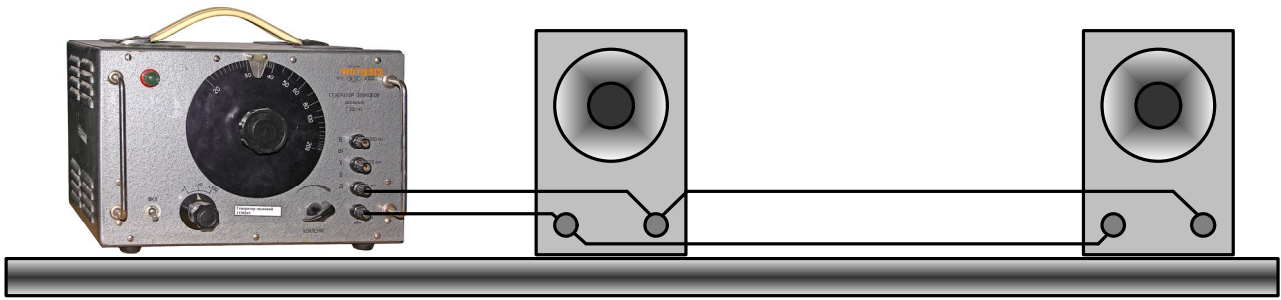


Рис. 13

3. Знайдіть точки, в яких фіксуються максимуми та мінімуми коливань. Обчисліть довжину хвилі та перевірте умову максимумів та мінімумів. Зробіть рисунок, який ілюструє дослід.

### Контрольні запитання.

1. Що називають хвилею? Запишіть рівняння плоскої гармонічної хвилі, що поширюється в напрямі вісі  $Ox$ .
2. Який зв'язок існує між довжиною хвилі та швидкістю її поширення?
3. Які хвилі називають поперечними, а які поздовжніми? Наведіть приклади. Які властивості відрізняють поздовжні і поперечні хвилі?
4. Які джерела хвиль називають когерентними? Як можна експериментально одержати два когерентних звукових джерела?
5. Як з допомогою хвильової ванни продемонструвати явище дифракції? інтерференції?
6. Запишіть рівняння стоячої хвилі. Чому дорівнює відстань між вузлами стоячої хвилі?
7. Які об'єктивні та суб'єктивні характеристики звуку?
8. Яким чином і в яких одиницях вимірюється гучність звуку?
9. Поясніть ефект Доплера.

### **Частина 3. ДЕМОНСТРАЦІЇ З ТЕМ «МОЛЕКУЛЯРНА ФІЗИКА І ТЕРМОДИНАМІКА» ТА «ЕЛЕКТРИЧНЕ ПОЛЕ. ПОСТІЙНИЙ ЕЛЕКТРИЧНИЙ СТРУМ»**

#### **ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 1**

### **ОСНОВИ МОЛЕКУЛЯРНО-КІНЕТИЧНОЇ ТЕОРІЇ ТА ТЕРМОДИНАМІКИ**

**Мета роботи:** Виконати демонстрації, що ілюструють основні положення молекулярно-кінетичної теорії, та демонстрації по формуванню понять внутрішньої енергії і способів її зміни.

**Прилади і матеріали:** Прилад для демонстрації моделі броунівського руху, універсальний проєкційний апарат з оптичною лавою, циліндри свинцеві зі стругом, циліндр для демонстрації пружності повітря (спірометр або прилад Геріке), установка для демонстрації принципу дії теплової машини, товстостінна скляна посудина, насос Шінца, манометр демонстраційний, теплоприймач, скляні і гумові трубки, пробірки, колби, скляні пластинки, гаряча і холодна вода, етиловий спирт, насичений розчин мідного купоросу, фенолфталеїн, нашатирний спирт, сухий спирт, штативи.

#### **Теоретичні відомості**

В роботі виконуються демонстрації з молекулярної фізики і термодинаміки. Перша частина демонстрацій стосується основ молекулярно-кінетичної теорії, друга – основ термодинаміки. Природно, що для ілюстрації основних положень молекулярно-кінетичної теорії в дослідах використовуються, в основному, рідини і гази, оскільки їх молекули більш рухливі, ніж молекули твердих тіл.

В деяких демонстраціях використовується саморобне обладнання. Так, для демонстрації міжмолекулярної взаємодії слід вирізати зі скла пластинку з стороною близько 10 см і з допомогою водостійкого клею приклеїти по куткам її чотири нитки. Вільні кінці ниток треба зв'язати у вузол, до якого прикріпити гумовий шнур або м'яку пружину. Пружина закріплюється в штативі так, щоб пластина була горизонтальна.

Для вимірювання тиску до 400 мм водяного стовпа, а також зміни тиску при різних демонстраційних дослідах використовується демонстраційний відкритий манометр. Прилад складається з U - подібної скляної трубки висотою приблизно 48 см, яка закріплена на вертикальній шкалі з сантиметровими поділками. В разі відсутності такого приладу його легко виготовити самостійно, використавши скляні трубки і відрізок силіконової або гумової трубки відповідного діаметру.

Для демонстрації дослідів по поглинанню чорною і світлою поверхнями теплових (інфрачервоних) променів використовують теплоприймач.

Теплоприймач виготовлений з тонкостінного металу і має плоску циліндричну форму. Одна з плоских поверхонь корпусу нікельована (дзеркальна), друга – чорна і матова. До корпусу теплоприймача приєднана ручка і ніпель, який з'єднується гумовою трубкою з манометром.

**Хід роботи.**

### **Завдання 1. Продемонструйте броунівський рух на механічній моделі.**

Прилад для демонстрації моделі броунівського руху встановіть на проекційному апараті так, як зображено на рис. 1. Включіть проекційний апарат і отримайте на стелі різке зображення сталевих кульок та гумової шайби. Обертаючи ручку ударного механізму, покажіть, як під дією швидкого хаотичного руху кульок, який імітує рух молекул, здійснює безладний рух шайба. Шайба переміщується внаслідок одночасних ударів декількох кульок.

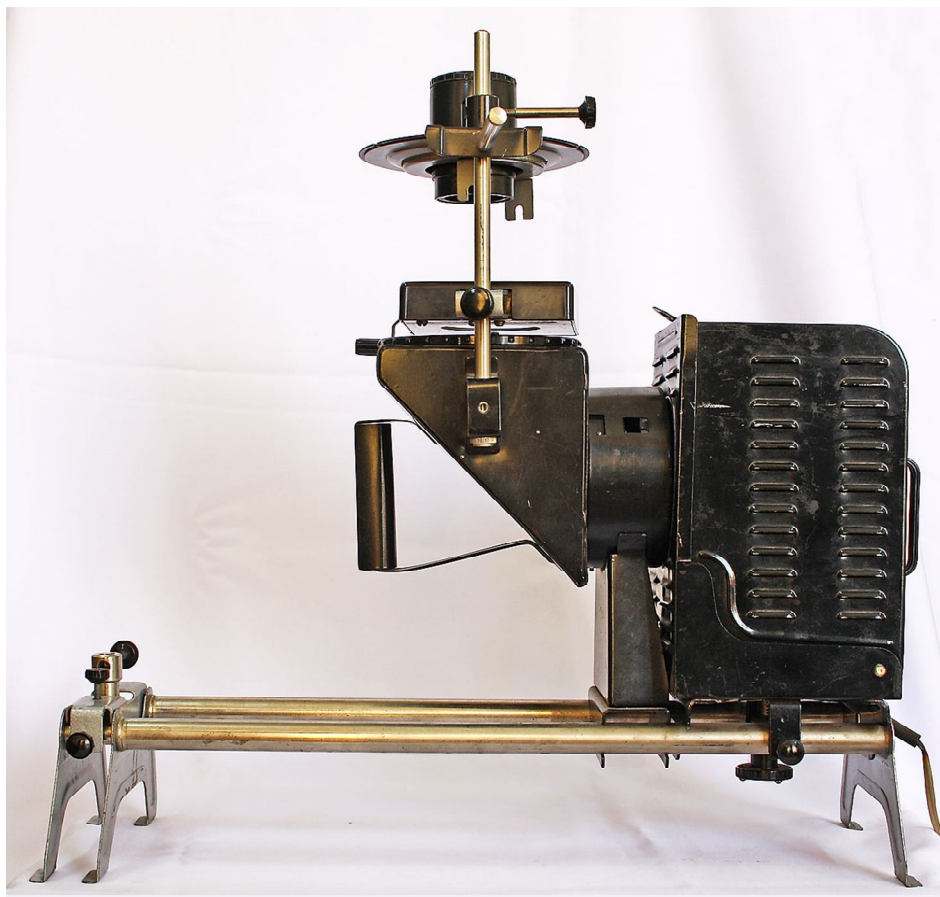


Рис. 1

### **Завдання 2. Продемонструйте дослід по змішуванню води і спирту.**

В невелику пробірку до половини об'єму налийте злегка підфарбовану воду. Поверх води обережно по стінці налийте етиловий спирт так, щоб його рівень не доходив до верхнього кінця трубки на 2-3 см. Відмітьте гумовим кільцем рівень спирту в пробірці. Закрийте щільно пробірку пробкою,

перемішайте рідини і знову розташуйте пробірку вертикально. Переконайтесь, що рівень суміші буде нижчий попереднього (рис. 2).

Який висновок можна зробити з досліду? Яка аналогія дозволить зрозуміти результат досліду?

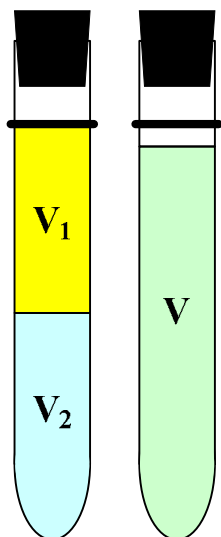


Рис. 2

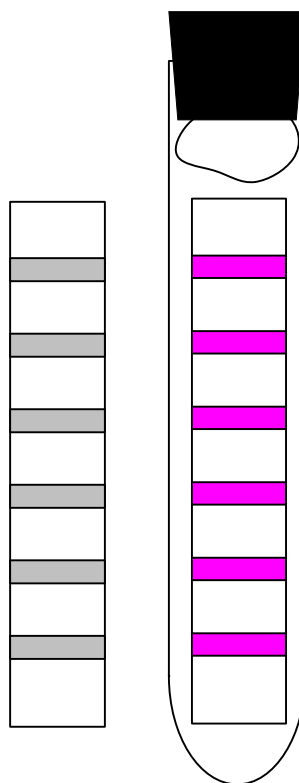


Рис. 3

**Завдання 3. Продемонструйте явище дифузії газів на прикладі дифузії аміаку в повітрі.**

Для досліду потрібна велика пробірка з гумовою пробкою. Відріжте смужку паперу, довжина якої трохи менша довжини пробірки, а ширина така, щоб смужка вільно входила в пробірку. Нанесіть на смужку розчин фенолфталеїну у вигляді поперечних рисок і опустіть смужку в пробірку. До нижньої частини гумової пробки прикріпіть шматочок вати (для цього в пробку вставлено гвіздок), змочіть вату нашатирним спиртом і закрийте пробірку пробкою (див. рис. 3). Спостерігайте зміну забарвлення рисок фенолфталеїну. Поясніть явище, яке спостерігаєте. Яку роль відіграє фенолфталеїн в цьому досліді? Як переконати учнів, що в даному досліді має місце саме дифузія, а не опускання парів аміаку під дією сили тяжіння?

**Завдання 4. Продемонструйте дифузію рідин.**

Налийте в циліндр приблизно до половини висоти дистильовану воду, опустіть в неї до дна скляну або силіконову (прозору) трубку з лійкою, через яку повільно наливаєте насичений розчин мідного купоросу. Перед тим, як вийняти трубку з циліндра, налейте в неї трохи води, щоб витіснити з неї весь

розчин мідного купоросу. При правильному приготуванні досліду між мідним купоросом і водою повинна бути чітка межа (див. рис. 4). Обережно поставте циліндр в безпечне місце на одну-дві доби. Який вид матиме вміст циліндру через цей час? Через тиждень?

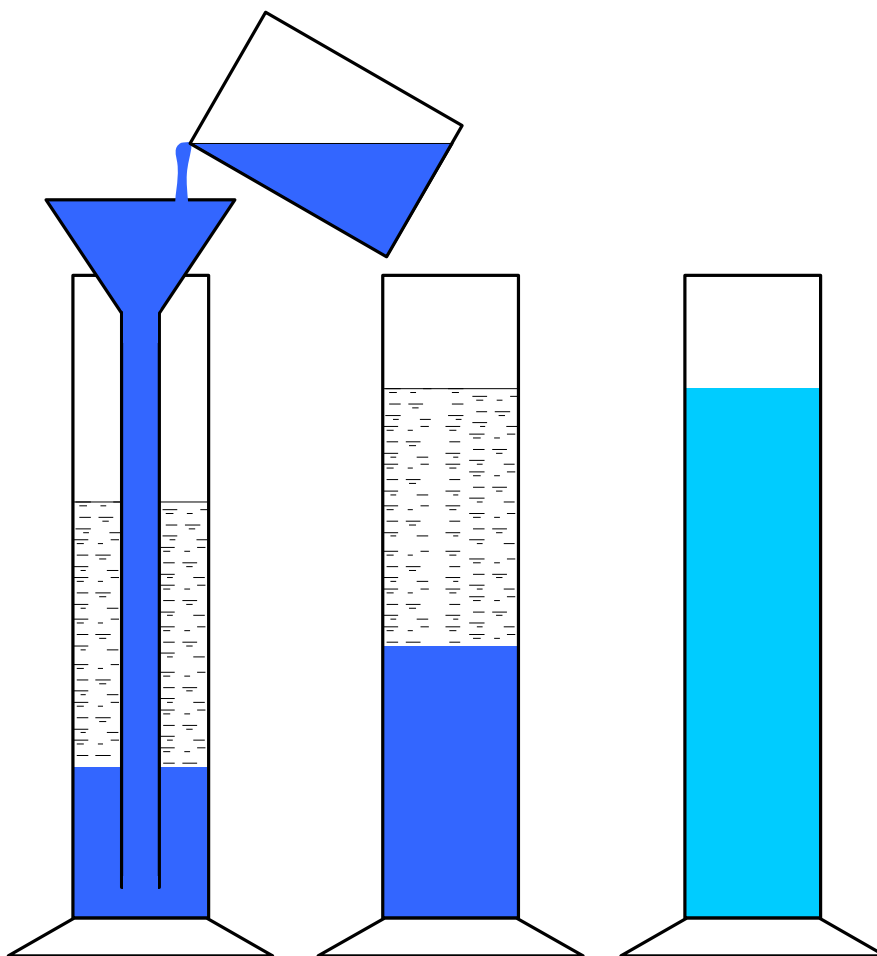


Рис. 4

### **Завдання 5. Продемонструйте явище міжмолекулярної взаємодії.**

#### **1. Між молекулами твердих тіл.**

В цій демонстрації використовуються циліндри свинцеві зі стругом. Успіх демонстрації в першу чергу залежить від підготовки торців циліндрів – вони повинні бути рівними і блискучими. Гарно зачистивши торці стругом, міцно притисніть їх один до одного і злегка поверніть навколо повздовжньої вісі. Зчеплені циліндри підвісьте за гачок на штатив, поставте під них ящик з поролоном чи піском. На вільний гачок підвішуйте важки, поступово збільшуючи навантаження (див. рис. 5). Зчеплені циліндри можуть витримати навантаження до 50 Н.

#### **2. Між молекулами твердих тіл і рідин.**

Скляну пластинку за допомогою наклеєних по кутках ниток підвісьте на гумовому шнурі або м'якій пружині. Площина пластинки повинна бути горизонтальна. Знизу до пластинки піднесіть кювету з водою так, щоб вся



нижня поверхня пластинки доторкнулася води. Повільно опускаючи кювету з водою, відмітьте, на скільки розтягнеться гумовий шнур чи пружина в момент відривання пластинки від води (рис. 6).



Рис. 5



Рис. 6



Рис. 7

### 3. Між молекулами газів.

В цьому досліді демонструється пружність газів, яка пояснюється наявністю сил відштовхування між молекулами повітря. Циліндр з поршнем для демонстрації пружності повітря (спірометр або прилад Геріке, рис. 7) до демонстрації приготуйте наступним чином. Поверхню поршня і внутрішню поверхню циліндра протріть чистою ганчіркою і змастіть тонким шаром машинного масла. Відкрийте кран, підніміть поршень на три чверті висоти і закрийте кран. Натисніть обома руками на поршень – він опуститься на 10-15 мм. Різко відпустіть поршень – він повернеться в попереднє положення.

Аналогічну демонстрацію можна виконати з будь-яким ручним повітряним

нагнітальним насосом типу насосу Шінца або з медичним шприцом великого об'єму.

**Завдання 6. Покажіть зміну внутрішньої енергії газу, який виконує механічну роботу при адіабатному розширенні.**

Сполосніть водою товстостінну скляну посудину, щільно закрийте її гумовою пробкою і накачайте в неї повітря насосом Шінца, поки пробка не вилетить (див. рис. 8).

При накачуванні повітря насос помітно нагрівається, нагрівається і повітря в посудині. Краплини води в посудині випаровуються і в ній утворюється водяна пара. При вилітанні гумової пробки повітря в посудині різко розширюється, виконуючи роботу. Оскільки розширення відбувається протягом малого проміжку часу, то процес можна вважати адіабатним. При адіабатному розширенні температура різко знижується, водяна пара в посудині стає насиченою і конденсується. В момент вилітання пробки в посудині з'являється туман.



Рис. 8

Якщо в посудину перед дослідом кинути запалений сірник або впустити трохи диму, то кількість центрів конденсації збільшується і це сприяє утворенню всередині посудини густого туману. Оскільки газ не дістає енергії ззовні, робота розширення виконується за рахунок зменшення внутрішньої енергії газу.

**Завдання 7. Покажіть зміну внутрішньої енергії тіла в результаті теплообміну.**

1. Закрийте колбу гумовою пробкою, через яку пропущений відрізок скляної трубки. На скляну трубку надіньте довгу гумову трубку і з'єднайте колбу з демонстраційним відкритим манометром (див. рис. 9).

Нагрійте руками повітря в колбі. Що при цьому спостерігається? Поясніть явище.

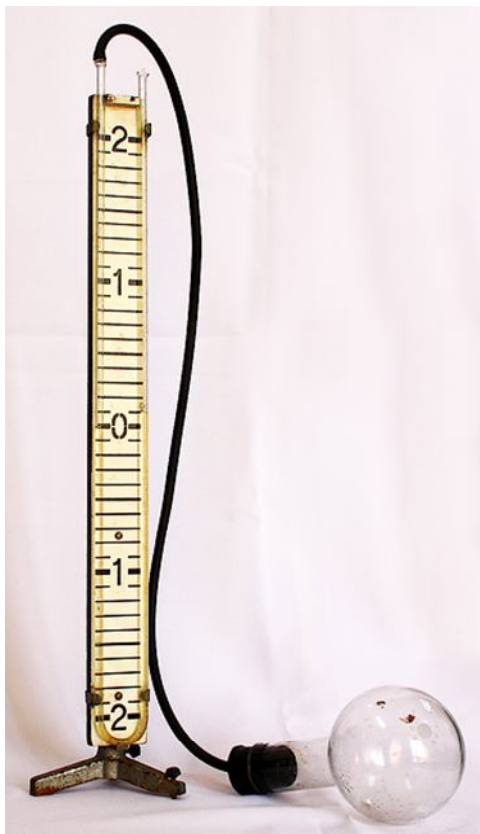


Рис. 9



Рис. 10

2. В скляну пробірку налейте приблизно на чверть висоти води, закрийте пробкою і закріпіть в штативі, як показано на рис. 10. Нагрівайте воду з допомогою спиртівки. Вода закипає і водяна пара виштовхує пробку, виконуючи роботу. Яким вимогам повинна задовольняти установка для цієї демонстрації, щоб дослід був безпечний для учнів і вчителя? Щоб не розшукувати пробку після досліду, прив'яжіть її до штатива довгою ниткою.

### **Завдання 8. Покажіть принцип дії теплової машини.**

1. З допомогою установки, зображеної на рис. 11. Цифрами позначені: 1 – U – подібна трубка, заповнена приблизно до половини підфарбованою водою, 2 – теплоприймач (його можна замінити колбою), 3 – корковий чи пінопластовий поплавок.

Приготуйте дві посудини – одну з гарячою, а другу – з холодною водою. Занурйте теплоприймач по черзі в теплу і холодну воду та спостерігайте за положенням поплавка. Поясніть явище, яке спостерігаєте. В чому полягає принцип роботи теплової машини?

2. З допомогою установки, зображеної на рис. 12.

Вузький скляний циліндр заповніть водою і закріпіть вертикально в

штативі. В циліндр занурте невелику пробірку запаяним кінцем вгору. Щоб пробірка опустилася на дно вертикально, в неї перед зануренням треба налити приблизно на  $\frac{3}{4}$  об'єму води, закрити пальцем отвір пробірки, перевернути її запаяним кінцем вгору, занурити у воду і прибрати палець.

Нагрійте циліндр в полум'ї спиртівки і спостерігайте циклічний рух пробірки вгору – вниз. Поясніть ефект, що спостерігаєте. Що в цій демонстрації є робочим тілом, нагрівником, холодильником?

Щоб демонстрація була успішною, треба методом проб підібрати масу води в пробірці.

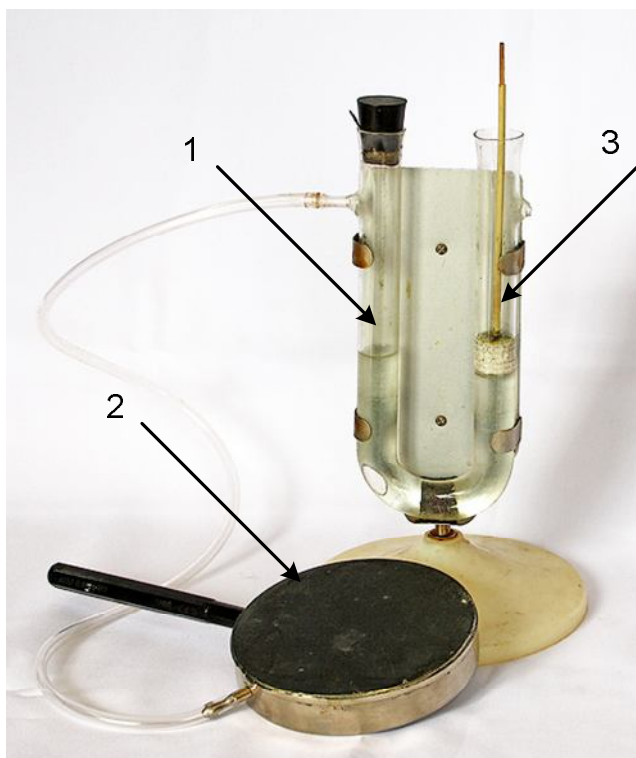


Рис. 11



Рис. 12

### Контрольні запитання

1. Сформулюйте основні положення молекулярно-кінетичної теорії.
2. Наведіть дослідні факти, що ілюструють ці положення.
3. Опишіть, як можна показати броунівський рух в рідинах. Як приготувати препарат для спостереження броунівського руху? При якому збільшенні мікроскопу вже видно броунівський рух в рідинах?
4. Як можна продемонструвати дифузію газів?
5. Які основні труднощі виникають при демонстрації дифузії рідин?

6. Якими прикладами можна проілюструвати наявність сил відштовхування між молекулами?  
7. Які досліди з даних тем рекомендує програма?

## ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 2

### ВЛАСТИВОСТІ ГАЗІВ, РІДИН І ТВЕРДИХ ТІЛ

**Мета роботи:** Виконати демонстрації, що ілюструють властивості газів, рідин і твердих тіл.

**Прилади і матеріали:** Сильфон з мановакууметром, повітряне кресало, ефір, вата, піпетка, великий (20 мл) медичний шприц без голки, вода, термометр для демонстрацій, психрометр, набір приладів для демонстрації поверхневого натягу, прилад для демонстрації пружних деформацій, сталева лінійка, алюмінієвий дріт чи свинцева пластинка, кулька Гравезанда, біметалева пластинка, нагрівник (сухий спирт чи електроплитка), моделі кристалічних ґраток.

#### Теоретичні відомості

Для демонстрації дослідів, що ілюструють газові закони, використовують прилад для вивчення газових законів (рис. 1). Він дає можливість продемонструвати закони Бойля – Маріотта, Гей-Люссака, Шарля, зв'язок між об'ємом, тиском і температурою газу, адіабатне розширення і стиск газу.

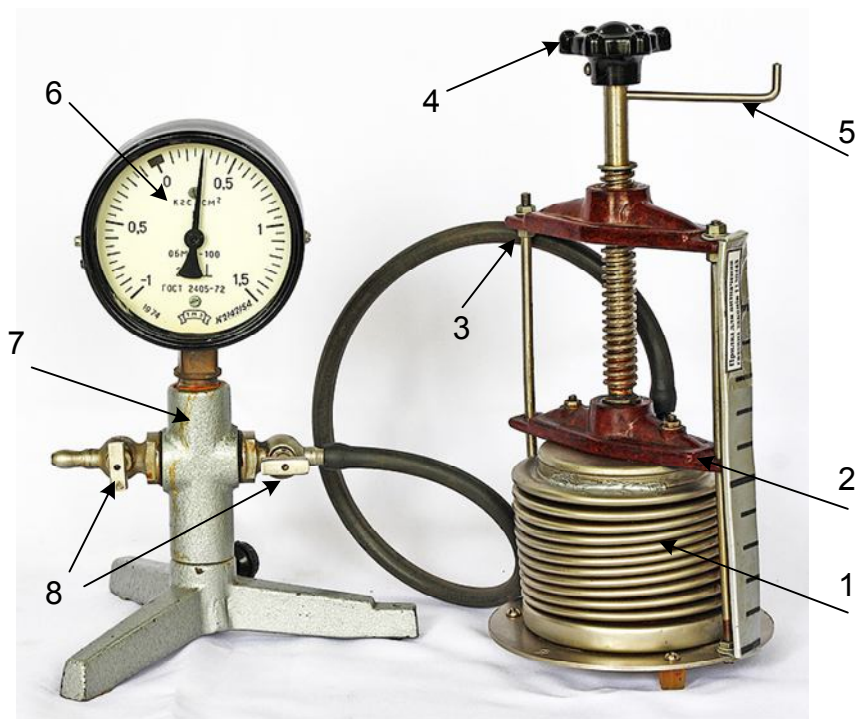


Рис. 1

Прилад складається з металевого гофрованого циліндра (сильфона) 1, об'єм якого можна змінювати з допомогою гвинта 4. Зміна об'єму з достатньою точністю пропорційна зміні висоти циліндра. Вимірюють об'єм повітря всередині циліндра в умовних одиницях з допомогою демонстраційної шкали, прикріпленої до приладу. В якості покажчика для таких вимірювань використовується верхня кришка 2 сильфона. Об'єм циліндра можна змінювати від п'яти до десяти умовних одиниць. Щоб запобігти надмірному розтягу сильфона, на стійки надіті дві трубки – обмежувачі 3. У гвинт вставлена невелика ручка 5, з допомогою якої можна швидко змінювати об'єм повітря в циліндрі (адіабатний процес).

Тиск повітря в сильфоні вимірюють мановакуумметром 6 в межах від - 1 до 1,5 ат. Вакуумметр вимірює надлишковий тиск в технічних атмосферах. Тому позначення шкали - 1; - 0,5; 0 ат відповідають тискам 0; 0,5; 1 ат, а позначки 0,5; 1; 1,5 ат відповідають тискам 1,5; 2; 2,5 ат.

Мановакуумметр змонтований на колонці 7 з двома одноходовими кранами 8, які закінчуються ніпелями. З сильфоном мановакуумметр з'єднується з допомогою гумового шлангу довжиною 40 см.

При вивченні процесів зміни стану газу демонстраційний експеримент можна використати як з метою одержання кількісних закономірностей, які характеризують ці процеси, так і з метою якісної ілюстрації характеру залежності між параметрами газового стану. Одержання кількісних закономірностей вимагає невиправдано значних витрат учбового часу, оскільки в цьому випадку треба виконувати математичну обробку результатів експерименту. Тому під час уроку доцільно провести лише якісний аналіз залежності між параметрами стану газу. Обробку даних експерименту і порівняння результатів з відповідними законами слід запропонувати учням виконати дома.

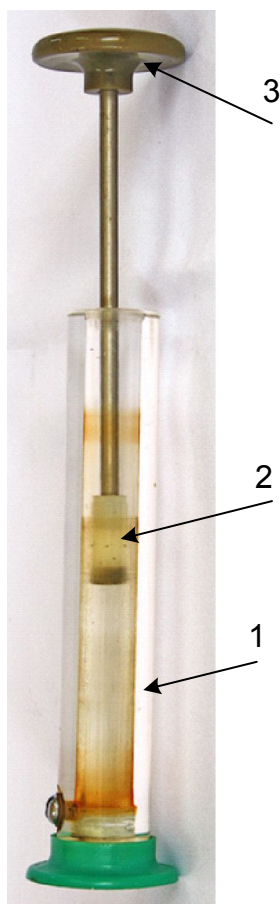


Рис. 2

Прилад «Повітряне кресало» (рис. 2) призначений для демонстрації адіабатного стиску повітря, яке містить пару ефіру. Прилад має вид товстостінного циліндра 1 з органічного скла, один кінець якого закритий. Всередину циліндра вставлений поршень 2, насаджений на металевий шток з рукояткою 3. Дослід буде успішним, якщо поршень буде щільно прилягати до стінок циліндра. Щоб переконатися в цьому, циліндр треба поставити вертикально, вставити поршень і натиснути рукою на рукоятку. Якщо поршень підігнаний правильно, то після того, як руку прибрали, поршень різко підніметься вгору. При пропусканні повітря допомагає змащування вазеліном поверхні поршня. Якщо поршень виготовлений з поліетилену, то його слід опустити на деякий час в гарячу воду, а потім трохи надавити ним на рівну поверхню столу. При цьому поршень трохи розшириться.

Дослід часто не вдається із-за надлишку пари ефіру,

тому перед демонстрацією циліндр треба продути гумовою грушею.

Психрометр і гігрометри відносяться до лабораторних приладів. Однак з метою підготовки учнів до лабораторного практикуму слід на уроці познайомити учнів з призначенням і будовою приладу та показати, як ним можна користуватись.

Найпростіший психрометр (психрометр Августа) складається з двох однакових термометрів **A** і **B** (рис.3). Термометр **A** (сухий) показує температуру повітря в кімнаті  $t_c^0$ . Резервуар термометра **B** обтягнутий тканиною, кінець якої опущено в посудину з водою. Внаслідок випаровування води з тканини резервуар термометра **B** охолоджується і він показує температуру нижчу, ніж сухий термометр. При деякій температурі  $t_c^0$  покази термометра **B** (вологого) не змінюються, що свідчить про настання динамічної рівноваги.

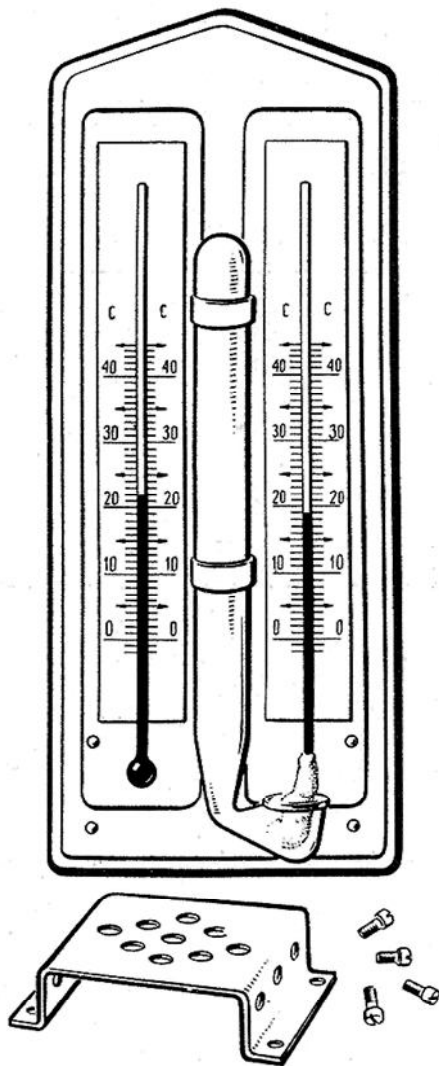


Рис. 3

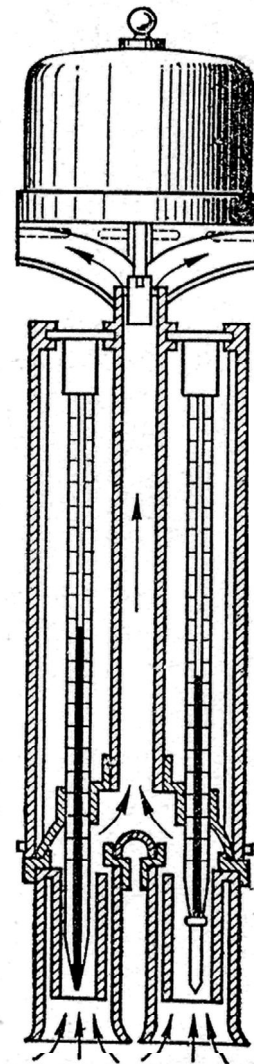


Рис. 4

Різниця між показами сухого і вологого термометрів  $t_c^0 - t_w^0$  буде тим більшою, чим менша відносна вологість повітря, і навпаки. При відносній

вологості  $\varphi = 100\%$  різниця  $t_c^0 - t_g^0 = 0$

Знаючи покази сухого і вологого термометрів за психрометричною таблицею можна визначити відносну вологість повітря. Психрометр Августа використовують для вимірювань в приміщенні, оскільки вітер буде вносити похибки при визначенні  $t_g^0$ .

Для більш точних вимірювань і для вимірювань в польових умовах використовують *аспіраційний психрометр* або *психрометр Асмана*. Цей психрометр теж складається з двох однакових термометрів, закріплених в спеціальній оправі (рис. 4, рис. 6). У верхній частині приладу міститься вентилятор, що приводиться в рух пружиною, яку закручують вручну ключем. Під час роботи вентилятора повітря проходить через трубки, в яких містяться резервуари термометрів. Резервуар одного з термометрів обгорнутий шаром батисту, який перед початком вимірювань змочують дистильованою, дощовою чи сніговою водою з допомогою спеціальної піпетки.

Вологість повітря визначають за показами сухого і вологого термометра, як і при використанні психрометра Августа. Записувати покази термометрів слід через 4 хв. після пуску вентилятора. Повністю закручена пружина забезпечує  $8 \div 10$  хв. роботи.

### Хід роботи.

**Завдання 1. Продемонструйте залежність тиску деякої маси газу від об'єму при постійній температурі.**

З'єднайте сильфон і мановакуумметр, як показано на рис. 1. Відкрийте обидва крани мановакуумметра і розтягніть сильфон на 7 одиниць. При такому положенні сильфона можна буде як збільшувати, так і зменшувати об'єм газу. Закрийте вільний кран мановакуумметра.

Якісно продемонструйте залежність тиску газу від його об'єму при сталій температурі, збільшуючи чи зменшуючи об'єм.

Запишіть значення тисків, що відповідають об'ємам 7, 5, 9, 10 умовних одиниць. Не забудьте про зауваження, яке стосується показів мановакуумметра і наведене в теоретичних відомостях.

Побудуйте графік залежності  $p = f(V)$ , розрахуйте значення  $p \cdot V$  для різних значень об'єму. Зробіть оцінку похибки вимірювань. Чи перебувають відхилення значень добутків  $p \cdot V$  в межах похибки експерименту?

**Завдання 2. Продемонструйте адіабатний процес зміни стану газу.**

1. Один із способів демонстрації адіабатного розширення газу описаний в роботі № 1 цього посібника (див. завдання 6).

2. Ще одну демонстрацію (тепер вже адіабатного стиску) можна виконати з допомогою приладу «Повітряне кресало».



Поставте прилад вертикально і перевірте, чи досить щільно поршень входить в циліндр. Потім опустіть на дно циліндра маленький шматочок вати, трохи змоченої ефіром (1–2 краплини) і вставте поршень в циліндр. Різко але не дуже сильно натисніть на рукоятку поршня, щоб він увійшов у циліндр. Від стиску повітря нагрівається, і ефір на мить спалахне. Дослід можна повторити кілька разів, якщо отвір циліндра кожного разу після спалаху продувати гумовою грушею (вату при цьому вже не треба змочувати ефіром).

### **Завдання 3. Продемонструйте властивості насиченої пари та вимірювання вологості повітря.**

1. Демонстрація кипіння води при зниженому тиску описана в завданні 4 роботи № 1 «Насоси» з першої частини посібника.

2. Наступна демонстрація ілюструє також кипіння води при зниженому тиску і, крім того, властивості насиченої пари.



Наберіть в медичний шприц об'ємом 20 мл приблизно 5 – 10 мл води. Перед початком досліду переконайтесь, що поршень шприца при натисканні не пропускає повітря. Розташуйте шприц вертикально отвором для голки вгору і витісніть повітря, яке міститься над водою. Закрийте отвір для голки кришечкою, виготовленою з кріплення голки, або просто пальцем і потягніть поршень вниз. В об'ємі води з'являється велика кількість бульбашок. Це бульбашки повітря, розчиненого у воді, і водяної пари. Відпустіть поршень – він повернеться в початкове положення. Над поршнем буде невелика бульбашка повітря, яке виділилось з води. Витісніть знову це повітря і повторіть дослід. Знову з'являються бульбашки, але тепер це вже бульбашки лише водяної пари. Ми спостерігаємо кипіння води при кімнатній температурі при зниженому тиску. Простір над поршнем заповнений водяною парою, яка через деякий час стає насиченою (кипіння практично припиняється). Відпустіть поршень – він різко повертається в попереднє положення. Над поверхнею води газоподібного стану вже немає: насичена пара конденсувалась.

Рис. 5

### **3. Охолодження рідини під час випаровування.**

Візьміть термометр великого розміру (можна демонстраційний), обмотайте його кульку марлею або ватою і змочіть її водою (краще ефіром або іншою рідиною, що гарно випаровується). Спостерігайте зменшення показів термометра. Для прискорення процесу випаровування можна обережно помахати термометром. Ця демонстрація також є допоміжною при поясненні принципу дії психрометра.

#### 4. Вимірювання вологості повітря з допомогою психрометра.

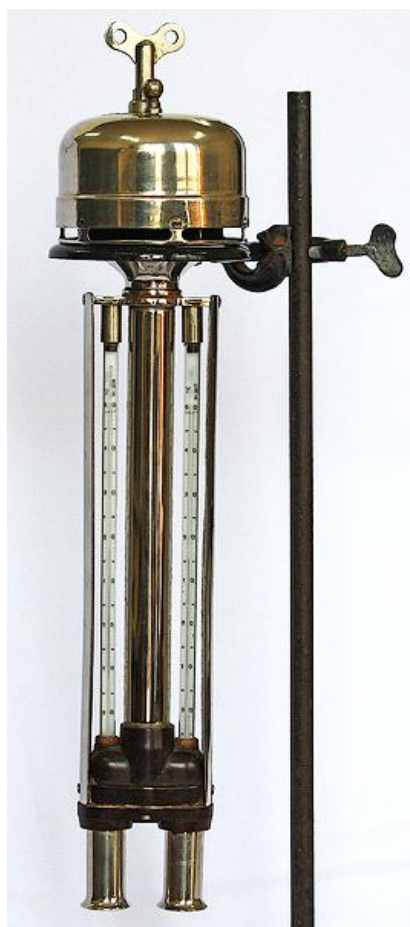


Рис. 6

Розгляньте будову психрометрів Августа і Асмана. Поясніть призначення скляної загнутої трубки, яка розташована між термометрами психрометра Августа. Змочіть тканину, якою обмотаний «вологий» термометр психрометра дистильованою водою. Психрометр Августа звичайно закріплюють на стіні приміщення, в якому треба контролювати вологість повітря. Покази цього психрометра слід знімати через 20 – 30 хвилин після заповнення трубки водою. Психрометр Асмана розташовують вертикально з допомогою гачка чи міцної нитки, яку закріплюють у верхній частині приладу. В лабораторії можна використати штатив (див. рис. 6). Покази психрометра Асмана слід знімати через 4 хвилини після пуску вентилятора.

Визначте вологість повітря, використавши психрометричну таблицю. Як за даними досліду визначити точку роси?

**Завдання 4. Виконайте демонстрації, що ілюструють поверхневий натяг рідин.**

1. Плавання на поверхні води металевих предметів.

В чашку Петрі чи іншу невисоку і широку посудину налейте воду. Суху канцелярську скріпку чи лезо безпечної бритви обережно покладіть на воду.

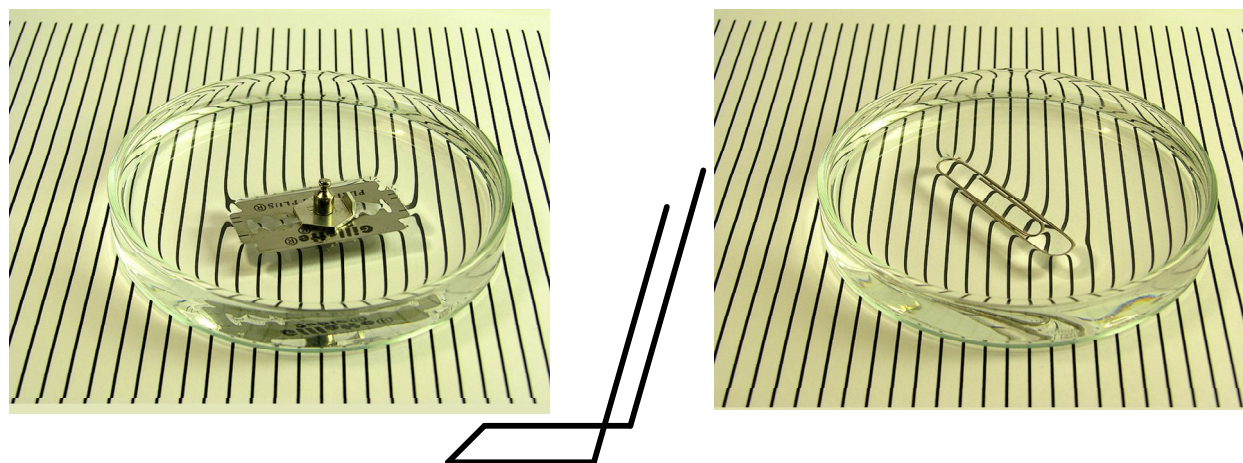


Рис. 7

Значно полегшує цю процедуру пристосування з тонкого дроту, зігнуте у вигляді прямокутного гачка, зображене в середині рисунка 7. На лезо безпечної бритви можна покласти ще й додатковий вантаж. Успіх досліду забезпечить покриття леза тонким шаром жиру, для чого слід потерти лезо пальцями.

Зверніть увагу учнів на те, що поверхня води прогнулася під вагою скріпки та леза. Лезо фактично перебуває нижче рівня води в чашці.

## 2. Скорочення поверхні мильних плівок.

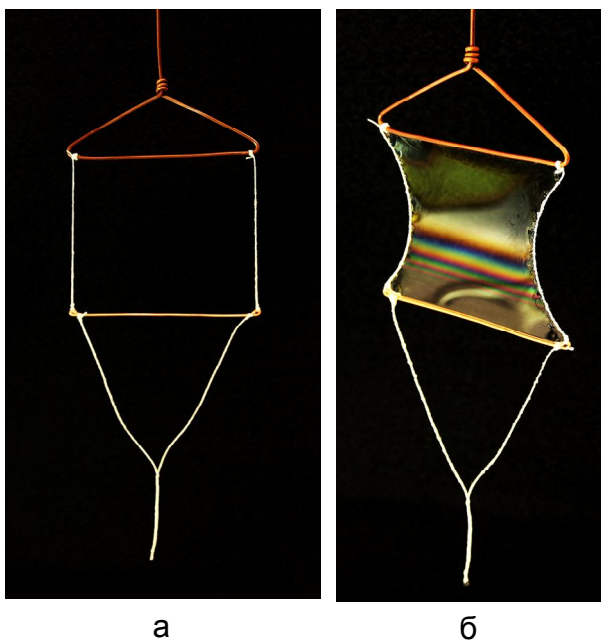


Рис. 8

Закріпіть в штативі «гойдалку»: дві прямі дротини діаметром приблизно 0,5 мм і довжиною 5 см, зв'язані між собою тонкими нитками так, як показано на рис. 8а. Піднесіть знизу циліндричну склянку з мильним розчином так, щоб увесь каркас занурився в розчин. Як мильний розчин можна використати трохи розведений миючий засіб для посуду або рідину з дитячої іграшки «Веселкові кульки». Опустіть склянку: на каркасі утвориться мильна плівка (рис. 8б). Зверніть увагу: нижня дротина піднялася вгору, а нитки набули форми дуг. Потягніть за нижню петлю – плівка розтягнеться. Відпустіть – нижня дротина підніметься і плівка знову набуде попередньої форми.

Аналогічну демонстрацію можна виконати з допомогою каркасу у вигляді кільця, до якого прив'язана тонка нитка (див. рис. 9а).

Занурте каркас у мильний розчин і витягніть його. На каркасі утворилася мильна плівка. Зверніть увагу: нитка не натягнута. Торкніться пальцем плівки з однієї сторони від нитки – плівка в цьому місці порветься і нитка натягнеться. Тонкою скляною паличкою, попередньо змоченою мильним розчином, «проткніть» плівку, яка при цьому залишиться цілою. Паличкою можна «натягувати» нитку; плівка після припинення дії сили набуває попередню форму.

## 3. Явища змочування і незмочування

На чистій скляній пластинці вода розтікається, змочуючи її; пластинку, покриту тонким шаром парафіну чи машинного масла, вода не змочує (рис. 10).

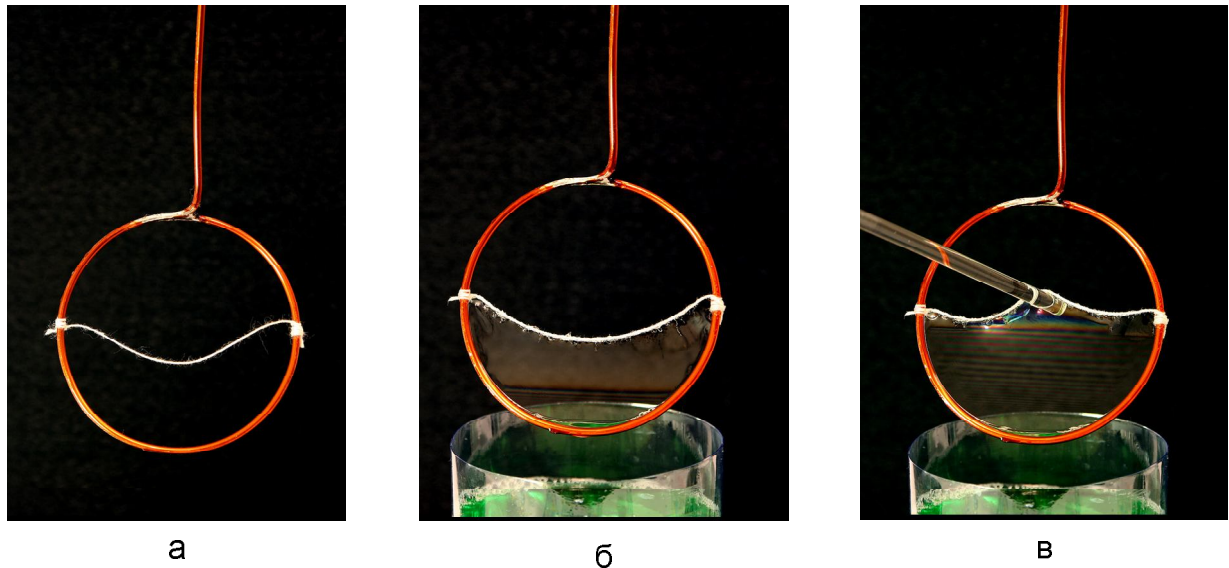


Рис. 9

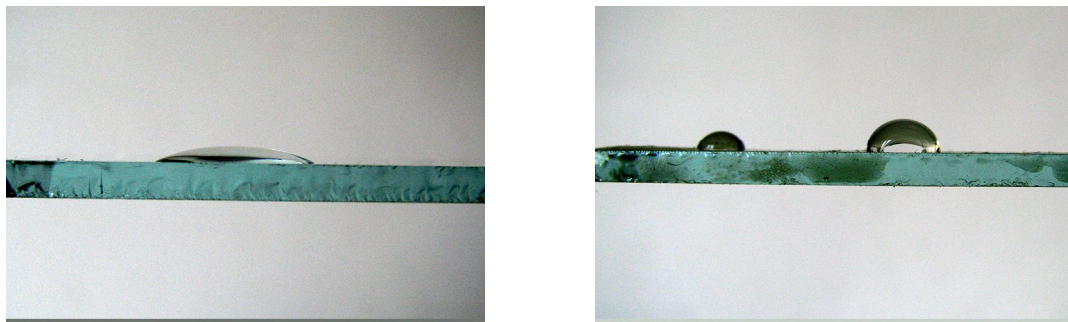


Рис. 10

#### 4. Капілярні явища.

Підняття рідини в капілярних трубках можна продемонструвати з допомогою набору капілярів промислового виготовлення (рис. 11).

Досліди 3 і 4 краще виконувати з використанням проекційного апарату, розташувавши пластинки чи капіляри на підставці перед конденсором апарату, або мати заздалегідь виготовлені фотографії, які продемонструвати на екрані.

В разі відсутності промислових капілярів можна використати будь-який скляний капіляр діаметром 1-2 мм (рис. 12).

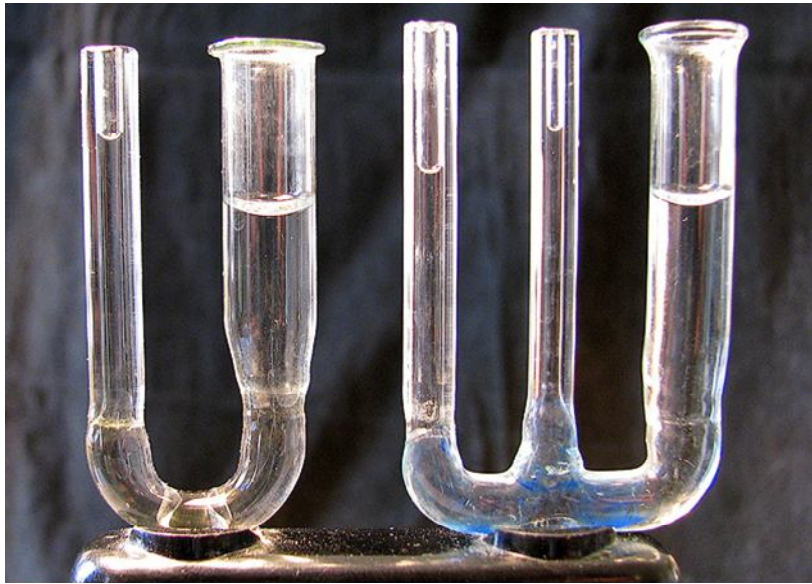


Рис. 11



Рис. 12

### 5. Тиск в мильних бульбашках різного розміру.

Для цієї демонстрації треба виготовити саморобний прилад (рис. 13). Трійник і дві зігнуті під прямим кутом скляні трубки діаметром 7-10 мм з'єднуються гумовими трубками так, як показано на рисунку. На трійник надівають гумову трубку довжиною близько метра, яка закінчується скляним мундштуком.

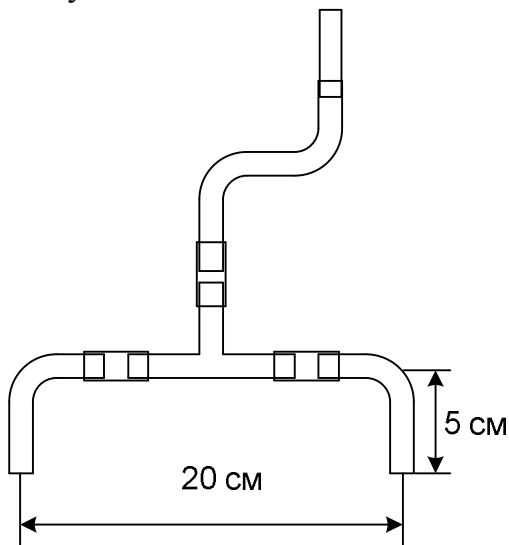


Рис. 13



Рис. 14

Закріпіть прилад в штативі, змочіть кінець однієї трубки мильним розчином і почніть видувати бульбашку. Коли її діаметр досягне розміру близько 3-5 см, змочіть кінець другої трубки і продовжуйте видувати бульбашки. Треба видути дві бульбашки різного діаметру, наприклад, 6-8 см і 2 см (рис. 14). Після цього отвір мундштука закрийте пальцем і спостерігайте за бульбашками: менша буде зменшуватись, а більша рости. Це свідчить про те, що в бульбашці меншого радіусу тиск більший. Який вид матиме плівка, що утворилася на місці меншої бульбашки?

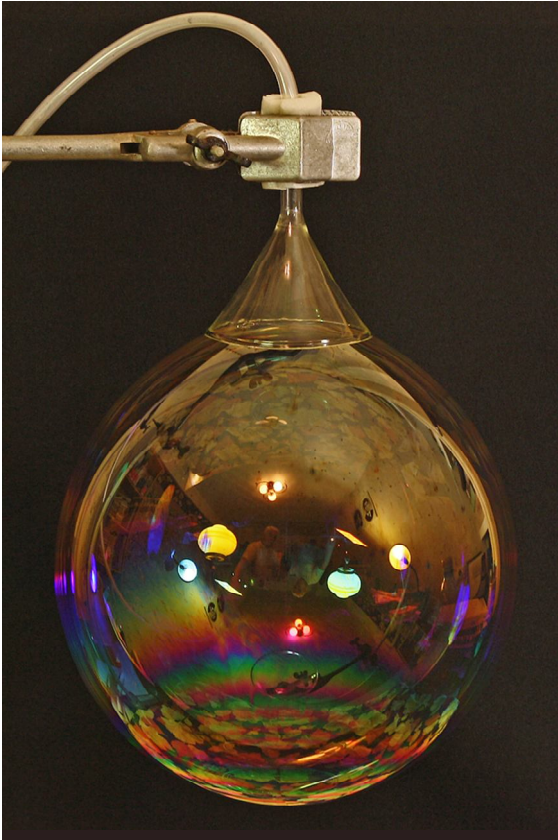


Рис. 15

Учням також подобається демонстрація видування мильних бульбашок великого розміру. Для одержання таких бульбашок видувати їх треба з допомогою скляної лійки (рис. 15). Змочіть край лійки мильним розчином, опустивши її в чашку Петрі чи кювету необхідного розміру, і почніть видувати бульбашку. Використавши велику лійку легко видути бульбашку діаметром до 50 см.

Зверніть увагу: маленькі бульбашки добре зберігають ідеальну сферичну форму, а великі – гірше. Після відриву від лійки великі бульбашки ніби пульсують, злегка змінюючи свою форму. Чим це пояснюється?

Після закінчення всіх демонстрацій завдання 4 необхідно мильний розчин перелити в пляшку, всі деталі набору, які контактували з мильним розчином, і мундштук ретельно вимити і розкласти для просушки.

### **Завдання 5. Продемонструйте деякі властивості твердих тіл.**

#### **1. Пружна і залишкова деформація.**

Види пружних деформацій – розтяг, стиск, згин, зсув і кручення – продемонструйте з допомогою приладу, зображеного на рис. 16.

Пружну деформацію покажіть, використавши сталеву лінійку чи пружину, непружну (пластичну) – з допомогою алюмінієвого дроту чи свинцевої пластинки.



Рис. 16



Рис. 17

## 2. Теплове розширення твердих тіл.

Теплове розширення твердих тіл продемонструйте використавши прилад Гравезанда (рис. 17). Покажіть, що при кімнатній температурі куля вільно проходить крізь кільце. Відведіть кільце в сторону і нагрійте кулю на електроплитці чи з допомогою сухого спирту. Підведіть кільце під кулю і підніміть його: тепер куля не проходить крізь кільце. Після того, як куля охолоне, вона впаде, пройшовши крізь кільце.

Прискорити охолодження кулі можна краплинами води.

В разі відсутності кулі Гравезанда можна виготовити простий пристрій з п'ятака і двох гвіздків (рис. 18). Такий пристрій можна запропонувати виготовити учням вдома і виконати домашній експеримент.

Як одне із застосувань явища теплового розширення тіл продемонструйте дослід з біметалевою пластинкою (рис. 19).

## 3. Продемонструйте моделі просторових ґраток кристалів.

Демонстрацію доцільно почати з моделі просторової ґратки кристалу  $\text{NaCl}$ , потім показати інші типи ґраток (рис. 20).



Рис. 18



Рис. 19

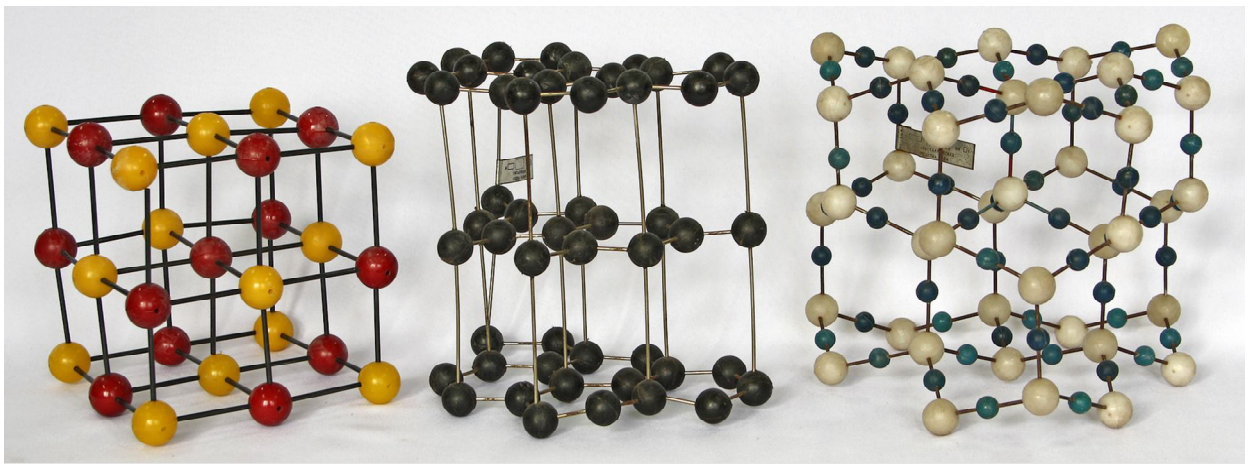


Рис. 20

#### 4. Спостереження за ростом кристалів.

Спостереження за ростом кристалів виконують з допомогою мікроскопу, тому це дослід лабораторний, а не демонстраційний. Проте при наявності цифрової камери до мікроскопу можна показати ріст кристалів на екрані комп'ютера чи з допомогою мультимедійного обладнання і на великому екрані.



В якості домашнього завдання можна запропонувати учням виростити монокристали деяких речовин (мідного купоросу, алюмокалієвого галуноу, тощо).

Детальна інформація про умови спостереження за ростом кристалів та способами їх вирощування міститься в додатках до роботи.

### Контрольні запитання

1. Які досліди з даної теми рекомендує програма?
2. Сформулюйте закони Бойля-Маріотта, Гей-Люссака, Шарля.
3. Який процес називають адіабатним?
4. Яка пара називається насиченою? Дайте означення відносної та абсолютної вологості повітря.
5. Як визначити точку роси?
6. Опишіть явища змочування і незмочування. Які приклади прояву цих явищ в природі Ви можете навести?
7. Де використовуються капілярні явища?
8. Чому дорівнює тиск повітря в мильній бульбашці?
9. Зобразіть графік залежності напруги в твердому тілі від його деформації. Поясніть окремі ділянки графіка.
10. Наведіть приклади прояву та врахування теплового розширення твердих тіл.

Додаток 1 до роботи № 2

### СПОСТЕРЕЖЕННЯ ЗА РОСТОМ КРИСТАЛУ

**Прилади і матеріали:** мікроскоп, освітлювач, скляні пластинки, скляні палички, насичені водні розчини мідного купоросу, амонію двохромовоокислого, п - діоксибензолу (гідрохінону), тіосульфату натрію (гіпосульфіту), хлориду натрію (кухонної солі).

Якщо невелику кількість насиченого розчину розмістити на предметному склі під об'єктивом мікроскопу, то під час випаровування води розчин стане перенасиченим і в ньому почнеться кристалізація. Процес кристалізації зручно спостерігати в мікроскоп з 80–кратним (чи 120–кратним) збільшенням. Збільшення мікроскопу дорівнює добутку збільшення об'єктиву на збільшення окуляру. Збільшення об'єктиву та окуляру нанесені на їх оправах у виді цифр 8, 20, 40 і т.д., або  $10^x$ ,  $15^x$ ....

Перед початком спостереження навчіться користуватись мікроскопом, використовуючи об'єктив  $8^x$  і встановлений окуляр. Для цього покладіть на стіл мікроскопу предметне скло, а на нього маленький об'єкт: нитку, маленький клаптик паперу і т. д. Дивлячись в об'єктив, повертайте дзеркальце для одержання

найбільш яскравого поля зору. Рухаючи тубус, отримайте різке зображення об'єкту.

Потім на предметне скло (скляна пластинка розміром приблизно 2 x 6 см) з допомогою скляної палички нанесіть невелику краплину розчину, який будете досліджувати. Покладіть предметне скло на стіл мікроскопу так, щоб в полі зору було видно край краплини, де звичайно починається утворення перших кристалів. Відрегулюйте різкість зображення.

**Попередження!** Щоб не зіпсувати об'єктив мікроскопу під час дотику його до скляної пластинки, рекомендується наводити на різкість, переміщуючи об'єктив угору. Переміщення об'єктиву вниз слід контролювати, спостерігаючи збоку.

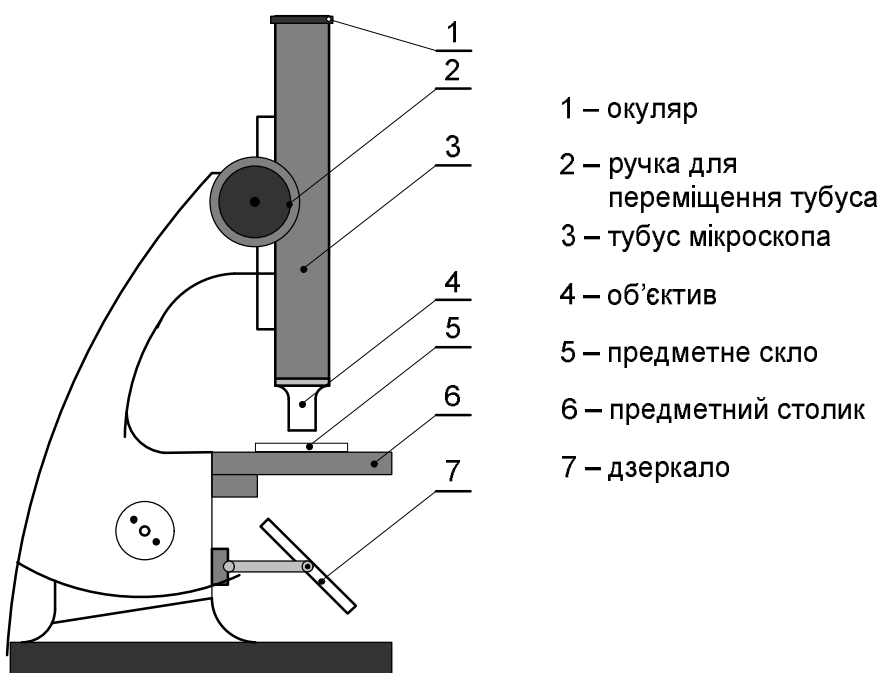


Рис. 1. Мікроскоп

Дочекайтесь появи кристалів і стежте за їх ростом. Виберіть кристали правильної геометричної форми, намалюйте їх. Повторіть дослід з іншими розчинами.

Щоб прискорити роботу, можна на пластинку нанести зразу краплини декількох розчинів і спостерігати за ними одночасно, пересуваючи скляну пластинку.

### Контрольні запитання.

1. Який розчин називають насиченим?
2. Як одержати насичений розчин?

3. Чому звичайно в перенасиченому розчині виростає не один кристал, а багато маленьких кристалів?

4. Яким способом можна зробити розчин перенасиченим, не додаючи в нього розчинну речовину?

Додаток 2 до роботи № 2

## ВИРОЩУВАННЯ КРИСТАЛІВ

**Прилади і матеріали:** Алюмокалієвий галун чи мідний купорос, склянки об'ємом 0,25 чи 0,5 л, термометр, лійка, скляна паличка, вата, вода, нагрівник.

### Теоретичні відомості

Існують два простих способи вирощування кристалу з розчину: охолодження теплого насиченого розчину і його випарювання. Першим етапом будь-якого зі способів є приготування насиченого розчину. Найбільш доступними речовинами для цієї роботи є алюмокалієвий галун чи мідний купорос. Можна використати і деякі інші речовини – червону кров'яну сіль ( $K_3Fe(CN)_6$ ), жовту кров'яну сіль ( $K_4Fe(CN)_6$ ), хромокислий калій ( $KCrO_4$ ). Нагадаємо, що при роботі з хімічними речовинами необхідно дотримуватись правил техніки безпеки.

Розчинність будь-якої речовини залежить від температури. Звичайно з підвищенням температури розчинність збільшується, а зі зниженням температури – зменшується. Залежність коефіцієнту розчинності алюмокалієвого галуну від температури показана на рис. 1. По вертикалі відкладена маса солі в г, що розчиняється в 100 г води, по горизонталі – температура. З графіка видно, що при охолодженні насиченого при температурі  $40^\circ C$  розчину до температури  $20^\circ C$  в ньому виявиться близько 15 г надлишкової кількості галуну на кожні 100 г води. При відсутності центрів кристалізації ця речовина може залишитись в розчині, тобто розчин буде перенасиченим.

З появою центрів кристалізації надлишок речовини виділяється з розчину і при кожній певній температурі в розчині залишається та кількість речовини, яка відповідає коефіцієнту розчинності при цій температурі. Надлишок речовини з розчину випадає у виді кристалів; кількість кристалів тим більша, чим більше центрів кристалізації в розчині. Центрами кристалізації можуть служити забруднення на стінках посудини з розчином, порошок, дрібні кристалики розчиненої речовини. Якщо надати можливість кристаликам, що випали, підрости на протязі доби, то серед них можна буде знайти чисті і досконалі за формою екземпляри. Вони будуть служити затравками для вирощування великих кристалів.

Щоб виростити великий кристал, в насичений розчин, ретельно відфільтрований, слід внести кристалик-затравку, заздалегідь прикріплений до волосини чи тонкої капронової нитки. Волосину чи нитку перед прив'язуванням кристалика потрібно протерти спиртом. Можна виростити кристал і без затравки. Для цього волосину чи капронову нитку протирають спиртом і опускають в розчин так, щоб кінець волосини чи нитки вільно висів у розчині. На кінці волосини чи нитки може початись ріст кристалу.

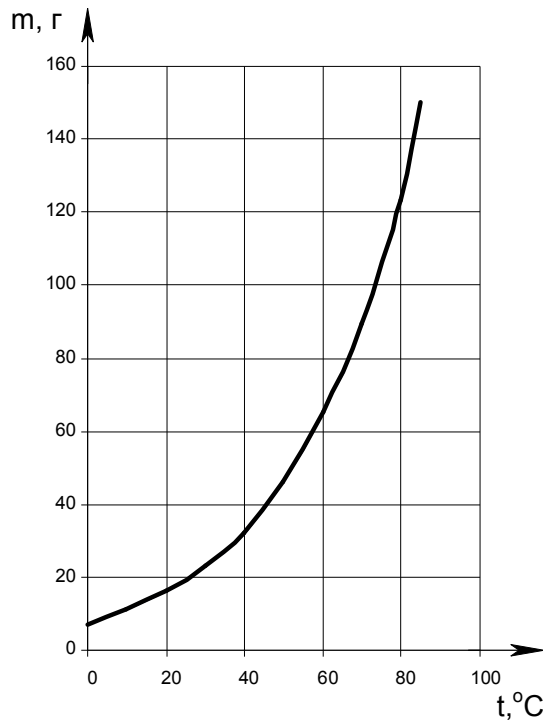


Рис. 1

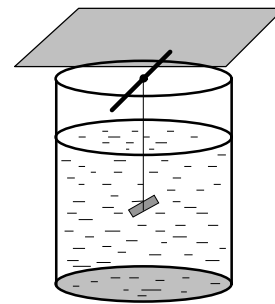


Рис. 2

Якщо для вирощування підготовлений великий затравочний кристал, то його краще вносити в трохи підігрітий розчин. Якщо розчин при кімнатній температурі був насиченим, то при температурі на 3-5°C вище кімнатної він стане ненасиченим. При внесенні кристала – затравки в такий розчин кристал почне розчинятись в ньому і при цьому втратить верхні дефектні та забруднені шари. Це приведе до збільшення прозорості майбутнього кристалу. Коли температура знизиться до кімнатної, розчин знову стане насиченим і розчинення затравки припиниться. Якщо посудину з розчином накрити так, щоб вода могла з нього випаровуватись (рис. 2), то через деякий час розчин стане перенасиченим і почнеться ріст кристалу. Під час вирощування кристалу посудину з розчином слід тримати в теплому сухому місці, де температура протягом доби залишається сталою. Щоб виростити великий кристал потрібно від кількох діб до кількох тижнів.

## Хід роботи

1. Ретельно вимийте дві склянки і лійку.
2. Налийте в одну склянку теплої (40-50°C) дистильованої води (приблизно половину склянки). Якщо дистильованої води немає, то двічі прокип'ятіть воду і дайте їй відстоятись. Насипте у воду сіль і помішуйте до повного розчинення солі. На кожні 100 г води слід взяти близько 30-40 г мідного купоросу чи алюмокалієвого галуна, або 40 г кухонної солі. Для інших речовин рекомендації можна взяти з таблиці 1.
3. Профільтруйте одержаний розчин в іншу склянку через ватний фільтр. Ватний фільтр перед фільтруванням опустіть в посудину з дистильованою водою, а потім витисніть з нього воду.
4. Склянку з теплим розчином прикрийте зверху (не щільно) листом цупкого паперу чи кришкою і залиште на добу. При охолодженні в розчині почнуть випадати кристали.
5. Злийте розчин зі склянки і виберіть серед кристаликів, що випали, декілька найбільших і правильної форми. Злитий розчин поверніть назад у склянку.
6. Протріть спиртом тонку капронову нитку (можна використати рибальську волосінь діаметром близько 0,1 мм) і прив'яжіть до неї кристалик-затравку. Розчин в склянці підігрійте так, щоб кристалики, які залишились, розчинились. Опустіть затравку в розчин. Можна також просто покласти затравку на дно склянки. Момент опускання затравки слід вибирати так, щоб розчин був близький до насичення. Якщо розчин буде ненасиченим, то затравка почне розчинятись і може зникнути. З цієї причини заздалегідь готують декілька затравок.
7. Поставте склянку в тепле чисте місце. Протягом декількох діб (чи тижнів) не торкайтесь кристалу і не переставляйте склянку.
8. В кінці терміну вирощування витягніть кристал з розчину, ретельно обсушіть його паперовою серветкою і покладіть в спеціальну коробочку. Руками кристал не беріть, інакше він втратить прозорість.

Табл. 1

Речовина і хімічна формула	Форма і колір кристалів	Маса речовини в г на 100 мл води
Хлористий натрій (кухонна сіль) NaCl	Дрібні білі снігоподібні або кубічні кристали	39
Алюмокалієвий галун $KAl(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$	Октаедричні кристали білого і ніжно-сріблястого кольору	30-40
Сірчаноокислий нікель $NiSO_4 \cdot 7H_2O$	Кристали у вигляді голок яскраво ізумрудного кольору	110

Двохромистий калій (біхромат калію) $K_2Cr_2O_7$	Триклинні оранжево-червоні голки або пластинки	50
Заліzosиньородистий калій (червона кров'яна сіль) $K_3Fe(CN)_6$	Рубінові кристали	90
Залізістосиньородистий калій (жовта кров'яна сіль) $K_4Fe(CN)_6$	Світло-жовті прозорі кристали	40
Мідний купорос $CuSO_4 \cdot 5H_2O$	Триклинні яскраво-сині кристали	30-40
Хромокислий калій $KCrO_4$	Ромбічні кристали жовто-лимонного кольору	75

### Контрольні запитання

1. Який розчин називають насиченим?
2. Що називають розчинністю і як розчинність солей залежить від температури?
3. Що може служити центром кристалізації? З якою метою розчин фільтрували?
4. Як насичений розчин можна зробити перенасиченим, не додаючи в розчин розчинену речовину?

### ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 3

#### ЕЛЕКТРИЧНЕ ПОЛЕ

**Мета роботи:** Вивчити основні демонстраційні прилади з електростатики та навчитися проводити демонстрації за допомогою цих приладів.

**Прилади і матеріали:** Електрометри з набором приладів, електрофорна машина, ебонітова та скляна палички, електростатичні маятники, султани, шерстяна та шовкова тканини, металева сітка (сітка Кольбе), розбірний конденсатор, ізолюючі штативи, столик підйомний, конденсатор змінної ємності, зразки конденсаторів різних типів, батарея конденсаторів з максимальною ємністю 60 мкФ, випрямляч ВУП-2, мультиметр, перемикач однополюсний, панелька з лампочками розжарення 3,5 В 0,28 А, свічка, сірники.

#### Теоретичні відомості

З теми «Електричне поле» починається вивчення розділу «Електродинаміка». Ця важлива тема досить складна для засвоєння учнями. В ній вводяться такі фундаментальні поняття, як електричний заряд, електричне поле,

потенціал, різниця потенціалів, електроємність, енергія електричного поля. Грунтовне засвоєння цих понять можливе лише з допомогою ретельно підібраних демонстраційних дослідів.

При виконанні демонстрацій з електростатики необхідно враховувати цілий ряд умов. Результат багатьох дослідів залежить від стану повітря в кабінеті та від стану ізоляційних частин електростатичних приладів.

Шкідливий вплив на якість демонстрацій має наявність в приміщенні великої кількості вуглекислого газу, робота різних іонізаторів (високовольтний індуктор, електрофорна машина, джерела відкритого вогню), підвищена вологість повітря.

Деякі ізоляційні матеріали, що використовуються при виготовленні деталей приладів з електростатики, мають гігроскопічні властивості (скло, дерево, шовк, папір). Тому у вологому приміщенні вони звожуються і поверхневий опір цих діелектриків зменшується. Крім того, з рук експериментатора на поверхню приладів наноситься жир, сіль, волога, які теж погіршують ізоляційні властивості приладів.

Для успішного виконання демонстрацій з електростатики необхідно виконувати наступні умови:

1. Перед початком вивчення теми слід всі ізолятори приладів з електростатики ретельно вимити водою з милом і просушити.
2. Кабінет чи клас, де будуть проводитись досліди, треба ретельно провітрити (незалежно від того, суха чи дощова погода цього дня).
3. Безпосередньо перед дослідами необхідно просушити прилади.
4. На паличках для електризації на одному з кінців треба зробити мітку, щоб при проведенні дослідів брати паличку за один і той самий кінець.
5. Руки експериментатора повинні бути чистими і сухими.
6. Під час проведення дослідів експериментатор повинен перебувати на деякій відстані від приладів.
7. Прилади з електростатики необхідно зберігати в закритих шафах в повній темряві.

Для демонстраційних дослідів використовуються наступні прилади.

**Електрофорна машина** (рис. 1) – прилад, що дає можливість одержувати великі заряди і значні різниці потенціалів. Машина працює на використанні явища електризації тертям і електростатичної індукції.

Конструктивно машина складається з наступних частин.

Два диска 1 з нанесеними алюмінієвими секторами, які обертаються в протилежних напрямках. Два конденсатора у вигляді лейденських банок 2, зовнішні обклашки яких з'єднані між собою рухомою пластиною 3. Внутрішні обклашки конденсаторів з'єднані з окремими кондукторами 4. Дві щітки 5, що торкаються алюмінієвих секторів, і дві гребінки 6, які з'єднані з кондукторами і внутрішніми обклашками лейденських банок. З допомогою ручки диски приводять

в обертний рух. На них накопичуються заряди протилежних знаків, в результаті чого між кульками кондукторів може проскакувати іскра розміром до 50 мм.

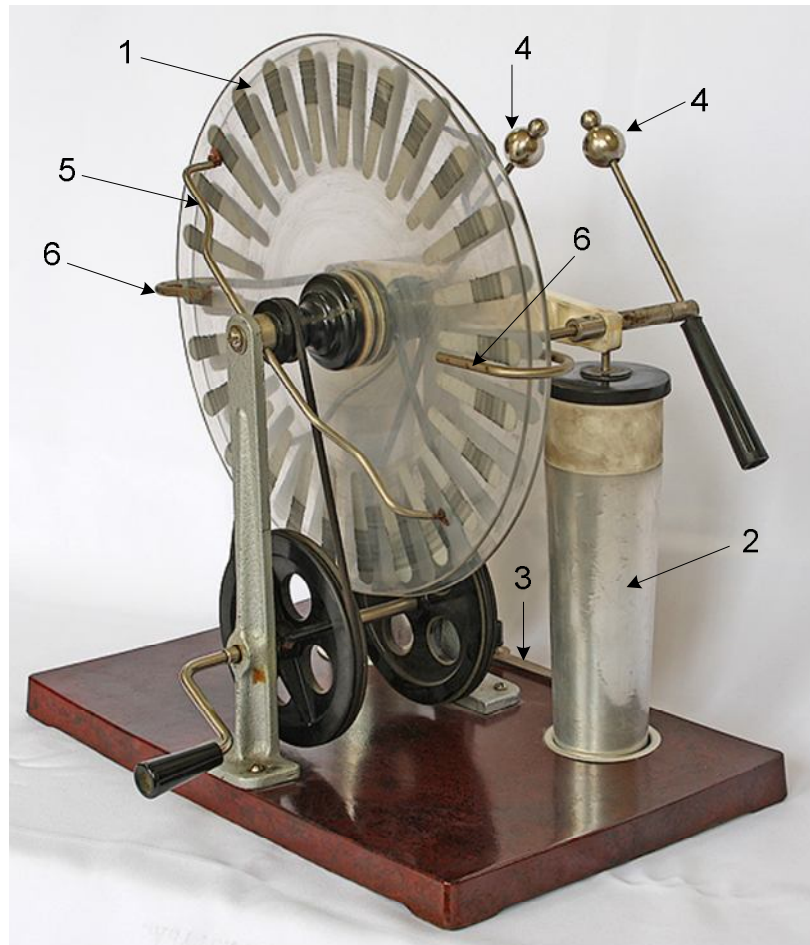


Рис. 1

Під час роботи з електрофорною машиною треба виконувати наступні правила:

1. Перед роботою видалити з машини пил м'якою і чистою ганчіркою.
2. Перевірити ступінь натягу ременів і переконатись, що диски обертаються в протилежні сторони.
3. Один стержень щіткотримача розташувати під кутом  $45^\circ$  до горизонтальної рамки приладу, а другий розташувати під прямим кутом до першого.
4. Якщо при обертанні машина не дає іскру, то слід паралельно поверхні дисків піднести заряджену паличку і повільно обертати ручку машини. Якщо і в цьому випадку машина не працює, то треба просушити диски.
5. Не можна торкатись руками до кондукторів, не з'єднавши їх перед цим між собою.



З тією ж метою, що й електрофорна машина, використовується **перетворювач високовольтний шкільний типу «Розряд»** (рис. 2). Він перетворює постійну напругу 12 В в постійну напругу 5 кВ чи 25 кВ. На верхній панелі перетворювача розташовані вимикач живлення, перемикачі меж вихідної напруги 5 кВ і 25 кВ, клеми виходу 25 кВ, в які вставлені борни.

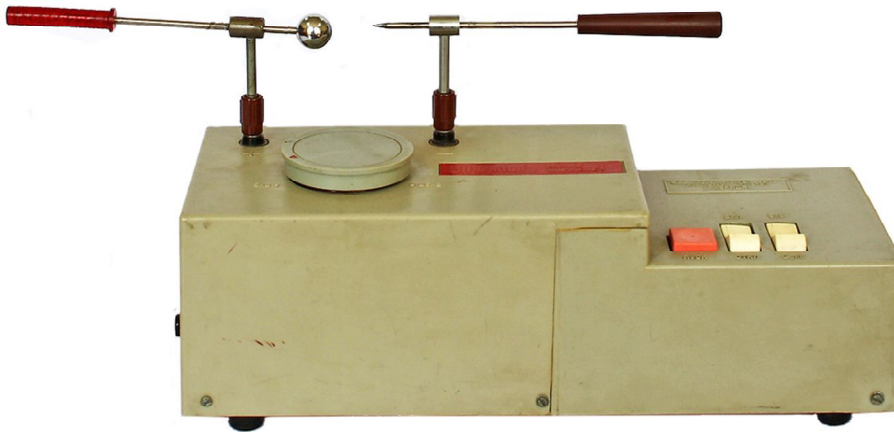


Рис.

**Електрометри** (рис. 3) з **набором приладів**. В комплект входять два електрометра, налаштовані на однакову чутливість, дві порожні металеві кулі – кондуктори, один малий кондуктор (діаметром 500 мм), два конденсаторних диски, два вістря, провідник на ручці з ізолятора, пробна кулька на ручці з ізолятора.



Рис. 3

Електрометри використовуються для виявлення електричного заряду, визначення його знаку, вимірювання різниці потенціалів, в демонстраціях з електростатичної індукції, при введенні поняття ємності і т. д.

Заряджаючи електрометр від палички, слід враховувати, що при доторкуванні палички до стрижня чи кульки електрометра на нього переходить заряд тільки з невеликої ділянки зарядженої поверхні в місці дотику. Для більш ефективної передачі заряду треба декілька раз провести паличкою по стрижню чи кульці, кожного разу повертаючи її в руці.

Зазвичай електрометри комплектують парами налаштованими на однакову чутливість, тобто при однакових зарядах в обох електрометрах стрілки відхиляються на однакові кути. Якщо з деяких причин чутливість приладів виявиться неоднаковою, то їх

регулюють наступним чином. У електрометра, стрілка якого відхиляється на більший кут, знімають переднє скло. Нижній кінець стрілки цього електрометра роблять важчим, для чого м'якою щіточкою, змоченою нітролаком (можна використати лак для нігтів) обережно торкаються нижнього кінця стрілки. Лак наносять дуже малими порціями, кожного разу перевіряючи кути відхилення стрілок електрометрів. Коли кути стануть однаковими, залишають електрометр відкритим, поки лак не висохне. Після остаточної перевірки скло ставлять на місце.

Під час проведення дослідів з електростатики на демонстраційному столі повинні перебувати також нагрівники для підсушування приладів. Для підсушування скляної та ебонітової палички, шматочків шерсті, шкіри, паперу та інших дрібних пристосувань зручно використовувати ящик, всередині якого розміщено декілька електричних ламп розжарення. Зверху такий ящик затягнутий металевою сіткою, на яку кладуть предмети для просушування.

Для підсушування електрометрів і електрофорної машини слід використовувати нагрівник типу каміну з рефлектором. Під час просушування треба слідкувати за температурою приладів: вона не повинна перевищувати  $50^{\circ}\text{C}$ .

В разі відсутності спеціальних пристосувань для підсушування бажано заздалегідь на демонстраційному столі увімкнути хоча б звичайну електроплитку.

Зробимо ще одне зауваження стосовно явища електризації.

Електризація діелектриків була відкрита дуже давно, проте пояснення явища електризації навіть в сучасних шкільних підручниках відсутнє. Один з варіантів пояснення (принаймні, для іонних діелектриків) наведено нижче.

Співробітник Фізико-технічного інституту АН СРСР М. І. Кронфельд в 1975 році виконав досліди, які пояснюють механізм електризації діелектриків тертям. Виявилось, що незалежно від знаку заряду і матеріалу зарядженого тіла заряд завжди нейтралізується іонами повітря – позитивними чи негативними, які прилипають до поверхні наелектризованого тіла. У діелектриків цю іонну сорочку можна видалити, наприклад, тертям об другий діелектрик. В результаті тіло знову виявляється наелектризованим.

Інакше, саме наелектризований, а не електрично нейтральний стан і є природним станом діелектрика. Електризація тертям приводить лише до видалення іонної сорочки, яка екранує постійний заряд. Причиною ж появи постійного заряду є нестехіометрія складу – невідповідність складу речовини хімічній формулі. Наприклад, у кухонній солі  $\text{NaCl}$  втрата лише одного іону  $\text{Cl}$  на  $10^{12}$  іонів  $\text{Na}^+$  приведе до появи значного позитивного заряду кристала.

## **Хід роботи.**

### **Завдання 1. Продемонструйте електризацію тіл тертям.**

Наелектризуйте скляну чи ебонітову паличку. Піднесіть її до клаптиків паперу чи до пінопластової стружки, спостерігайте притягання цих тіл до палички.

Для електризації скляної палички зручно використовувати шматок шкіри або папір, попередньо підсушивши його. Ебонітова паличка найкраще електризується, якщо її натирати хутром або шерстяною тканиною. Пінопласт гарно електризується при його нарізанні гострим лезом на тонкі пластинки.

Для демонстрації взаємодії наелектризованої палички з тілами значної маси (дерев'яною чи металевую паличками) слід виготовити спеціальний тримач, підвісивши його на ізолюючій нитці до штативу (рис. 4).

## **Завдання 2. Продемонструйте взаємодію наелектризованих тіл.**

Взаємодію наелектризованих паличок (ебоніт + ебоніт або скло + скло та ебоніт + скло) можна показати з допомогою тримача (рис. 4).

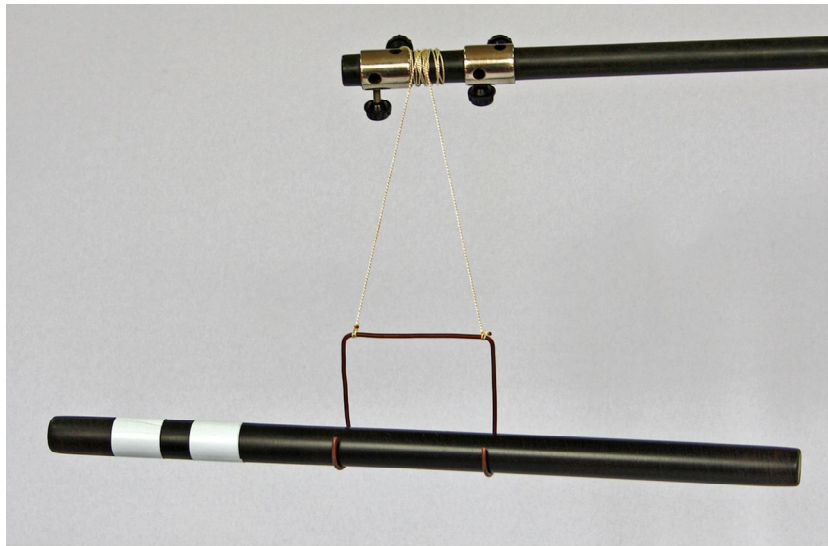


Рис. 4

Другий варіант демонстрації – з електростатичними маятниками (рис. 5). Закріпіть маятники в ізолюючих штативах так, щоб гільзи перебували на одній висоті. Піднесіть до гільзи електростатичного маятника наелектризовану ебонітову паличку. Гільза швидко притягується до неї, але, доторкнувшись, відразу ж відскакує і утримується на певній відстані. Це означає, що гільза дістала частину заряду палички і тепер ці тіла відштовхуються. Так само зарядіть другий маятник. Наближайте штативи маятників із зарядженими гільзами і спостерігайте їх відштовхування (рис. 5).

Наелектризуйте тепер один маятник ебонітовою паличкою, а другий – скляною. Наближайте маятники один до одного і спостерігайте їх взаємне притягання. Доторкнувшись маятники перестають взаємодіяти – відбулася нейтралізація зарядів.

З дослідів можна зробити висновок про існування зарядів двох родів: позитивного і негативного. Домовились заряд скляної палички називати позитивним, а заряд ебонітової палички (при натиранні хутром) – негативним. Різнойменні заряди притягуються, однойменні – відштовхуються.



Рис. 5

### **Завдання 3. Продемонструйте явище електростатичної індукції.**

1. Покажіть, як можна визначити знак заряду електрометра.

Зарядіть електрометр невеликим зарядом від скляної палички (позитивним зарядом). Наелектризуйте скляну та ебонітову палички і по черзі підносьте їх до зарядженого електрометра. Що спостерігаєте? Як даний дослід дає можливість визначити знак заряду електрометра?

2. Піднесіть до незарядженого електрометра заряджену паличку, не торкаючись кульки електрометра. Стрілка електрометра відхиляється, реєструючи появу заряду. Приберіть паличку – стрілка електрометра повертається в попереднє положення. Появу зарядів у цьому досліді називають електризацією через вплив або електростатичною індукцією.

Розташуйте тепер на столі два незаряджених електрометра і з'єднайте їх провідником на ізолюючій річці (рис. 6). До одного з електрометрів піднесіть гарно наелектризовану паличку (але не торкайтесь паличкою кульки електрометра). Стрілки обох електрометрів відхиляються на однаковий кут. За

ізолюючу ручку зніміть провідник а потім приберіть паличку. Обидва електрометри виявились зарядженими.

Дослідіть знаки зарядів електрометрів, зробіть висновок.

З'єднайте електрометри провідником: заряди обох електрометрів зникнуть. Це свідчить про те, що заряди були однаковими за модулем і протилежними за знаком.



Рис. 6

#### **Завдання 4. Продемонструйте силові лінії електричного поля.**

Силові лінії електричного поля демонструють з допомогою султанів, встановлених на ізолюючих штативах (рис. 7).

Приєднайте провідником султан до одного з кондукторів електрофорної машини (не забудьте перед приєднанням з'єднати кондуктори). Розведіть кондуктори і приведіть електрофорну машину в рух. Листочки султану розійдуться в різні боки, ілюструючи електричне поле точкового заряду (рис. 8).

Повторіть дослід з двома султанами, приєднавши їх спочатку до одного кондуктора (рис. 9 а), а потім – до різних (рис. 9 б).

Для демонстрації однорідного електричного поля між двома зарядженими пластинами скористайтесь дисками розбірного конденсатора. Виріжте з цупкого паперу круг, діаметр якого дорівнює діаметру дисків. До поверхні круга приклейте одним кінцем 20-30 вузьких смужок цигаркового паперу довжиною 10-12 см.



Рис. 7

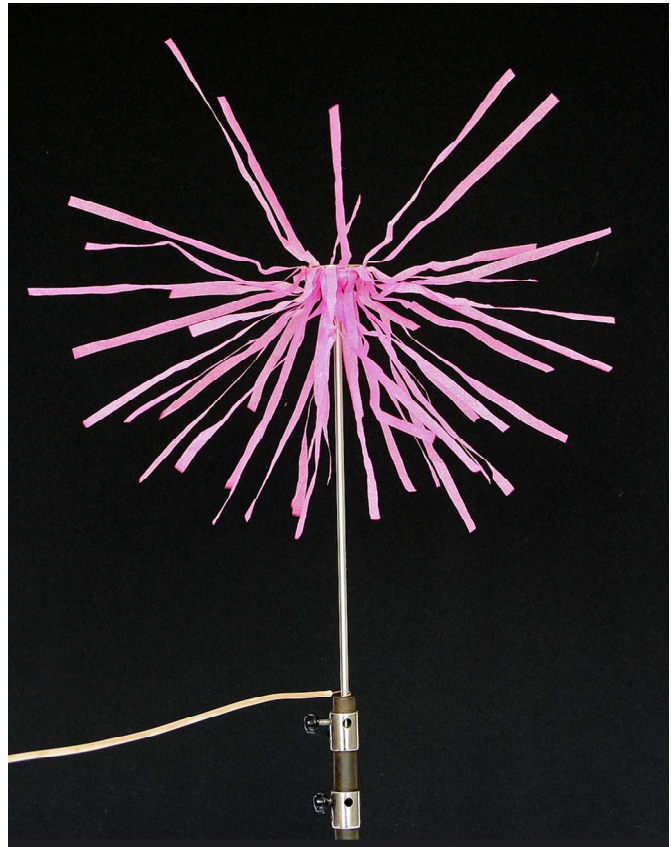
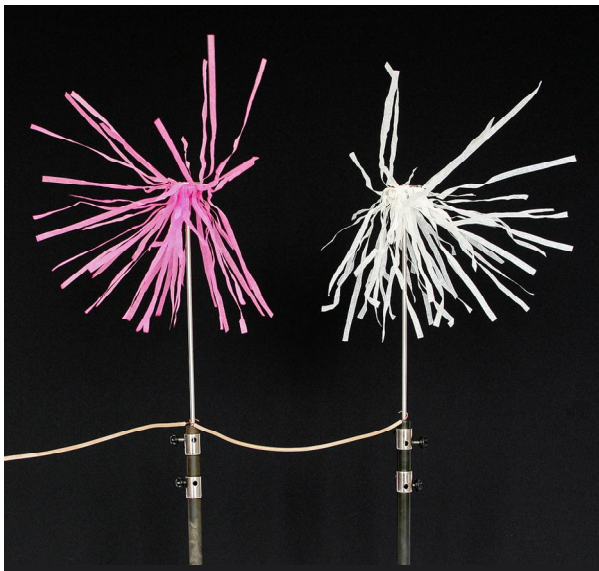
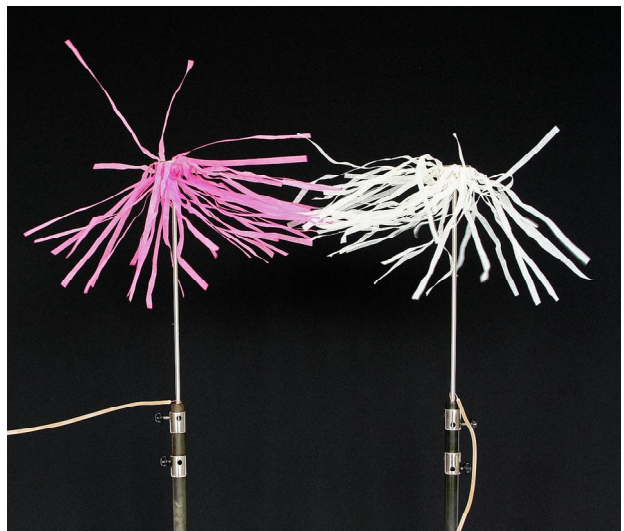


Рис. 8



а)

Рис. 9



б)

Паперовий круг закріпіть на одному з дисків з допомогою канцелярських затискачів для паперу, а диски в ізолюючих штативах розташуйте на відстані, що трохи більша довжини паперових смужок.

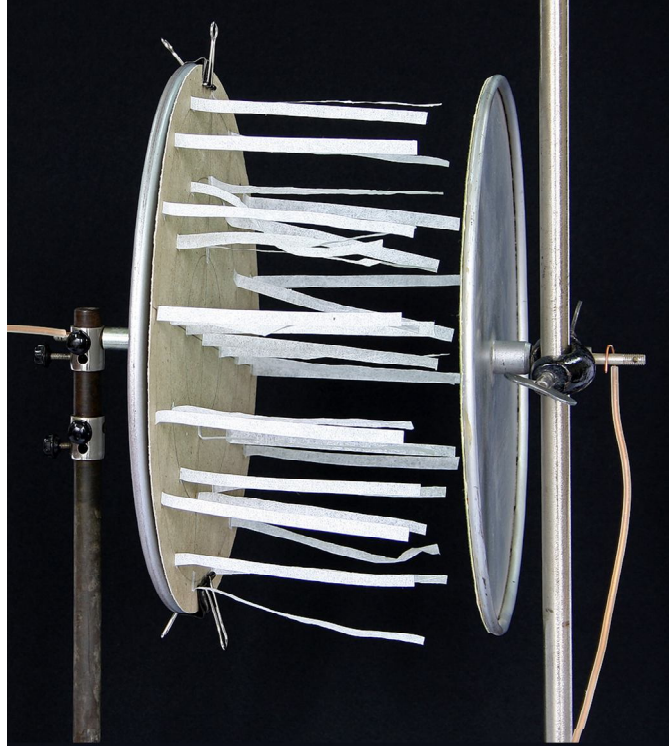


Рис. 10

Приєднайте диски до кондукторів електрофорної машини і приведіть її в рух. Всі смужки витягуються і розташовуються горизонтально, вказуючи напрям силових ліній електричного поля між двома зарядженими пластинами (рис. 10).

### **Завдання 5. Покажіть розподіл зарядів на поверхні провідника.**

1. Гнучку металеву сітку з паперовими смужками (сітку Кольбе) встановіть на демонстраційному столі у випрямленому стані (рис. 11). Зарядіть сітку наелектризованою паличкою чи від електрофорної машини. Смужки з обох сторін відхиляються однаково, що свідчить про рівномірний розподіл зарядів по поверхні.

Зігніть тепер сітку півколом. На увігнутих частинах поверхні смужки опадають, а на опуклих відхиляються сильніше (рис. 12). Зігніть сітку кільцем: смужки відхиляються тільки на зовнішній поверхні.

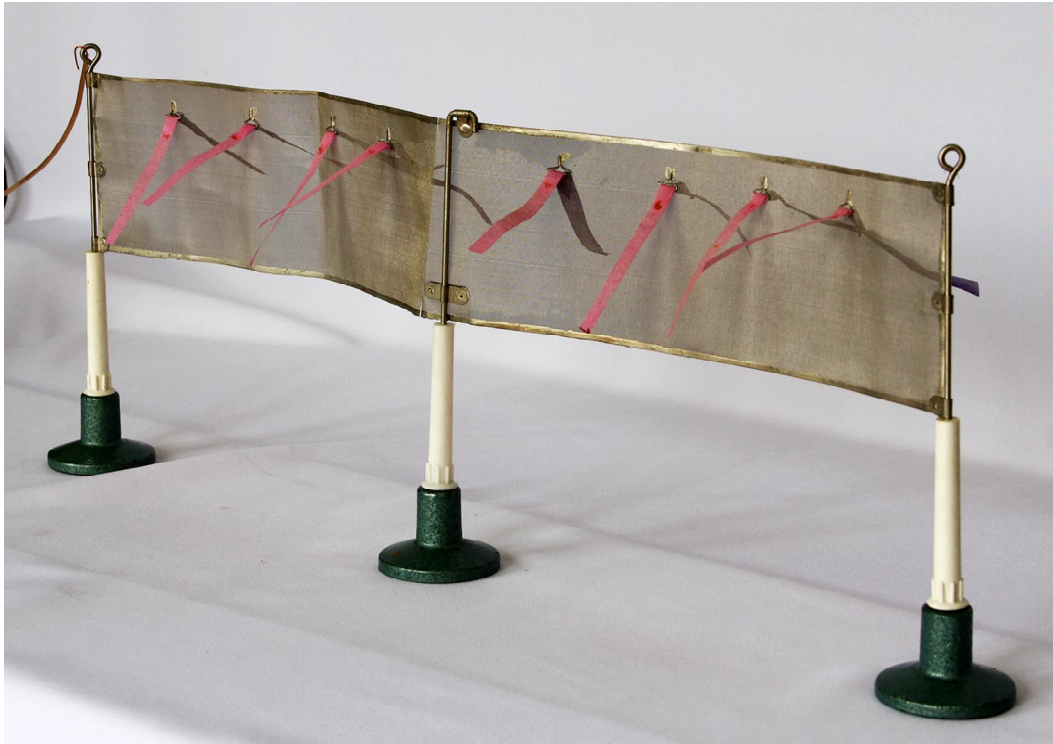


Рис. 11

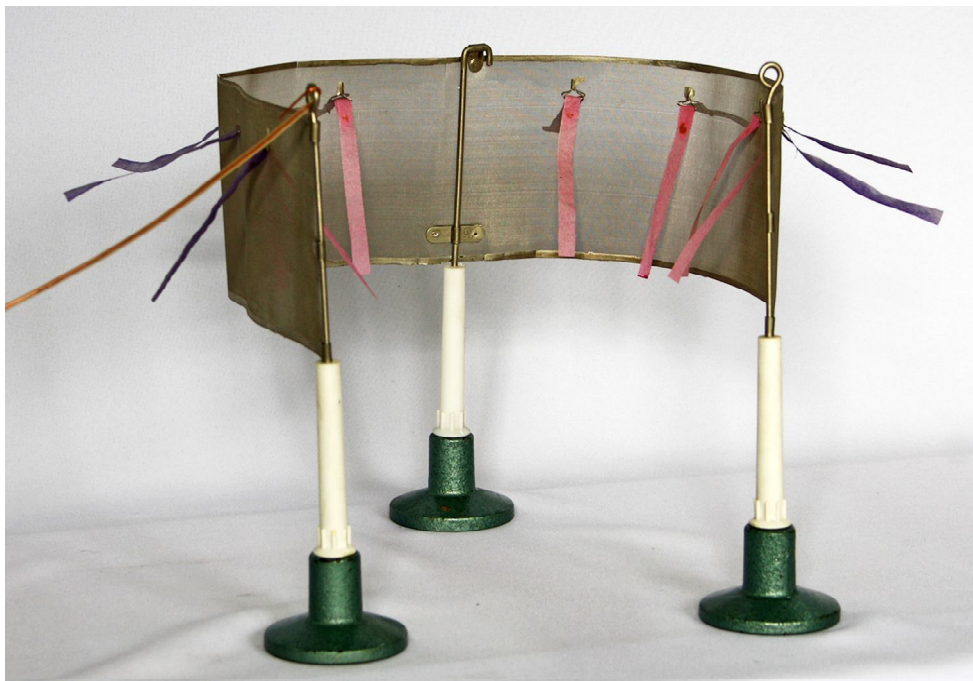


Рис. 12

2. Порожню кулю на ізолюючому штативі зарядить від електрофорної машини. Доторкніться пробною кулькою до зовнішньої частини зарядженої кулі,



потім доторкніться до кулі незарядженого електromетра. Останній реєструє певний заряд.

Якщо ж доторкнутися пробною кулькою до внутрішньої частини зарядженої кулі і потім до кулі незарядженого електromетра, то заряду на електromетрі не буде. Отже, заряди на провіднику розташовані лише на його поверхні.

3. Повторіть попередній дослід з конусоподібним кондуктором (рис. 13). Переконайтесь, що найбільшою є густина заряду поблизу вістря.

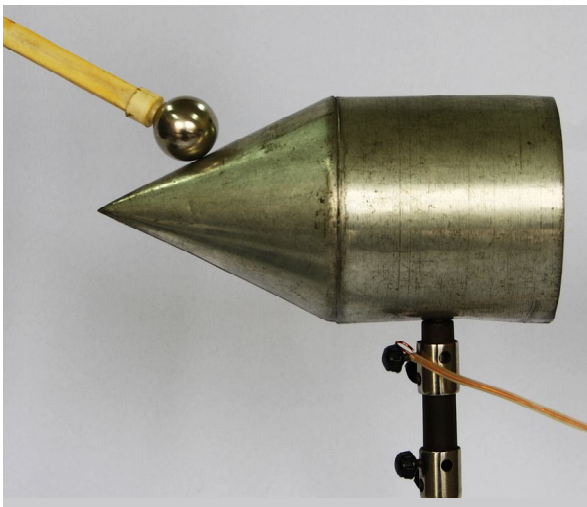


Рис. 13



Рис. 14

4. Закріпіть в ізолюючому штативі малий кондуктор з вістря і з'єднайте його з кондуктором електрофорної машини. Поруч з вістря розташуйте запалену свічку (рис. 14). Приведіть електрофорну машину в рух і продемонструйте «електричний вітер», який утворюється потоком іонів, що виникли при іонізації повітря в електричному полі значної напруженості.

Аналогічну демонстрацію можна виконати зі спеціальною вертушкою – колесом Франкліна (рис. 15). Під час роботи електрофорної машини колесо починає швидко обертатись.



Рис. 15

**Завдання 6. Покажіть, що поверхня провідника є екіпотенціальною.**

Пробну кульку з'єднайте з електрометром, корпус якого повинен бути заземленим. Зарядіть конусоподібний кондуктор від електрофорної машини, як у демонстрації 3 завдання 5. Доторкніться пробною кулькою до зарядженого кондуктора і переміщуйте кульку по всій поверхні кондуктора (рис. 13).

Покази електрометра залишаються однаковими, тобто поверхня провідника всюди має однаковий потенціал.

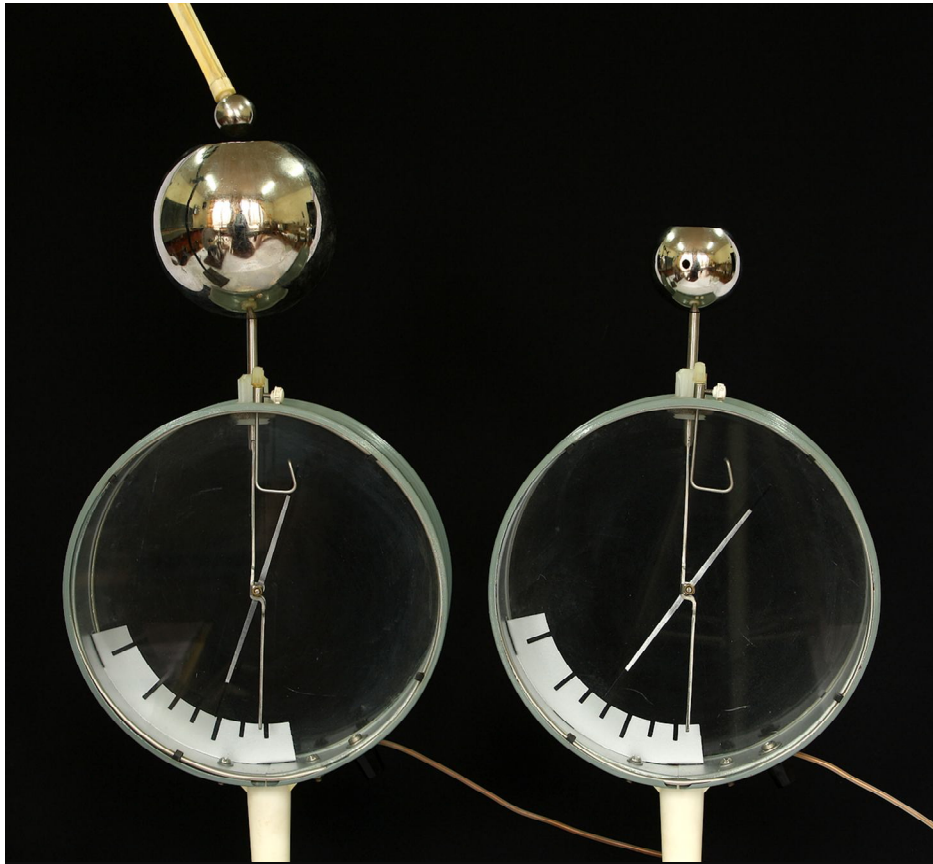


Рис. 16

**Завдання 7. Виконайте демонстрації, що ілюструють поняття електроємності.**

1. Надіньте на два електрометра кульові кондуктори: на один – великий, а на другий – малий, і заземліть корпуси електрометрів (рис. 16). Зарядіть банки електрофорної машини, зробивши декілька обертів. Пробною кулькою швидко перенесіть з електрофорної машини на кульові кондуктори однакові заряди. Для цього торкніться пробною кулькою кондуктора машини і внесіть кульку в середину кулі електрометра, доторкнувшись до неї. Цю процедуру виконайте декілька раз.

Заряджати краще спочатку більшу кулю, потім меншу. Зі збільшенням заряду кулі збільшується й різниця потенціалів, яку реєструє електрометр. Крім того, один і той же заряд надає більшій кулі меншу різницю потенціалів, отже ємність більшої кулі більша.

Піднесіть тепер до однієї з куль руку – покази електрометра зменшуються. Отже, ємність кулі залежить також і від оточуючих провідників.

2. Покажіть, від чого залежить ємність плоского конденсатора.

Зберіть установку, зображену на рис. 17. Відстань між пластинами розбірного конденсатора повинна бути 2-3 см. Зарядіть пластину, яка з'єднана зі стрижнем електрометра, так, щоб стрілка електрометра відхилилась приблизно на половину шкали.



Рис. 17

Не змінюючи відстані між пластинами, зсуньте одну з них на половину діаметра. Покази електрометра збільшуються, що свідчить про зменшення ємності. Отже, при зменшенні площі пластин, що взаємно перекривають одна одну, ємність зменшується.

Поверніть пластини на попереднє місце і, якщо потрібно, поповніть заряд. Змінійте тепер відстань між пластинами і стежте за показами електрометра. При зменшенні відстані покази зменшуються, при збільшенні – збільшуються. Отже, ємність обернено пропорційна відстані між пластинами.

Залиште пластини на відстані 2-3 см одна від одної. Внесіть в проміжок між ними пластину діелектрика з органічного скла. Покази електрометра зменшуються, що свідчить про збільшення ємності.

Наведені досліди є підтвердженням формули ємності плоского конденсатора:

$$C = \frac{\epsilon_0 \epsilon S}{d}$$

3. Продемонструйте різні види конденсаторів: конденсатор змінної ємності (рис. 18); конденсатори постійної ємності з паперовим, слюдяним чи керамічним діелектриком і електролітичні (рис. 19). При наявності покажіть препаровані конденсатори, у яких видалено корпус (рис. 20).

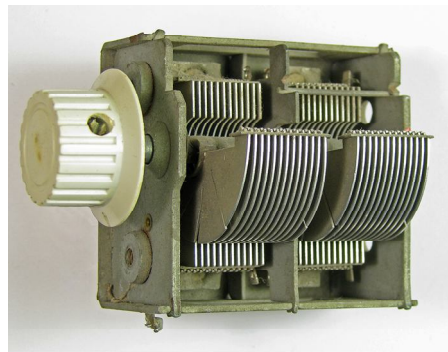
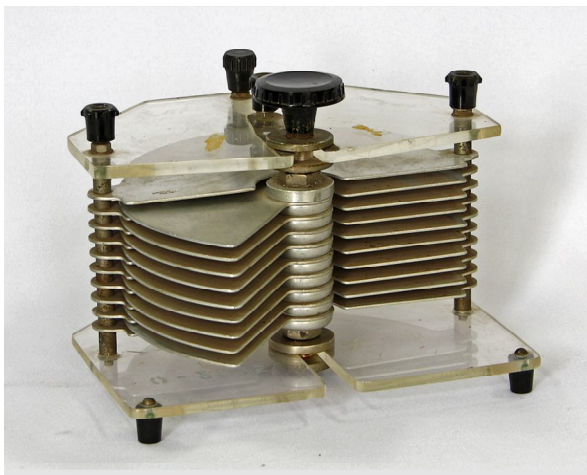


Рис. 18

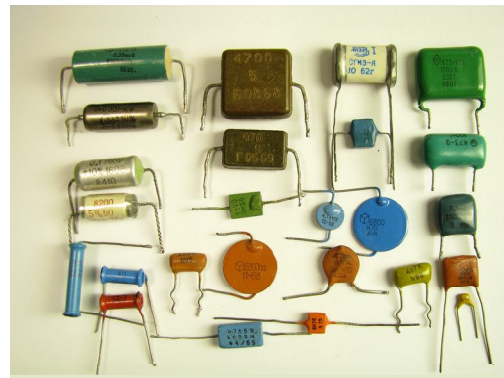


Рис. 19



Рис. 20

**Завдання 8. Покажіть, від чого залежить енергія конденсатора.**

Зберіть установку, принципова схема якої зображена на рис. 21, а зовнішній вид - на рис. 22. HL1 – це лампочка на 3,5 В 0,28 А. Переведіть мультиметр в режим вимірювання напруги постійного струму з межею вимірювання 200 В. Регулятором напруги випрямляча ВУП-2 встановіть напругу приблизно 60 В. На батареї конденсаторів встановіть ємність 30 мкФ. Перемикачем SA1 підключіть батарею до джерела на зарядку, а потім переключіть її на розрядку через одну лампочку. Лампочка спалахує: енергія зарядженого конденсатора перейшла у внутрішню енергію нитки розжарення лампочки.

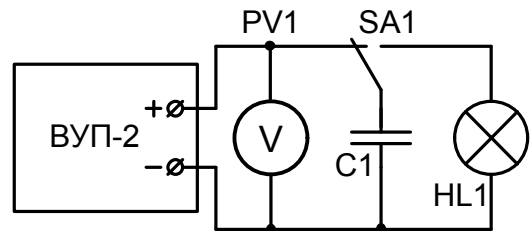


Рис. 21

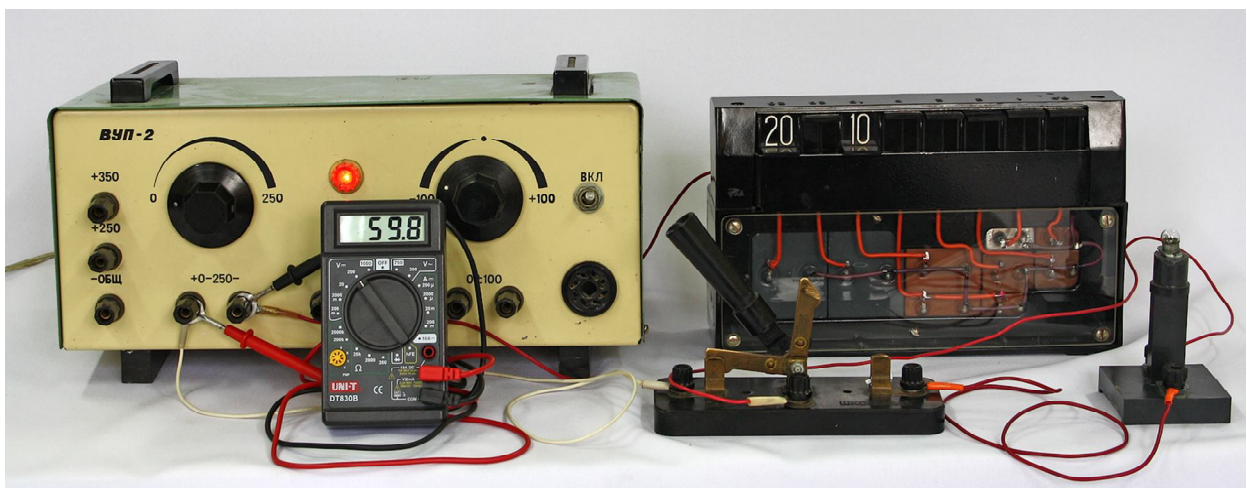


Рис. 22

Збільште ємність батареї конденсаторів удвічі і зарядіть її від джерела з тією ж напругою. При розряді лампочка спалахує значно яскравіше, ніж в першому випадку. Повторіть зарядку і розрядіть батарею через дві лампочки, з'єднані паралельно. Розжарення ниток лампочок буде приблизно таким же, як і в першому досліді.

Отже енергія батареї конденсаторів при збільшенні ємності вдвічі збільшилась теж в два рази.

Далі повторіть перший дослід: ємність 30 мкФ, напруга джерела 60 В, розрядка на одну лампочку. Збільште напругу джерела удвічі до 120 В і розрядіть батарею конденсаторів через дві лампочки. Яскравість світіння двох лампочок значна, приблизно така, як однієї лампочки в другому досліді. При наявності чотирьох лампочок можна переконатись, що при розрядці батареї в 30 мкФ, зарядженої до напруги 120 В, на чотири лампочки вони спалахують так само, як і одна лампочка в першому досліді.

Таким чином, досліді підтверджують залежність енергії зарядженого конденсатора від ємності  $C$  та напруги  $U$ :

$$W_{el} = \frac{CU^2}{2}$$

### Контрольні запитання

1. Якими величинами описують електричне поле?
2. Які існують графічні методи описання електричного поля?
3. Що вимірює електрометр, корпус якого заземлений?
4. Де використовується властивість зарядів розташовуватись лише на зовнішній поверхні провідника?
5. Як можна змінити заряд провідника в певне число разів?
6. Поясніть явище електростатичної індукції.
7. Як визначити знак заряду електрометра?
8. Як зарядити електрометр негативним зарядом, маючи лише скляну паличку?
9. Поясніть обертання колеса Франкліна.
10. Що називають електроємністю і в яких одиницях вона вимірюється?

## ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 4

### ПОСТІЙНИЙ ЕЛЕКТРИЧНИЙ СТРУМ. ЗАКОН ОМА

**Мета роботи:** Вивчити демонстрації, що ілюструють умови виникнення та існування електричного струму, закон Ома для ділянки кола і для повного кола.

**Прилади і матеріали:** Два електрометри з кулями, розрядник з неонову лампою на ізоляційній ручці, електрофорна машина, перетворювач високовольтний "Розряд -1", випрямлячі ВС 4-12, ВСШ 6, ВС-24м, ванна з електродами – гальванічний елемент демонстраційний, електроліт для ванни, батарея гальванічних елементів чи акумуляторів з е.р.с. 3 – 4,5 В, прилад для визначення термічного коефіцієнту опору міді, термометр, колба з водою, електроплитка, лабораторний магазин опорів на 10 Ом, демонстраційний магазин опорів на 10 Ом, газорозрядна трубка, демонстраційні амперметр і вольтметр, реостат з опором 100 Ом, два мультиметри, два однополюсні вимикачі, провідники.

### Теоретичні відомості

Електромагнітні явища учні починають вивчати в основній школі у 9 класі. Вивчення електричного струму починається зі з'ясування дій електричного струму, далі вивчаються елементи електричного кола, джерела струму, основні поняття, які характеризують електричний струм: сила струму, електрична напруга, електричний опір. Одним із основних законів електричного струму, які вивчаються в середній школі, є закон Ома. В основній школі вивчається лише закон Ома для однорідної ділянки кола, в старшій школі учні вивчають закон Ома для повного кола.

Важливим для засвоєння закону Ома для повного кола є розуміння понять «електрорушійна сила джерела струму» і «напруга». Значну допомогу у вивченні цих понять може надати демонстраційний прилад, який називається ванна з електродами або гальванічний елемент демонстраційний. Він становить собою розсувний гальванічний елемент зі щупами і призначений для демонстрації незалежності ЕРС хімічних джерел струму від розмірів електродів, для введення поняття внутрішнього опору джерела струму і для експериментального підтвердження закону Ома для повного кола.

Прилад (рис. 1) має форму прямокутної ванни з органічного скла, в яку встановлені цинковий і мідний електроди в спеціальних пластмасових тримачах 1 і 2 та два щупи з мідного дроту в хлорвінілової ізоляції. Нижні кінці щупів звільнені від ізоляції, а верхні закріплені в пластмасових тримачах 3 і 4. Пластмасові тримачі мають затискачі для під'єднання до вимірювальних приладів. Як електроліт для цього елемента використовується розчин сірчаної кислоти і двохромовоокислого калію (100 частин  $H_2O$ , 37 частин  $H_2SO_4$ , 16 частин  $K_2Cr_2O_7$ ). Якщо даний прилад відсутній у фізичному кабінеті, то його можна виготовити самотужки.

Особливістю деяких дослідів з даної теми є їх кількісний характер, тому для успішного їх виконання необхідна попередня ретельна підготовка.

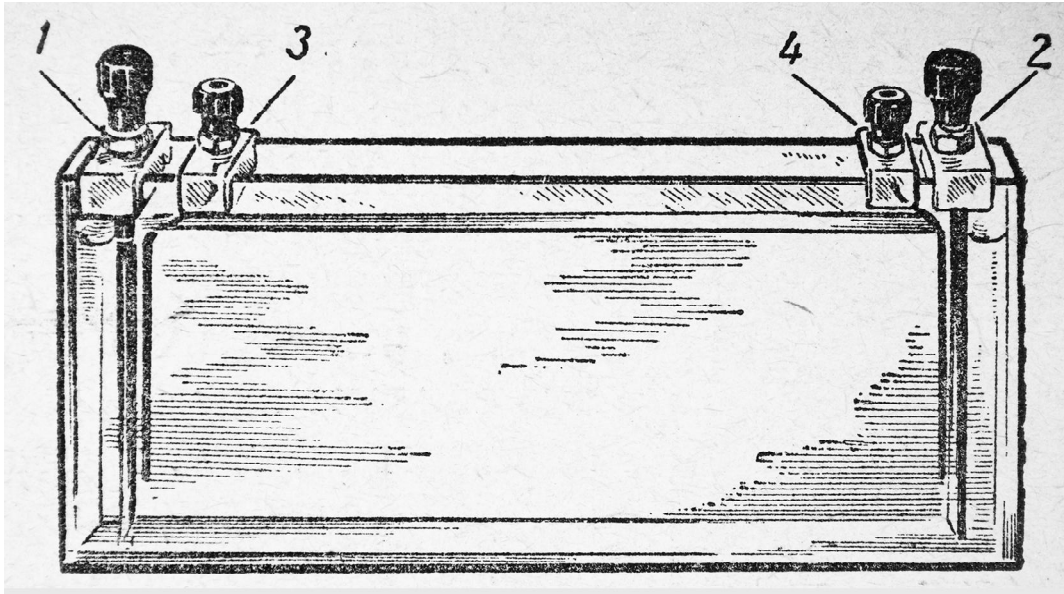


Рис. 1

Окремі демонстрації з цієї теми вже виконувались при вивченні загального обладнання фізичного кабінету (частина 1 посібника): хімічна і магнітна дії електричного струму (робота № 4), тепла дія струму (робота № 5), іскровий розряд в газі (робота № 3), дуговий розряд (робота № 5). Детально були вивчені демонстраційні прилади для вимірювання сили струму і напруги (робота № 2) та випрямлячі (робота № 4).

### Хід роботи.

**Завдання 1. Виконайте демонстрації, що ілюструють умови існування електричного струму.**

1. Продемонструйте виникнення короткочасного струму в металевому провіднику під дією різниці потенціалів на його кінцях. Для цього зберіть установку, яка складається з двох електрометрів з кульовими кондукторами (рис. 2), і зарядіть кулю одного з електрометрів. З'єднайте кулі розрядником на ізолюючій ручці з неоновю лампою. В момент з'єднання на короткий час спалахує неонові лампа, а покази електрометрів стануть однаковими, що свідчить про вирівнювання потенціалів. Розрядник рекомендується приєднувати спочатку до незарядженого електрометра, а потім – до зарядженого.

Оскільки неонові лампа світиться досить слабо, то дослід слід виконувати в напівзатемненому класі і повторити його декілька раз.

Зарядіть кулі зарядами різних знаків і повторіть дослід.



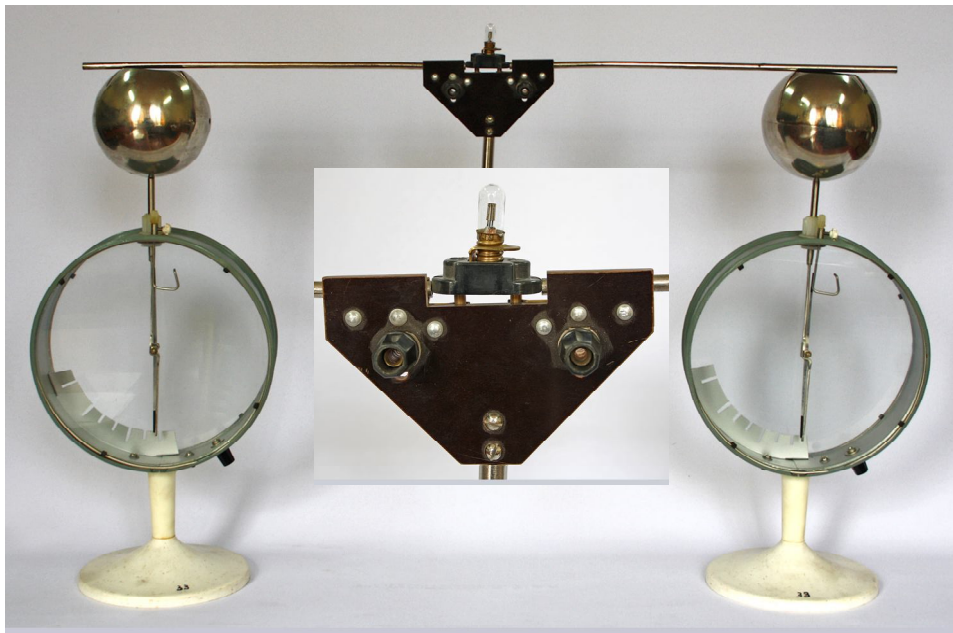


Рис. 2

Ще один варіант цієї ж демонстрації з двома кульовими кондукторами і одним електрометром зображено на рис. 3. При з'єднанні різнойменно заряджених кондукторів неонева лампочка спалахує а стрілка електрометра спадає до нуля (якщо заряди електрометрів були однаковими). Електрометр в цьому досліді бажано ізолювати від демонстраційного столу листом оргскла.

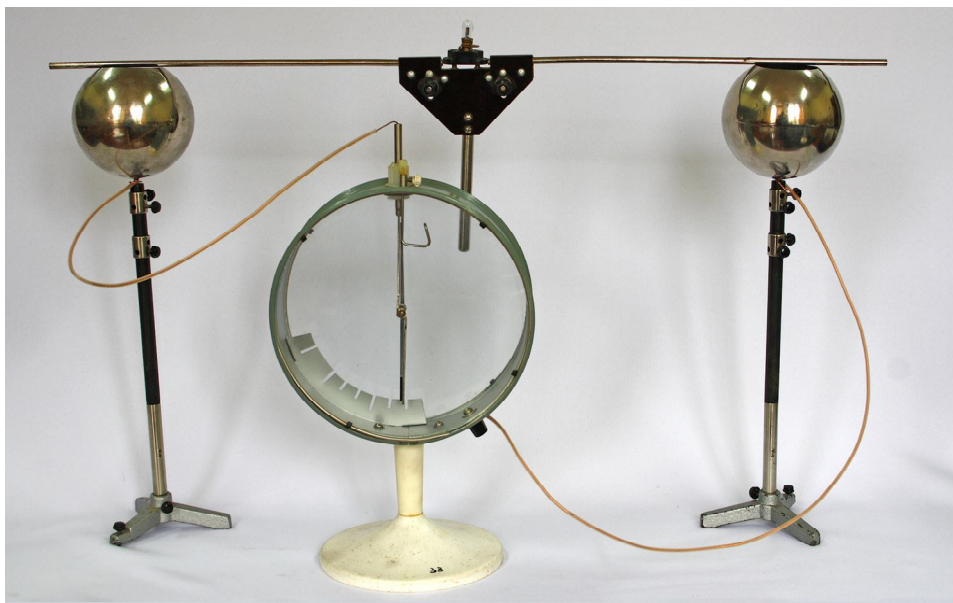


Рис. 3

2. Щоб отримати неперервний струм зберіть установку за рисунком 4 з високовольтним перетворювачем напруги "Розряд-1". Як індикатор струму в

цьому випадку використовується газорозрядна трубка. Увімкніть в мережу перетворювач «Розряд – 1» і покажіть за свіченням газорозрядної трубки виникнення в колі електричного струму.

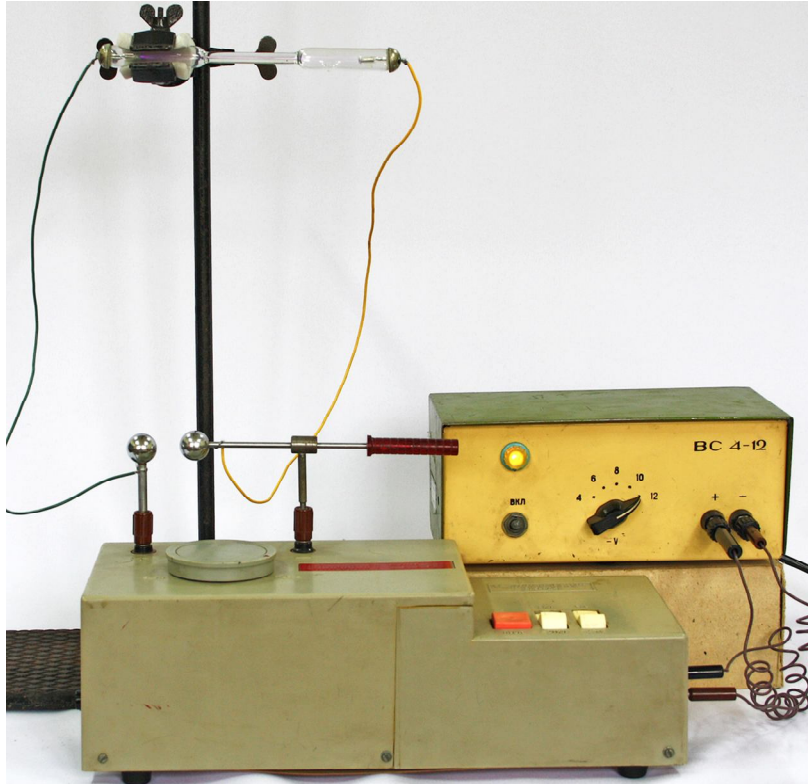


Рис. 4

### **Завдання 2. Демонстрація дій електричного струму.**

Це завдання вже виконувалось в першій частині курсу лабораторних робіт. Демонстрація дій електричного струму описана в першій частині посібника: теплової дії – завдання 7 з роботи № 5; хімічної і магнітної дії – завдання 5 і 4 роботи № 4.

Щоб відновити в пам'яті ці демонстрації, зверніться до відповідної частини посібника.

### **Завдання 3. Проілюструйте закон Ома для ділянки кола.**

Зберіть установку, принципова схема якої зображена на рис. 5, а зовнішній вид – на рис. 6. В схемі GB1 – випрямляч BC 4-12, R1 – реостат 30 Ом, 5 А, PA1 і PV1 – амперметр і вольтметр демонстраційні, R2 – магазин опорів. Оскільки демонстраційні амперметр і вольтметр будуть використовуватись для одержання кількісних результатів експерименту, то їх слід попередньо перевірити, підбравши необхідні шунт і додатковий опір. Як еталонний прилад можна

використати мультиметр. У випадку незадовільних результатів перевірки в якості PA1 і PV1 треба використати два мультиметра.

1. Покажіть, що при незмінному опорі ділянки кола сила струму прямо пропорційна напрузі на ділянці кола.

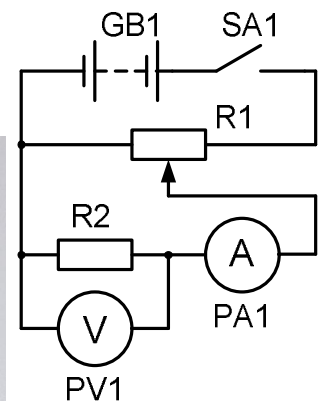


Рис. 5

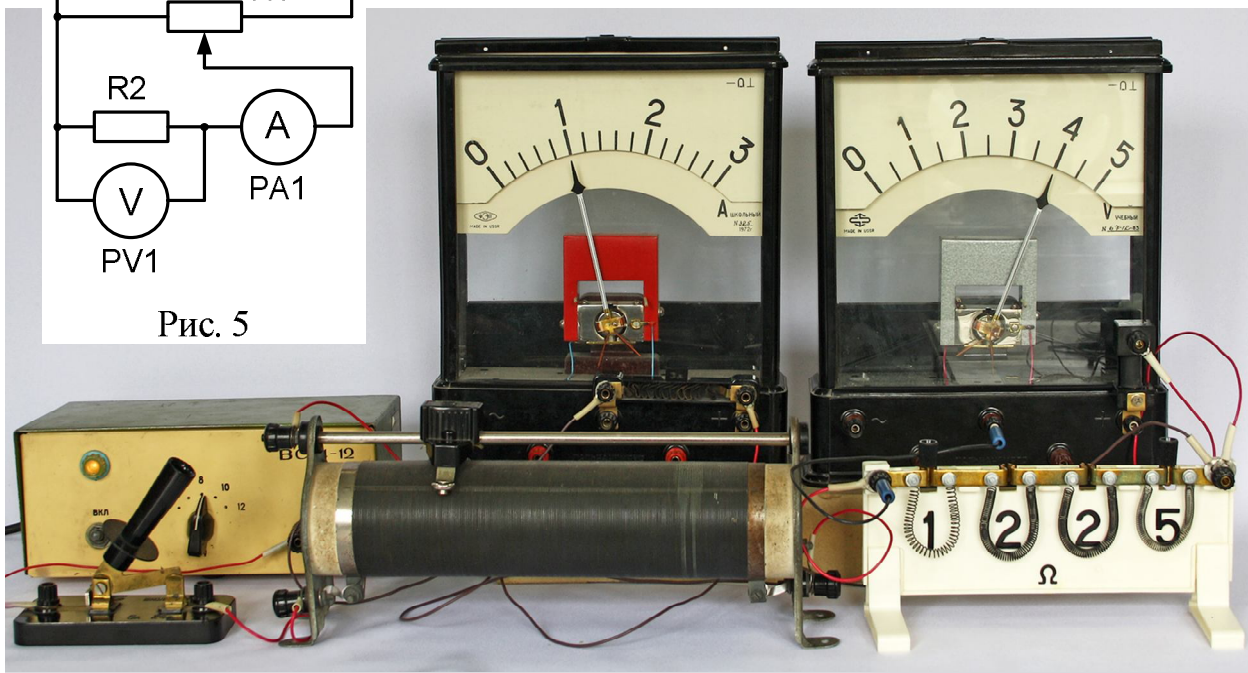


Рис. 6

Встановіть на магазині опорів опір 2 Ом. Після перевірки схеми викладачем увімкніть випрямляч, замкніть ключ SA1 і з допомогою потенціометра R1 встановіть на магазині опорів напругу 4 В. Амперметр при цьому повинен показувати струм 2 А. Зменшуйте напругу і слідкуйте за показами амперметра і вольтметра. Запишіть покази приладів, що відповідають значенням напруги 4 В, 3 В, 2 В, 1 В. Зробіть висновок.

В даній демонстрації зручніше замість BC 4-12 і потенціометра R1 використати випрямляч BC-24м (рис. 7). Напруга на ділянці кола змінюється регулятором вихідної напруги BC-24м.

2. Покажіть, що при незмінній напрузі сила струму обернено пропорційна опору ділянки кола.

В попередній установці встановіть опір магазину 4 Ом. З допомогою потенціометра R1 встановіть напругу на магазині 2 В. Амперметр при цьому покаже струм 0,5 А. Зменште опір магазину до 2 Ом і потенціометром встановіть ту ж напругу 2 В. Що показує амперметр? Зменште опір до 1 Ом і знову встановіть напругу 2 В. Зробіть висновок.

Чому при зменшенні опору напруга на магазині не залишається постійною?

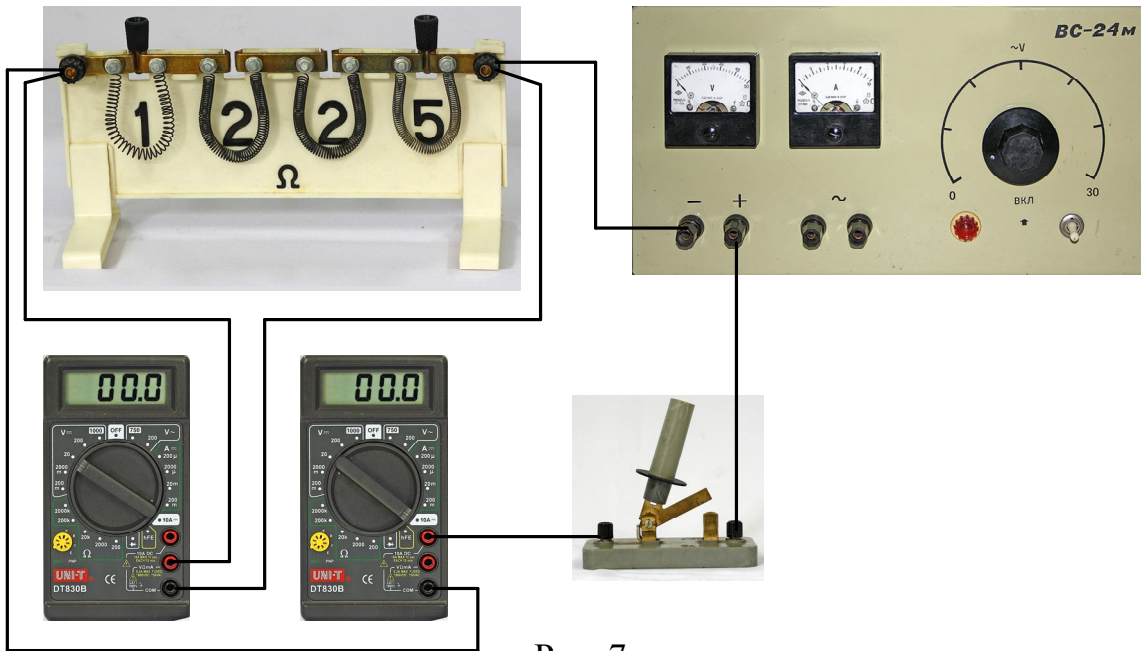


Рис. 7

2. Покажіть, що при незмінній напрузі сила струму обернено пропорційна опору ділянки кола.

В попередній установці встановіть опір магазину 4 Ом. З допомогою потенціометра R1 встановіть напругу на магазині 2 В. Амперметр при цьому покаже струм 0,5 А. Зменште опір магазину до 2 Ом і потенціометром встановіть ту ж напругу 2 В. Що показує амперметр? Зменште опір до 1 Ом і знову встановіть напругу 2 В. Зробіть висновок.

Чому при зменшенні опору напруга на магазині не залишається постійною?

**Завдання 4. Продемонструйте залежність опору металевих провідників від температури.**

Прилад для визначення термічного коефіцієнту опору міді з термометром закріпіть в штативі, опустіть в колбу з водою і поставте колбу на електроплитку як показано на рис. 8. Приєднайте до виводів мідного дроту мультиметр в режимі вимірювання опору (межа 200 Ом).

Запишіть початкову температуру мідного дроту і його опір при цій температурі. Увімкніть плитку і нагрівайте дріт. При збільшенні температури опір дроту зростає. Запишіть значення опору при декількох значеннях температури. За даними досліду побудуйте графік залежності опору міді від температури. Як за даними досліду визначити термічний коефіцієнт опору міді?



Рис. 8

### Завдання 5. Проілюструйте закон Ома для повного кола.

Це завдання виконується при наявності ванни з електродами – демонстраційного гальванічного елемента (рис. 1).

Налийте у ванну розчин сірчаної кислоти з двохромовокислим калієм. **Обережно! Попадання розчину кислоти на шкіру приводить до опіків.** Мідний і цинковий електроди перед початком досліду зачистіть наждачним папером, закріпіть їх в пластмасових тримачах і зберіть коло за рисунком 9.

Електрична схема кола зображена на рис. 10. PV1 – це вольтметр від мультиметра, межа вимірювання 20 В, PA1 – це амперметр від мультиметра, межа вимірювання 10 А. Використовуючи цю межу, можна реєструвати струм від 0,01 А. R1 – реостат з опором 20 Ом.

При підключенні вольтметра він зразу показує напругу близько 1 В (1,02 В). Переміщуючи електроди всередині елемента ближче один до одного, покажіть, що покази вольтметра не змінюються. Отже, 1,02 В – це деяка стала величина, яка характеризує дане джерело. Її називають електрорушійною силою джерела (ЕРС).

Замкніть вимикач і зареєструйте струм, що пішов по колу. Вольтметр тепер показує іншу, меншу величину – напругу. Не змінюючи зовнішнього опору, змініть положення пластин в електроліті: сила струму при цьому змінюється. Це пов'язане зі зміною внутрішнього опору елемента. Тепер змініть зовнішній опір і спостерігайте зміну напруги на затискачах джерела струму.

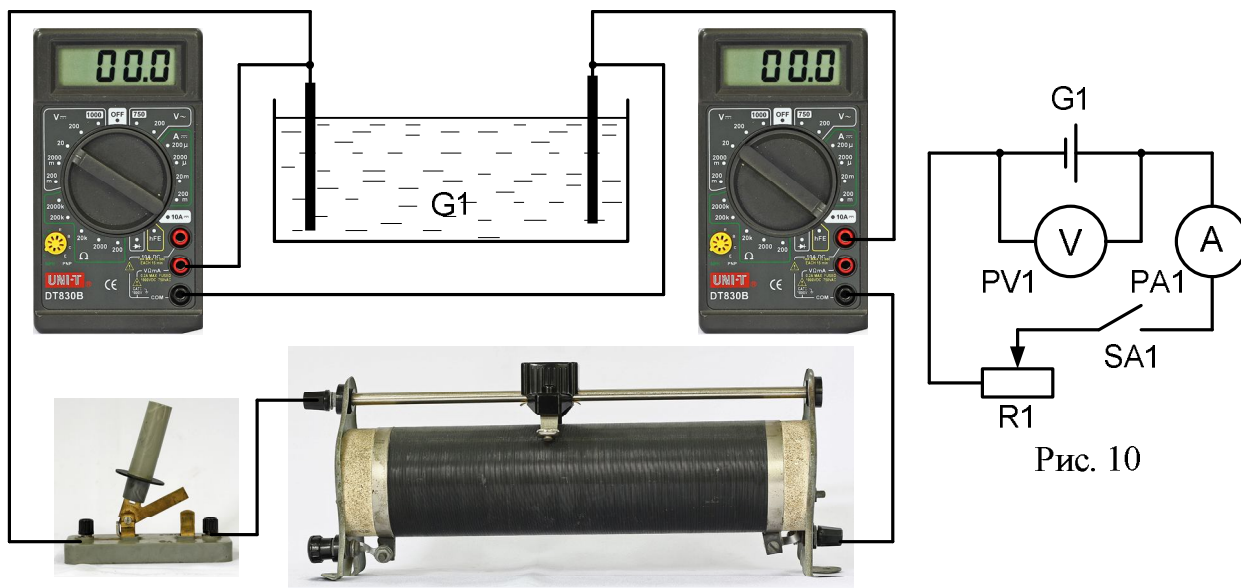


Рис. 9

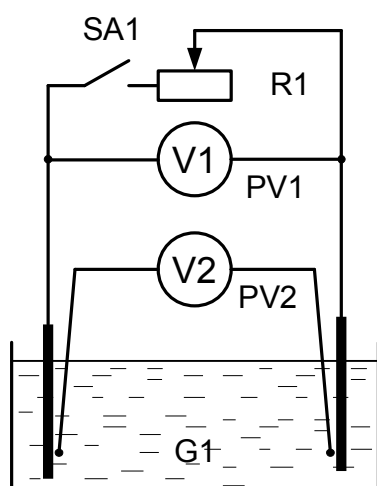


Рис. 11

Розташуйте у ванні дуже близько від електродів щупи. Обидва мультиметра в режимі вимірювання напруги постійного струму (межа 20 В) підключіть до затискачів за схемою рис. 11. Вольтметр PV2 буде вимірювати спад напруги на внутрішній ділянці кола. Замкніть вимикач і змініть опір реостату так, щоб напруга на зовнішній ділянці кола дорівнювала 0,9 В. Вольтметр PV2 повинен показати напругу, близьку до 0,12 В. Зменшуйте опір реостату і встановіть напругу 0,8 В, потім – 0,7 В, 0,6 В і 0,5 В. Кожного разу записуйте покази вольтметрів. Чи можна зробити висновок, що сума спадів напруги на зовнішній і на внутрішній ділянках кола є величина стала і рівна ЕРС джерела?

**Завдання 6. Продемонструйте залежність напруги на затискачах джерела струму від опору навантаження.**

Для даного завдання як джерело обов'язково повинна використовуватись батарея гальванічних елементів чи акумуляторів. Це зауваження стосується і лабораторної роботи по визначенню ЕРС і внутрішнього опору джерела струму, оскільки навчальні джерела живлення для лабораторних робіт на основі випрямлячів (типу ВУ-4) мають внутрішній опір, який залежить від струму навантаження.

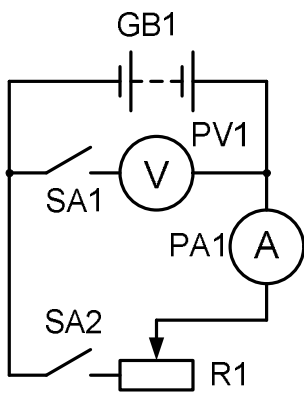


Рис. 12

Зберіть електричне коло за схемою рис. 12. GB1 – це батарея гальванічних елементів з ЕРС 3 – 4,5 В, R – реостат опором 100 Ом, PV1 – вольтметр від мультиметра (межа 20 В), PA1 – амперметр від мультиметра (межа 200 мА). Використання мультиметрів замість демонстраційних вольтметра і амперметра пояснюється необхідністю кількісної обробки даних експерименту.

Замкніть вимикач SA1 при розімкненому SA2 – вольтметр покаже ЕРС джерела. Запишіть значення ЕРС. Поставте повзунок реостата в середнє положення і замкніть вимикач SA2: покази вольтметра зменшились, тепер він показує падіння напруги на зовнішній частині кола.

Змінюючи з допомогою реостату опір навантаження, запишіть 4 – 5 значень сили струму і напруги. Слідкуйте за показами амперметра! Струм не повинен бути більшим, ніж 200 мА.

Дані вимірювань зручно оформити у вигляді таблиці. За даними таблиці побудуйте графік залежності напруги від сили струму в електричному колі. Графік матиме вид, подібний до рис. 13а.

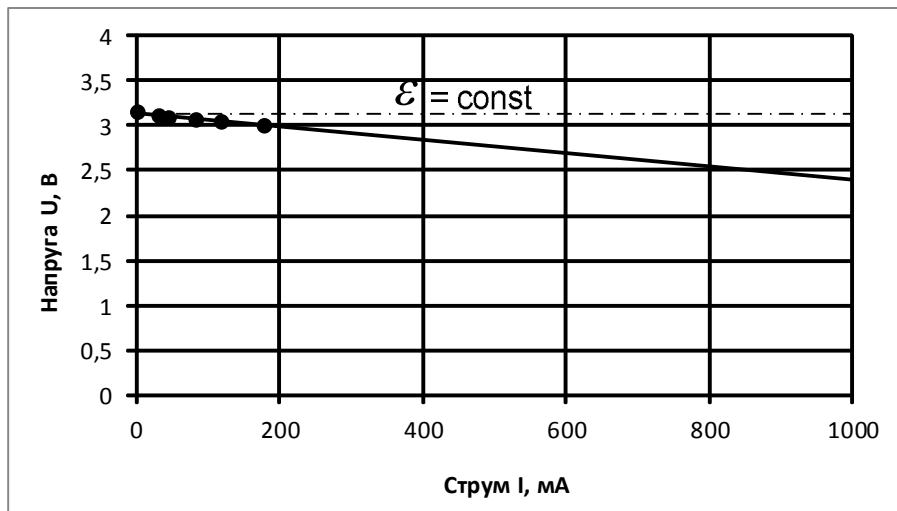


Рис. 13а

Для будь-якого значення струму ордината дає значення падіння напруги на зовнішній частині кола ( $U_{\text{зовн}}$ ), а відрізок від графіка до горизонтальної прямої  $\mathcal{E} = \text{const}$  показує падіння напруги на внутрішньому опорі ( $U_{\text{внутр}}$ ). Сума цих падінь напруги є величина стала:  $\mathcal{E} = U_{\text{зовн}} + U_{\text{внутр}}$ , або  $\mathcal{E} = IR + Ir$ .

Якщо продовжити графік до перетину з горизонтальною віссю струму, то точка перетину дасть значення струму короткого замикання (рис. 13б).

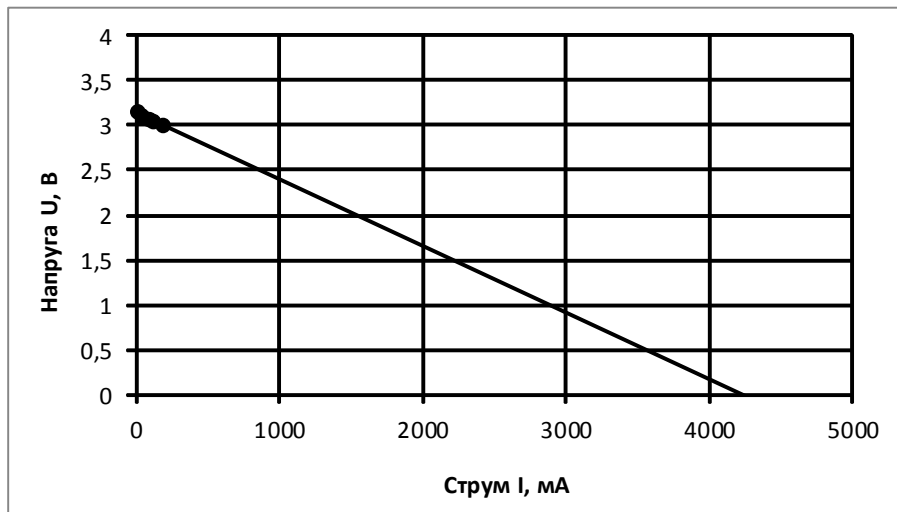


Рис. 136

### Контрольні запитання

1. Які умови існування струму?
2. Як продемонструвати дії електричного струму?
3. Сформулюйте закон Ома для ділянки кола. Як проілюструвати його дослідним шляхом?
4. Що називають електрорушійною силою джерела?
5. Сформулюйте закон Ома для повного кола. Які демонстрації ілюструють цей закон?
6. Що називають струмом короткого замикання?
7. Як за даними досліду завдання 4 визначити термічний коефіцієнт опору міді?
8. Як за графіком залежності напруги від сили струму в електричному колі (завдання 6) визначити ЕРС і струм короткого замикання?

## ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 5

### ЕЛЕКТРИЧНИЙ СТРУМ У СЕРЕДОВИЩАХ

**Мета роботи:** Виконати основні демонстрації, що ілюструють електричний струм у вакуумі, електролітах, газах та напівпровідниках.

**Прилади і матеріали:** Випрямлячі: ВУП-2, ВС 4 – 12, В-24 (або ВС-24), перетворювач високовольтний «Розряд», демонстраційний вакуумний діод (або тріод типу 6Н7С на панельці), демонстраційна електронно-променева трубка, демонстраційні амперметри, електрометр, розбірний



конденсатор, свічка, сірники, два ізолюючі штативи, освітлювач для тіньового проектування, скляна та ебонітова палички, столик на скляних ніжках, тонкий (0,1 – 0,2 мм) мідний дріт без ізоляції, набір для електролізу, лампа розжарення на 42 В на підставці, склянка з дистильованою водою, кухонна сіль, розчин мідного купоросу, терези з важками до 50 мг, секундомір, набір напівпровідникових приладів (навчальний), термометр лабораторний до 100°C, колба з водою, електроплитка, мультиметр, низьковольтна лампа на підставці, універсальні фізичні штативи, перемикачі двополюсний і однополюсний, з'єднувальні провідники.

### Теоретичні відомості

Тема «Електричний струм у різних середовищах» має важливе пізнавальне і політехнічне значення. Під час вивчення струму в електролітах учні знайомляться з явищем електролізу та його застосуванням. Розряд у газі використовується в різних технологічних процесах (дугове зварювання, електроіскрова обробка металу) та в приладах (люмінесцентні лампи, лічильники іонізуючих частинок, газові лазери). Без напівпровідникових приладів зараз взагалі неможливо уявити собі наше життя.

Струм у середовищах учні вивчають спочатку в основній школі в 9 класі (струм у металах, електролітах, напівпровідниках і в газах). В 11 класі за рівнем стандарту в темі «Електричне поле і струм» на вивчення струму в металах, рідинах газах і напівпровідниках може бути відведено лише 3 –4 години. Тому при вивченні фізики за рівнем стандарту можливості вчителя в плані використання демонстраційного експерименту вкрай обмежені. Як вихід можна рекомендувати використання екранних наочних посібників.

За профільним рівнем вивченню струму в середовищах надається достатня увага. На вивчення теми відводиться 22 години, розглядаються всі середовища, включаючи вакуум. В даній роботі ми орієнтуємося на викладання фізики за профільним рівнем, тому будуть проілюстровані всі середовища, хоч найбільша увага буде надана струму в напівпровідниках.

Для шкіл був випущений спеціальний навчальний набір напівпровідникових приладів, призначений для демонстрації основних властивостей напівпровідників. Набір складається з шести приладів, закріплених на окремих панелях з універсальними контактними затискачами (рис. 1).

В набір входить: терморезистор, фоторезистор, фотоелемент, діоди, транзистор, термоелемент. Панель має скобу для кріплення приладу на штанзі універсального фізичного штатива. Додаткове обладнання для демонстрацій вказане в описі демонстрацій.

В разі відсутності такого набору, його можна укомплектувати з окремих напівпровідникових приладів.

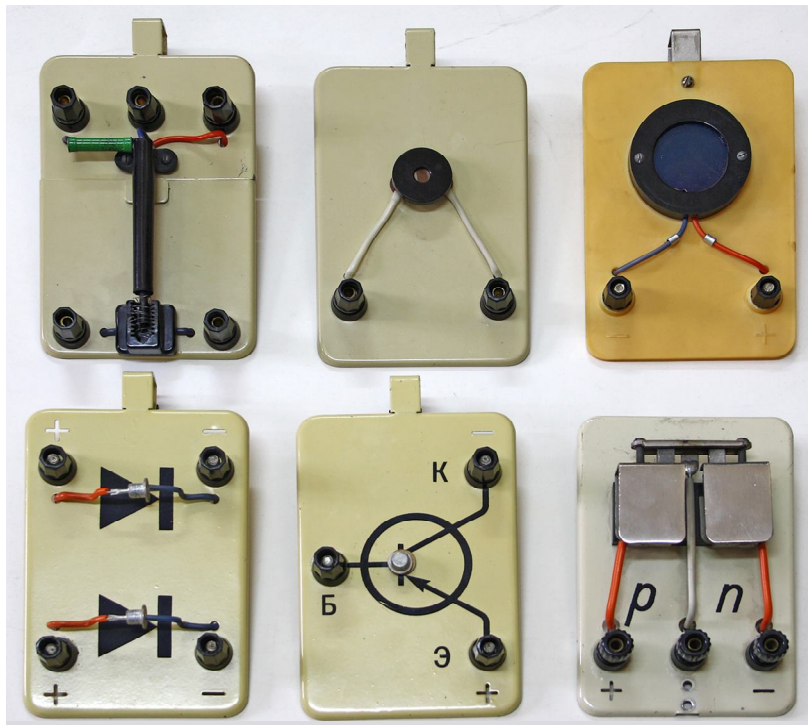


Рис. 1

Деякі демонстрації, що відносяться до теми «Струм у різних середовищах», описані в попередніх частинах посібника. Повторювати їх опис ми не будемо, а зробимо посилання на відповідну лабораторну роботу.

### Хід роботи.

**Завдання 1. Демонстрація залежності опору металевих провідників від температури.**

Ця демонстрація описана в попередній роботі № 4 даної частини посібника (див. завдання 4).

**Завдання 2. Продемонструйте явище термоелектронної емісії та односторонню провідність вакуумного діоду.**

Для живлення кіл вакуумної електронної лампи використовується випрямляч ВУП-2. Демонстраційний діод або триод увімкнений діодом (рис. 2) приєднайте до випрямляча згідно зі схемою рис. 3. В якості міліамперметра використайте мультиметр на межі вимірювання 20 мА постійного струму.

При відсутності демонстраційного вакуумного діоду можна використати триоди 6Н7С, 6Н8С (октальні) або 6Н1П, 6Н3П (пальчикові), з'єднавши паралельно їх аноди і катоди. Нитки розжарення цих ламп розраховані на напругу



Рис. 2

6,3 В, допустима напруга на аноді 250 В, струм аноду 7 – 9 мА. На рис. 3 зображені також схема приєднання лампи 6Н7С до випрямляча та схеми ламп 6Н8С і 6Н1П. Деякі з цих ламп можуть бути в фізичному кабінеті вже змонтовані на вертикальній панелі (рис. 4).

Регулятор вихідної напруги 0 – 250 ВУП-2 поставте на нуль, перемикач SA1 переведіть в положення 1, при якому анод буде приєднаний до позитивного полюса джерела струму. Увімкніть ВУП-2 і замкніть вимикач SA2. Нитка розжарення електронної лампи VL1 повинна засвітитись. Збільшуйте напругу на аноді регулятором ВУП-2 і одержіть струм 5 – 7 мА. Розімкніть вимикач SA2 – анодний струм зменшується до нуля, нитка розжарення не світиться. Знову замкніть SA2 – нитка розжарення починає світитись і з'являється анодний струм. Переведіть перемикач SA1 в положення 2 (при цьому анод приєднується до негативного полюса джерела струму) – анодний струм зникає. Цими дослідженнями ілюструється термоелектронна емісія і одностороння провідність діода.

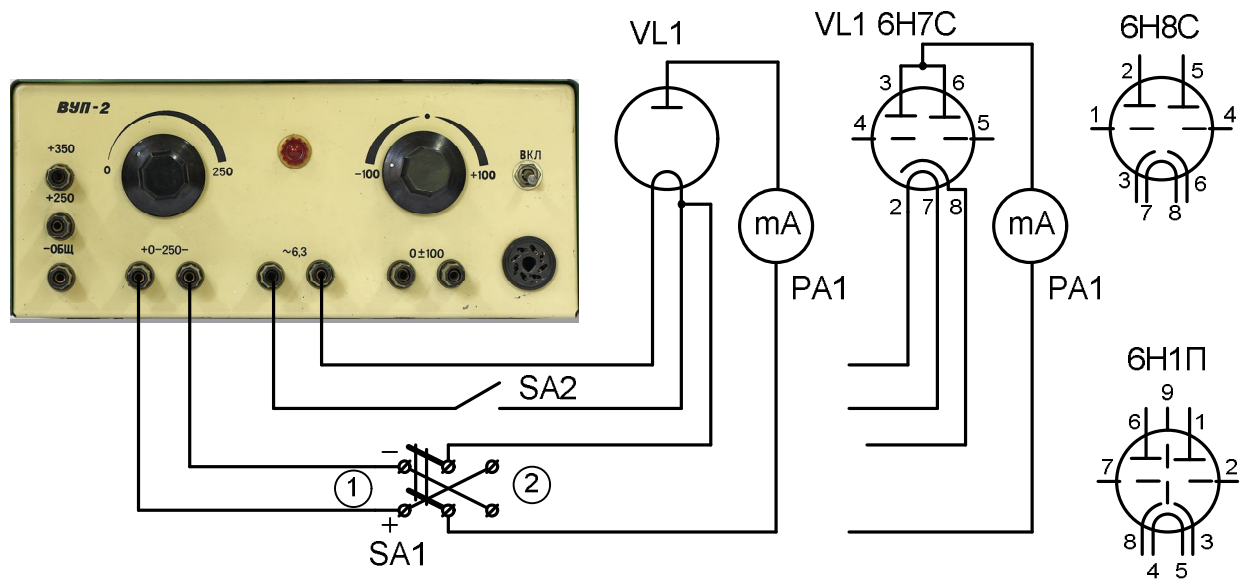


Рис. 3

### Завдання 3. Поясніть будову та принцип дії електронно-променевої трубки.

Використовуючи демонстраційну електронно-променеву трубку (рис. 5), поясніть її будову та принцип дії.

Електронно-променева трубка дозволяє одержати вузький сфокусований пучок електронів, яким можна керувати. Демонстраційна електронно-променева

трубка має електростатичне керування електронним пучком.



Рис. 4

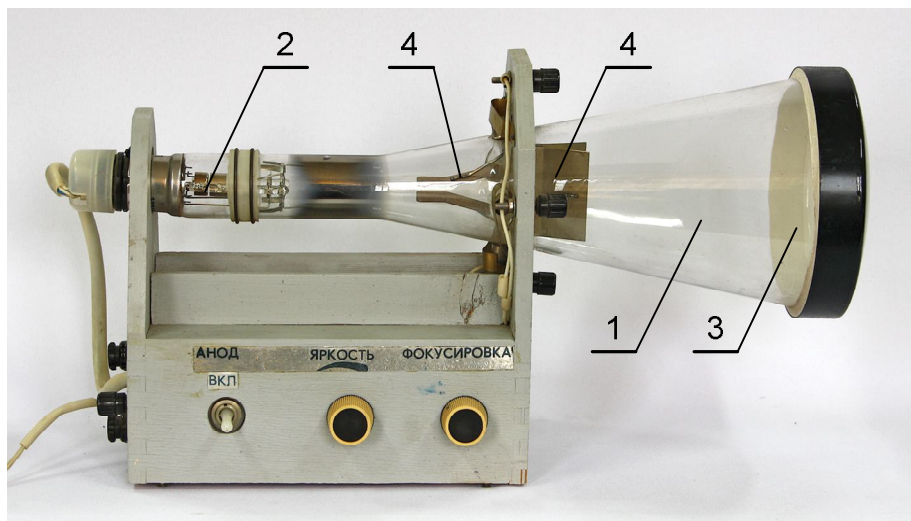


Рис. 5

У вузькій частині скляної колби 1, в якій створено високий вакуум, розташована електронно-оптична система 2 (електронна гармата), в якій створюється вузький електронний пучок. Електронний пучок направляється на флуоресціюючий екран 3 в широкій частині колби. Екран становить собою тонкий шар люмінофору, нанесеного на внутрішню поверхню колби. Як люмінофор використовують ортосилікат цинку (свічення зеленого кольору) або сульфід цинку (свічення білого кольору).

На шляху до екрану електронний пучок проходить між двома парами взаємно перпендикулярних пластин 4. Якщо на пластини подати різницю потенціалів, то електронний пучок відхилиться в сторону позитивно зарядженої пластини.

Зміну яскравості свічення плями на екрані, фокусування, переміщення плями зручно показувати вже на осцилографі. Також на осцилографі можна показати відхилення електронного променя в магнітному полі постійного магніту.

#### **Завдання 4. Продемонструйте несамостійний розряд у повітрі.**

Зберіть установку за рис. 6. Відстань між пластинами розбірного конденсатора повинна бути приблизно 10 см. Зарядіть електрометр і покажіть, що заряд з часом практично не змінюється. Запаліть свічку і розташуйте її так, щоб полум'я перебувало між пластинами конденсатора. Спостерігайте швидкий розряд електрометра. В продуктах горіння утворюється значна кількість іонів, які викликають електропровідність повітря.

Приєднайте пластини конденсатора до перетворювача напруги «Розряд-1», до клем живлення перетворювача приєднайте випрямляч ВС 4-12, свічку на підставці розташуйте, як і в попередній демонстрації (рис. 7).



Рис. 6

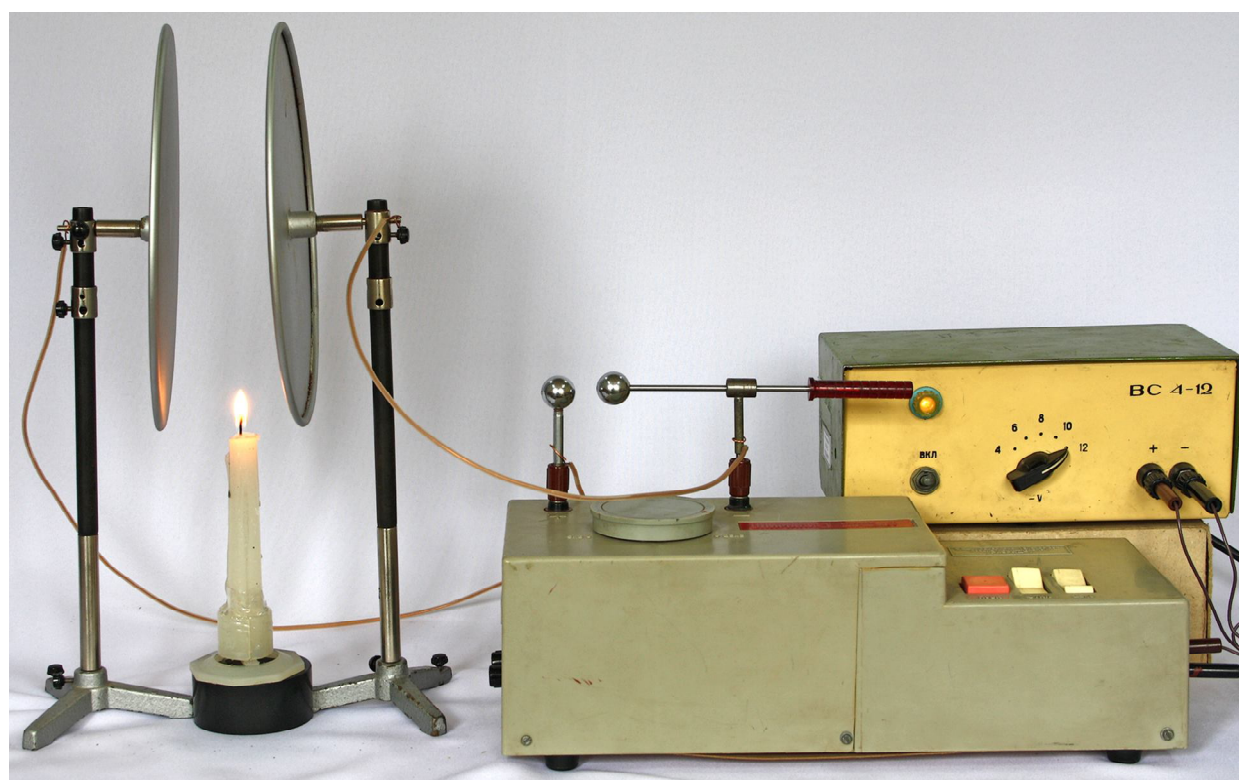


Рис. 7

Освітлювач для тіньового проектування поставте таким чином, щоб на екрані було видно частину пластин зі свічкою між ними. При подачі напруги на пластини можна спостерігати, як полум'я і гарячі потоки газів розщеплюються на дві частини в напрямку до електродів. Це свідчить про те, що в полум'ї з'являються частинки з позитивним і негативним зарядом. При невеликій відстані між пластинами можливий навіть пробій повітряного проміжку в зоні розташування полум'я (рис. 8).



Рис. 8

### **Завдання 5. Продемонструйте види газового розряду.**

Окремі демонстрації з цього завдання вже були описані в попередніх частинах посібника. В першій частині посібника описано демонстрацію іскрового розряду в повітрі з допомогою високовольтного індуктора ИВ-50 (робота № 4, завдання 8) та дугового розряду (робота № 5, завдання 5 і 6). В роботі № 4 третьою частини описано тліючий розряд в спектральній трубці (завдання 1). Іскровий розряд можна продемонструвати також з допомогою електрофорної машини або високовольтного перетворювача напруги «Розряд-1».

Для демонстрації коронного розряду зберіть установку за рис. 9. Між ізолюючими штативами, розташованими на відстані приблизно 40 см один від одного, натягніть дві мідні дротини без ізоляції діаметром 0,1 – 0,2 мм. Приєднайте дроти до перетворювача напруги: один – безпосередньо до одного з полюсів, другий – через гальванометр від амперметра, розташований на ізолюючому столику.

Приєднайте до клем живлення перетворювача випрямляч (ВС 4-12 чи ВС-24м) і поступово збільшуйте напругу випрямляча. В деякий момент гальванометр починає реєструвати струм, причому, зі збільшенням напруги збільшується і струм. В затемненому класі видно свічення навколо дротів – коронний розряд.

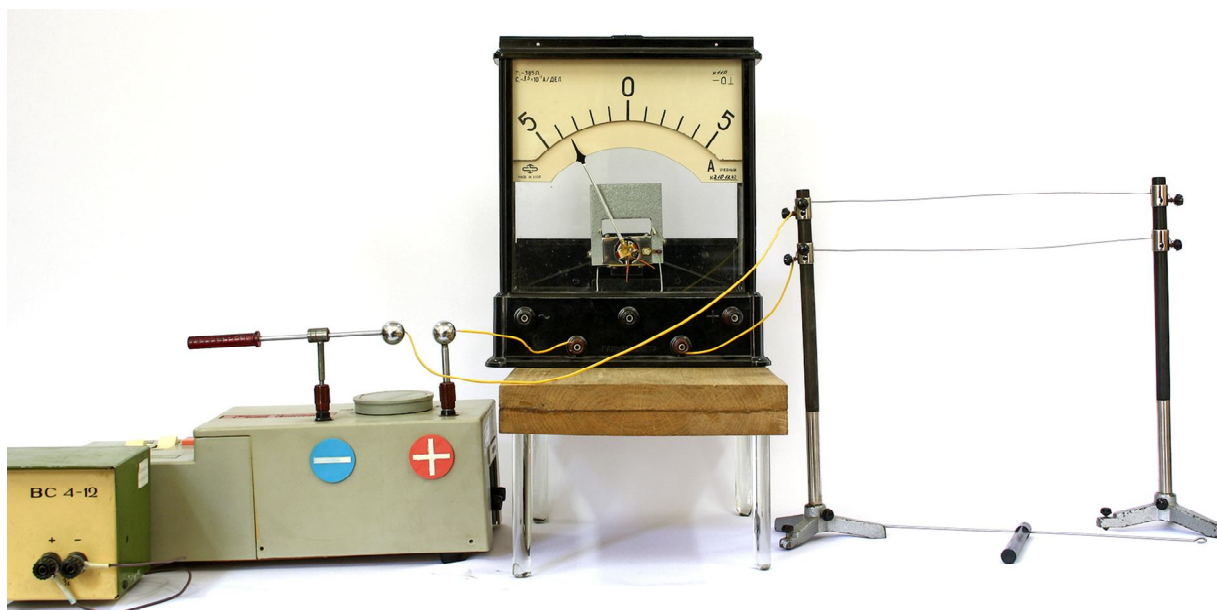


Рис. 9

**Завдання 6. Продемонструйте електропровідність розчину солі.**

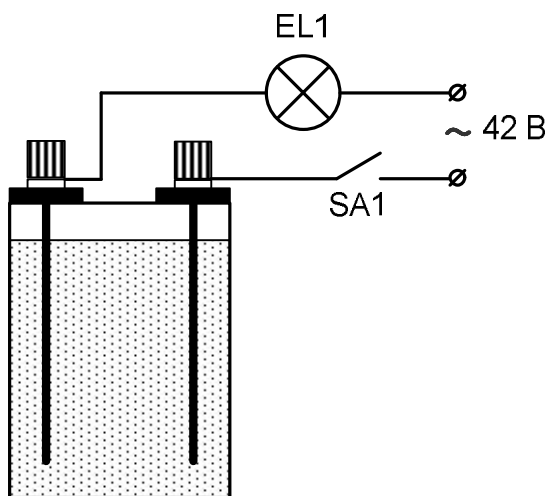


Рис. 10

Зберіть установку, схема якої зображена на рис. 10. EL1 – це лампа розжарення, розрахована на напругу 42 В. В склянку з набору для електролізу налейте дистильованої води (можна також використати чисту прокип'ячену і охолоджену воду) і опустіть в неї мідні пластини з набору. Напругу 42 В можна отримати від щита живлення комплекту КЭФ-10 або від РНШ. Замкніть ключ SA1: лампочка не світиться. Щоб переконатися в справності кола, з'єднайте провідником зі щупами клема, до яких приєднані пластини: лампочка повинна яскраво засвітитися.

Насипте трохи кухонної солі у воду: лампочка починає світитись. Збільшення кількості солі приводить до збільшення яскравості свічення лампочки. Закінчивши демонстрацію, вилийте розчин солі і промийте мідні пластини.

**Завдання 7. Проілюструйте закон Фарадея для електролізу.**

Зберіть установку, схема якої зображена на рис. 11, але мідні пластини з набору, приєднані до клем, **не опускайте** в склянку. В склянку налейте розчин мідного купоросу.

Визначте, який з електродів є катодом, позначте його, висушіть з допомогою електроплитки і зважте катод на терезах з похибкою не більше 25 мг.

Поставте регулятор вихідної напруги випрямляча на нуль. Опустіть електроди в розчин, увімкніть ВС-24м і замкніть ключ SA1. Регулятором вихідної напруги випрямляча встановіть струм 0,5 – 1 А і увімкніть секундомір. Пропускайте струм, постійно його контролюючи: встановлене значення не повинно змінюватись. Через 20 – 30 хвилин одночасно вимкніть секундомір і розімкніть ключ SA1. Запишіть силу струму і час пропускання.

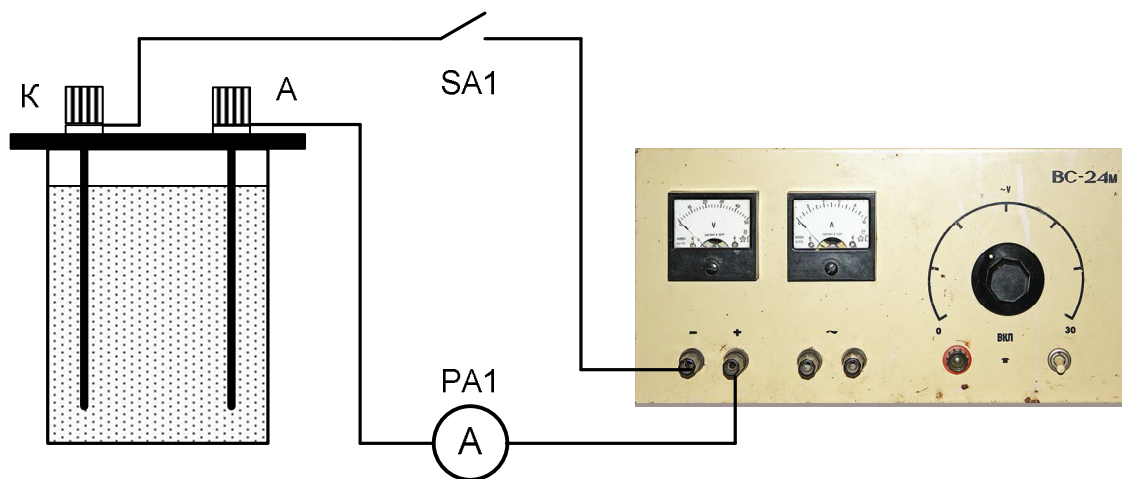


Рис. 11

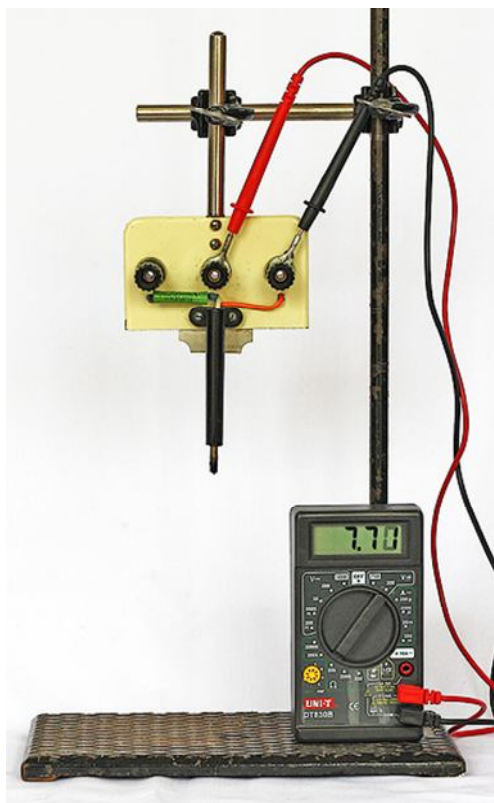


Рис. 12

Від'єднайте катод, обережно промийте і висушіть його: спочатку промокніть серветкою, потім висушіть на плитці. Плитка не повинна бути дуже нагрітою. Знову зважте катод і знайдіть масу міді, яка виділилась при електролізі. Обчисліть електрохімічний еквівалент міді, порівняйте з табличним значенням, зробіть висновок.

### **Завдання 8. Продемонструйте залежність опору напівпровідників від температури.**

Перед цією демонстрацією в класі корисно повторити демонстрацію залежності опору металевих провідників від температури, яка описана в роботі № 4 (див. завдання 4).

Прилад, в якому використовується залежність опору напівпровідників від температури, називають термістором. Зберіть



установку, зображену на рис. 12. Термістор закріплено в нижній частині вертикальної трубки, через яку пропущені провідники. При кімнатній температурі його опір близько 8 кОм. Нагрійте термістор рукою: опір зменшиться. Нагрівати термістор можна різними способами: опустити в колбу з теплою водою (рис. 13), використати спеціальний нагрівник з дроту, приєднавши його до випрямляча ВС 4-12 (рис. 14). Термістор, увімкнений в будь-яке електричне коло, при пропусканні через нього струму теж нагрівається, опір його при цьому зменшується. Властивість термістора зменшувати опір при нагріванні використовують для вимірювання температури та в різних схемах теплових реле.

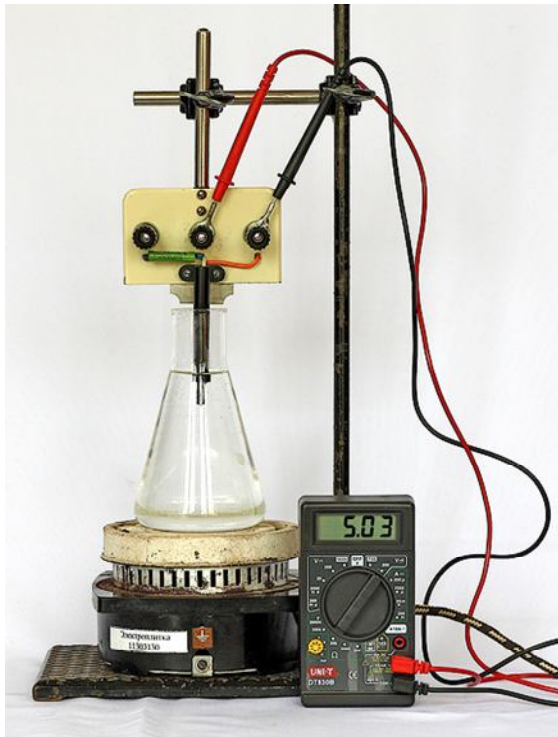


Рис. 13

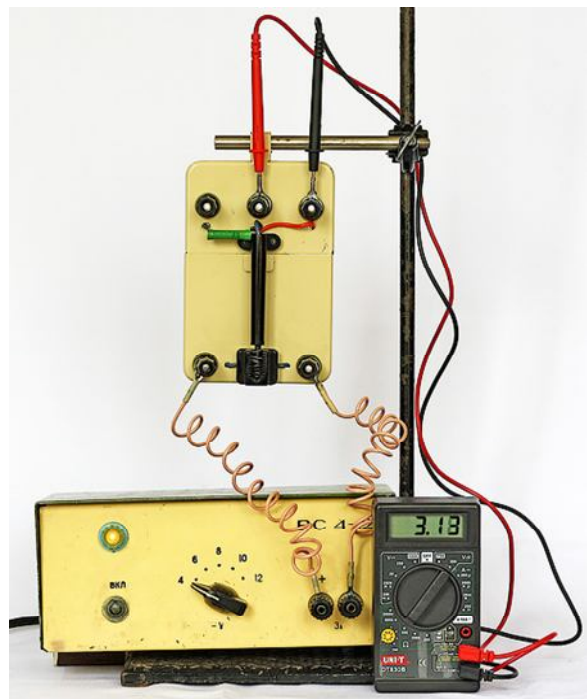


Рис. 14

### Завдання 9. Зберіть термореле і продемонструйте його роботу.

Зберіть установку за схемою рис. 15. K1 – це поляризоване реле РП-7 або аналогічне. R1 – це реостат, опір якого треба підбирати під конкретне реле (1 – 30 кОм). Значно полегшує підбір використання магазину опорів Р-33.

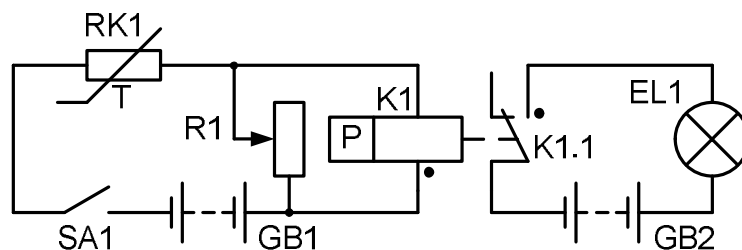


Рис. 15

Лампа EL1 приєднується до нормально відкритих контактів реле (НО). При замиканні ключа SA1 при кімнатній температурі реле не повинно спрацьовувати. Якщо це не так, то переміщуйте ковзний контакт реостату R1 до тих пір, поки реле не розімкне нормально відкриті контакти. При нагріванні термістора реле повинно спрацювати і увімкнути лампу. Реостатом можна регулювати температуру, при якій буде спрацьовувати реле.

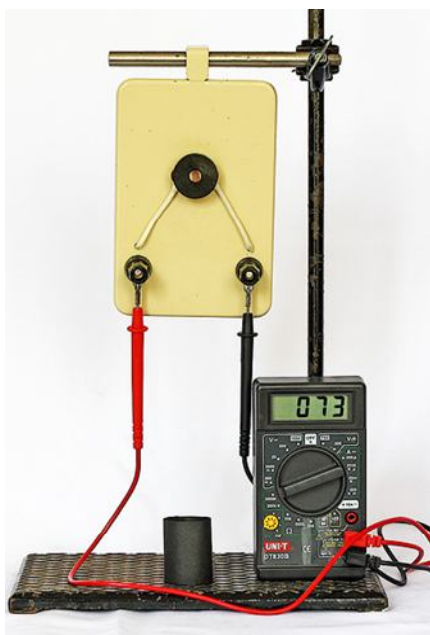


Рис. 16

**Завдання 10. Продемонструйте залежність опору напівпровідників від освітленості.**

Прилад, в якому використовується залежність опору напівпровідників від освітленості, називають фоторезистором. Приєднайте фоторезистор з набору напівпровідникових приладів до мультиметра (рис. 16). Переведіть мультиметр в режим вимірювання опору (межа 2000 кОм). Темновий опір фоторезистора ФСК-1 більше, ніж  $10^7$  Ом, тому при затемненні мультиметр буде показувати опір, більший граничного. При освітленні опір фоторезистора зменшується до десятків і одиниць кОм. Ця властивість фоторезисторів використовується в різноманітних фотореле.

**Завдання 11. Зберіть найпростіше фотореле і продемонструйте його роботу.**

Схема фотореле майже повторює схему термореле, тільки замість термістора в колі обмотки поляризованого реле увімкнено фоторезистор ФСК-1 (рис. 17).

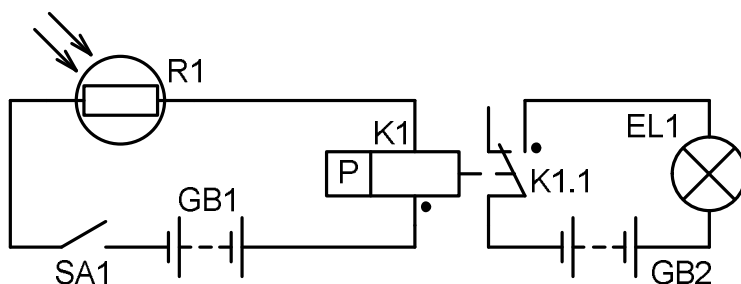


Рис. 17

Щоб на фоторезистор не попадало стороннє світло, надіньте на нього циліндр з чорного паперу. Направте на фоторезистор світло від стороннього джерела, наприклад, від ліхтарика. Фотореле спрацює і увімкне лампу.

Періодично перекриваючи пучок світла рукою, покажіть швидкість реагування реле на появу світла. Зовнішній вид установки зображено на рис 18. Позитивний полюс джерела струму слід приєднувати до лівого контакту обмотки поляризованого реле.

Якщо приєднати лампу EL1 до нормально закритих контактів реле, то при освітленні фоторезистора лампа буде гаснути.

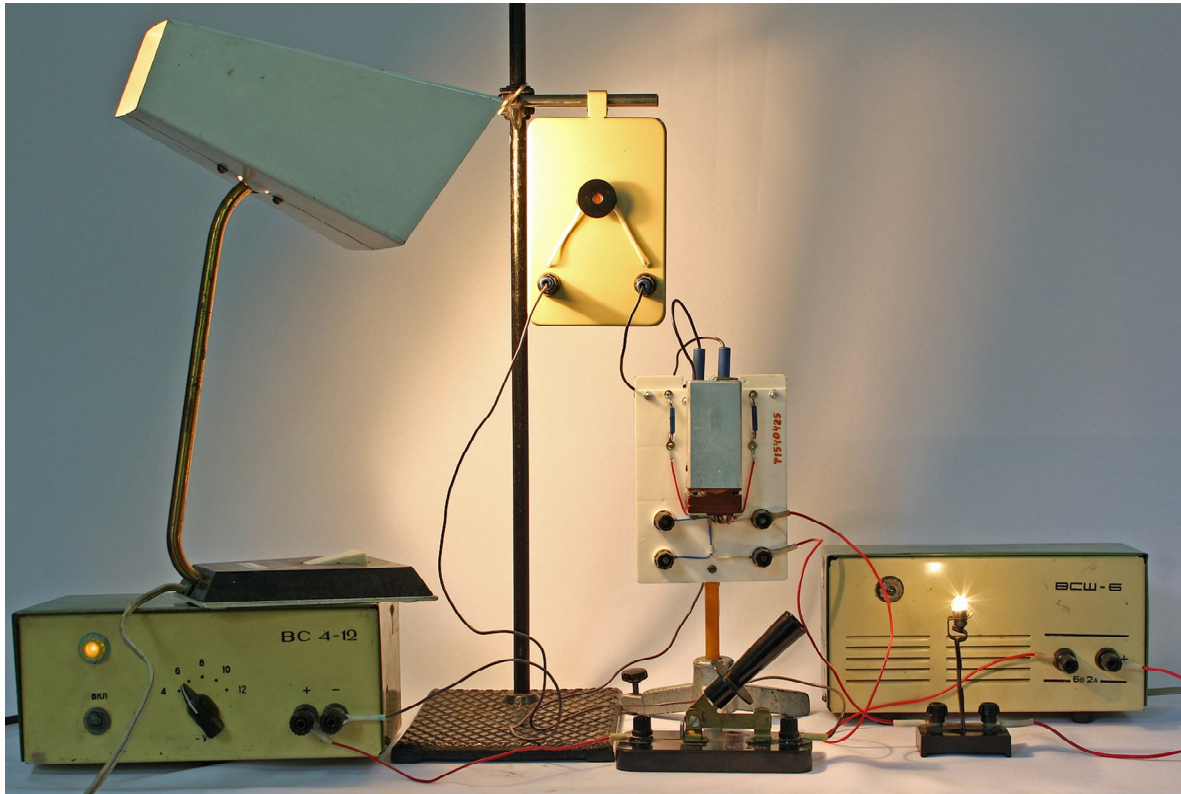


Рис. 18

### **Завдання 12. Продемонструйте дію напівпровідникового фотоелемента.**

Приєднайте фотоелемент до гальванометра від демонстраційного амперметра (рис. 19). При денному світлі гальванометр реєструє слабкий струм. Освітіть фотоелемент електричною лампою і спостерігайте, як при наближенні лампи струм гальванометра збільшується. Прикрийте фотоелемент непрозорим екраном (можна просто рукою) – струм практично припиняється. Отже, фотоелемент – це джерело струму, в якому енергія світла перетворюється безпосередньо в електричну.

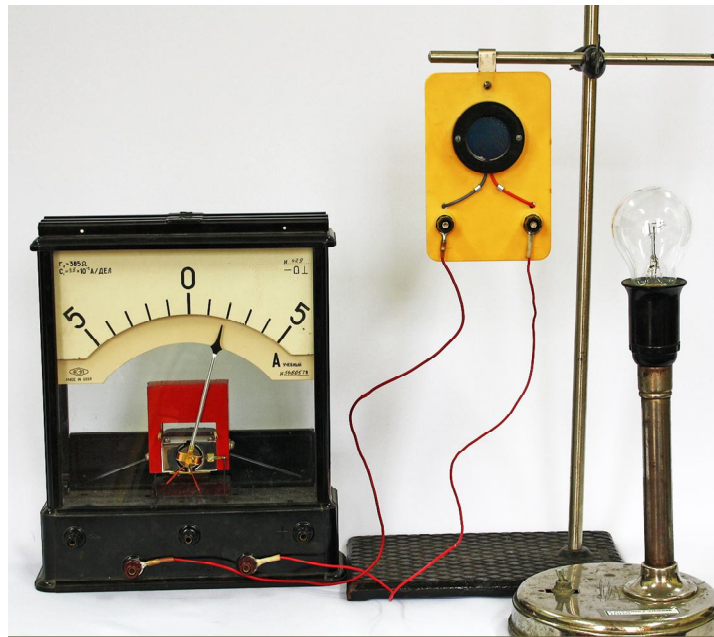


Рис. 19

### Завдання 13. Демонстрація односторонньої провідності напівпровідникового діода.

Ця демонстрація описана в роботі № 4 першої частини посібника (див. завдання 1).

### Завдання 14. Покажіть підсилення постійного струму транзистором.

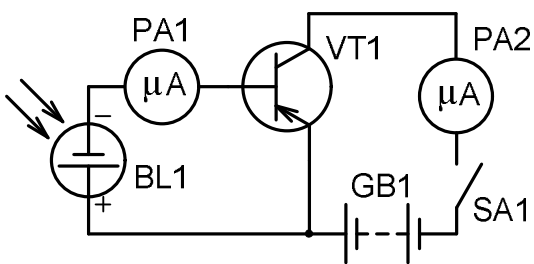


Рис. 20

Для цього досліду транзистор вмикають за схемою зі спільним емітером. Зберіть коло за схемою рис. 20. Між емітером і базою транзистора увімкніть фотоелемент: «плюс» на емітер, «мінус» через гальванометр від амперметра на базу. Другий гальванометр від амперметра увімкніть послідовно з джерелом, ЕРС якого 3 – 4 В.

Монтажну схему установки зображено на рис. 21. Увімкніть освітлювальну лампу і наближайте її до фотоелемента. Гальванометр в колі емітера реєструє незначний струм, в той час як стрілка гальванометра в колі колектора відхиляється майже на всю шкалу.

Отже, колекторний струм транзистора управляється струмом бази і пропорційно залежить від нього. Зміна струму в колі колектора в десятки разів перевищує зміну струму в колі бази. Відношення зміни струму колектора до зміни

струму бази при сталій напрузі на колекторі – це коефіцієнт підсилення транзистора за струмом в схемі зі спільним емітером.

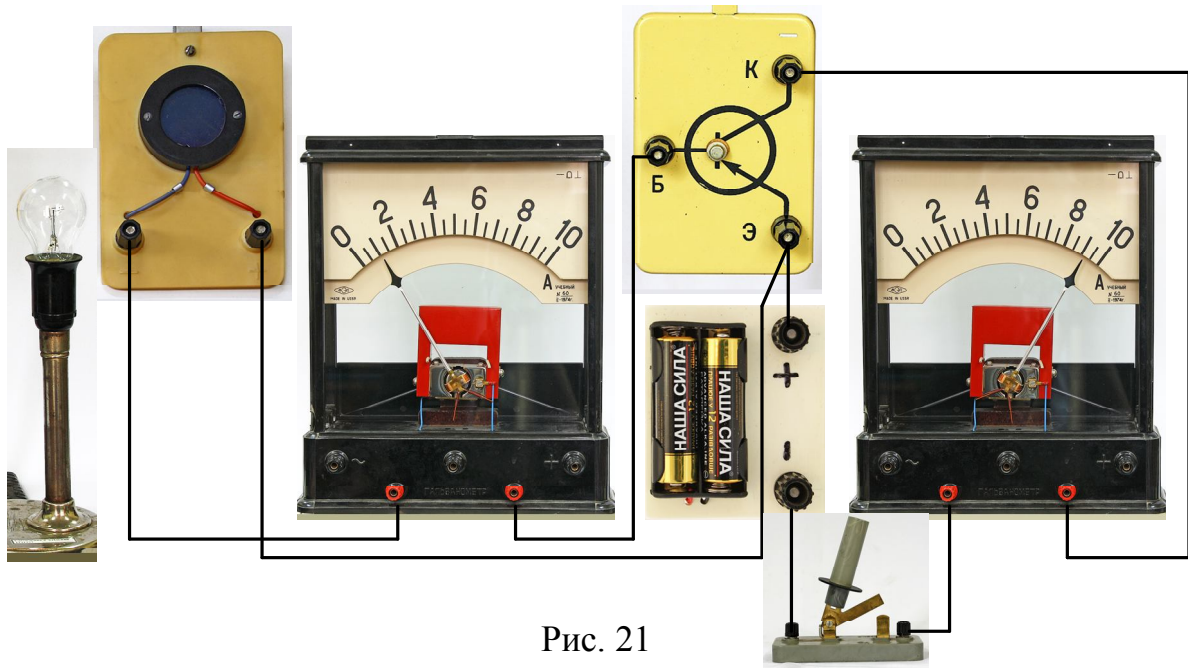


Рис. 21

### Контрольні запитання

1. Назвіть види електронної емісії. В яких приладах вони використовуються?
2. Опишіть види розрядів у газах і способи їх одержання.
3. Поясніть виникнення коронного розряду.
4. Сформулюйте закони Фарадея для електролізу. Назвіть галузі використання електролізу.
5. Як використати термістор для вимірювання температури?
6. Поясніть принцип роботи термо та фотореле.
7. Чому в досліді з фотоелементом рекомендується використовувати гальванометр від амперметра, а не від вольтметра?

## Частина 4. ДЕМОНСТРАЦІЇ З ТЕМ «ЕЛЕКТРОМАГНЕТИЗМ» ТА «ХВИЛЬОВА І КВАНТОВА ОПТИКА»

### ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 1

#### МАГНІТНЕ ПОЛЕ

**Мета роботи:** Навчитись виконувати демонстрації, що ілюструють основні властивості магнітного поля.

**Прилади і матеріали:** Штабові і підковоподібний магніти, випрямлячі ВС-24 м, ВС 4-12, вольтметр демонстраційний, котушка дросельна або від універсального трансформатора, котушка для демонстрації магнітного поля струму, прилади для спостереження спектрів магнітних полів, прилад «Виток в магнітному полі», прилад для демонстрації правила Ленца, магнітна стрілка, мідний дріт, штативи, з'єднувальні провідники, цупкий папір, залізні ошурки в коробочці – ситечку, діод на підставці, дві лампочки на 3,5 В 0,28 А на підставках, неонові лампочки на підставці з обмежуючим резистором 300 Ом, реостат опором 50 – 100 Ом, ключ однополюсний, ключ двополюсний подвійний, дві стрічки з алюмінієвої фольги з наконечниками, саморобний прилад «Провідник в магнітному полі» («гойдалка»).

#### Теоретичні відомості

Значна кількість демонстрацій з даної теми виконується на саморобних приладах і установках. Детальний опис їх буде зроблено в ході описання тієї чи іншої демонстрації.

Багато дослідів вимагають використання значних постійних струмів (до 8 А), у зв'язку з чим рекомендується використовувати випрямляч ВС-24м (В 24). Цей випрямляч дає змогу контролювати силу струму, тому його використанню слід віддати перевагу. Може бути використаний також електророзподільний щит або автотрансформатор РНШ з випрямлячою приставкою на діодах (рис. 1).

Випрямляч можна доповнити електrolітичним конденсатором для зменшення пульсацій випрямленого струму. При використанні такого випрямляча силу струму доведеться контролювати окремим амперметром. Оскільки лабораторного амперметра на струм до 10 А в шкільному кабінеті може не бути, то можна рекомендувати послідовно з випрямлячем включити опір 0,1 Ом потужністю 5 – 10 Вт і на ньому вимірювати напругу мультиметром. Покази мультиметра 1 В відповідатимуть силі струму 10 А. Ці доповнення показані теж на рис. 1.

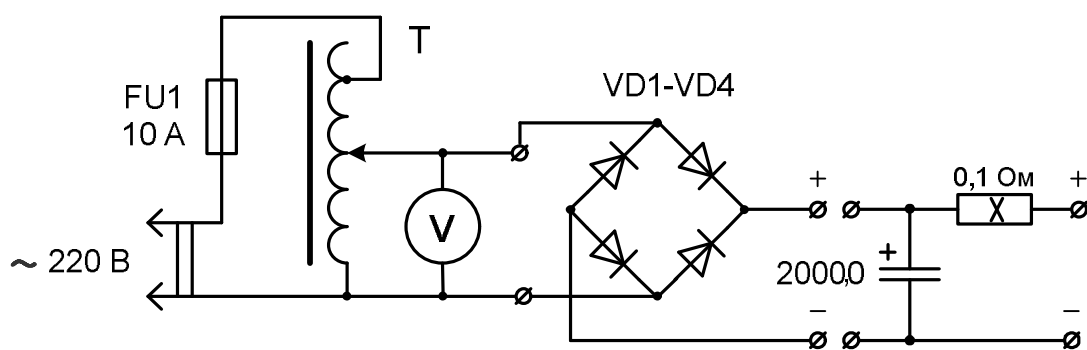


Рис. 1

При наявності в кабінеті фізики комплекту КЕФ-10 можна також використати випрямлячі ВУ-4, з'єднавши два – три випрямлячі паралельно. В режимі короткого замикання кожен такий випрямляч забезпечить струм близько 3 А.

В опису кожної демонстрації буде вказане значення струму, необхідне для одержання належного ефекту.

### Хід роботи.

#### Завдання 1. Продемонструйте дослід Ерстеда.

Складіть установку, зображену на рис. 2. Дріт, натягнутий між штативами, повинен бути орієнтований в напрямку північ – південь. Якщо цей напрямок значно відрізняється від розташування демонстраційного столу (магнітна стрілка встановлюється майже перпендикулярно до столу), то з допомогою додаткових магнітів її слід зорієнтувати вздовж столу.

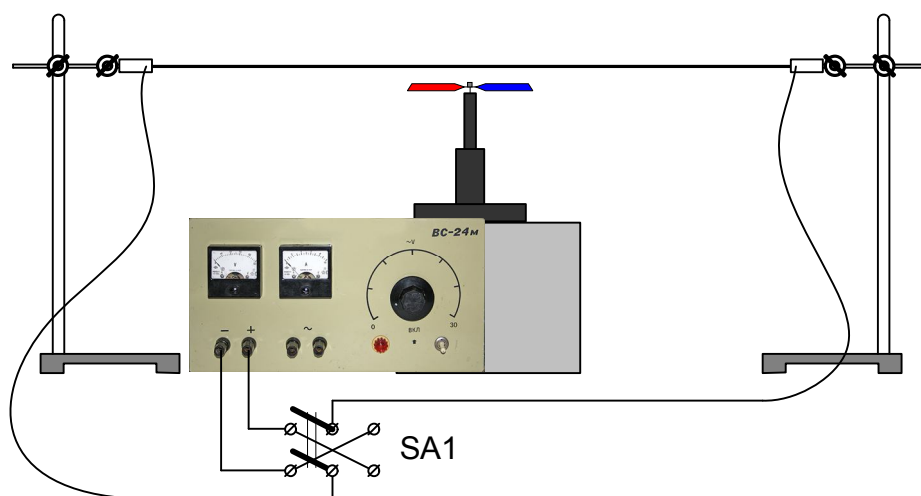


Рис. 2.

Двополюсний перемикач SA1 дасть можливість швидко змінити напрям струму в провіднику. При його відсутності використайте однополюсний ключ, але тепер для зміни напрямку струму доведеться поміняти місцями провідники, які йдуть до випрямляча.

Регулятор вихідної напруги випрямляча ВС-24м встановіть на нуль, замкніть ключ, увімкніть ВС-24м і збільшуйте вихідну напругу, слідкуючи за показами амперметра на випрямлячі. Залиште регулятор в положенні, коли амперметр показує струм 4 – 5 А. Розімкніть ключ. Підбір струму бажано здійснити заздалегідь, до початку уроку, на якому буде виконуватись ця демонстрація.

Після того, як стрілка встановилась нерухомо, натягніть дріт між штативами паралельно стрілці. Стрілку розташуйте якомога ближче до дроту спочатку знизу. Замкніть ключ. Стрілка відхиляється, намагаючись розташуватись перпендикулярно до дроту.

Розімкніть ключ. З допомогою підставок розташуйте стрілку вище дроту. Замкніть ключ, з'єднавши ті ж контакти, що і в попередньому випадку. Стрілка відхиляється в протилежну сторону. Перекиньте ключ в протилежну сторону: стрілка розвертається на  $180^\circ$ .

Рекомендується замалювати положення стрілки і дроту зі струмом, розташувавши на малюнку дріт перпендикулярно площині малюнка.

## **Завдання 2. Взаємодія двох паралельних струмів.**

Для цієї демонстрації необхідно виготовити гнучкі й легкі провідники, здатні витримати значний струм. Автори [2] рекомендують з цією метою скористатись алюмінієвою фольгою, з якої виготовляють паперові конденсатори. На наш погляд, більш доступніша харчова алюмінієва фольга, яку продають в господарчих крамницях у вигляді рулонів шириною 28 см. Технологія виготовлення стрічок з такої фольги наступна.

Від рулону відріжте 50 см фольги і закріпіть її на листі картону. Відмотайте від рулончика скотчу шириною 1,5 см стрічку довжиною 56 см і приклейте її до фольги. Кінці стрічки повинні бути також приклеєні до картону. Таких стрічок треба наклеїти дві – три на відстані приблизно 2 – 3 см одна від одної. Гострим скальпелем або ножом з допомогою лінійки зробіть надрізи фольги паралельно краю стрічки скотча так, щоб утворилася смужка фольги шириною 1,5 см. Ніж повинен бути дуже гострим, інакше фольга буде рватися. Обріжте скотч поруч з краєм смужки фольги. На кінцях смужок закріпіть наконечники, які використовуються для виготовлення з'єднувальних провідників. Одержите смужку,



Рис. 3



подібну до зображеної на рис. 3. Така смужка здатна витримати короточасний струм до 8 А.

Закріпіть смужки фольги на пристосуваннях, закріплених в штативі (див. рис. 4). Смужки не слід натягувати. З'єднати їх з джерелом струму потрібно з допомогою двополюсного перемикача з перемичками так, як зображено на рис. 5.

Таке підключення забезпечить послідовне з'єднання провідників при зміні напрямку струму в них: як у випадку проходження струму в різні сторони, так і у випадку проходження струму в одну сторону провідники будуть з'єднані послідовно. Положення 1 перемикача відповідає струмам, направленим в різні сторони, положення 2 – в одну сторону.

Легенько згинаючи провідники, наблизьте їх один до одного на відстань 0,5 – 1 см. Переведіть перемикач в положення 1 і встановіть струм 5 – 8 А. Смужки відштовхуються. Переведіть перемикач в нейтральне положення (виключіть струм) – смужки повертаються в попереднє положення. Переведіть перемикач в положення 2 – смужки притягуються одна до одної.

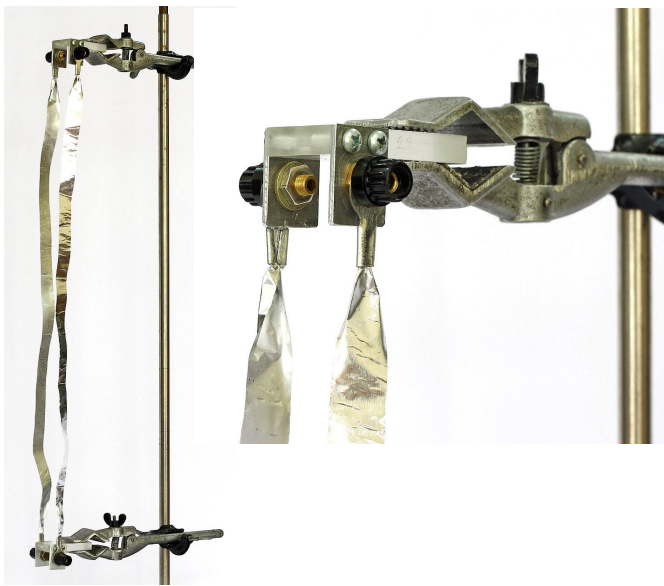


Рис. 4

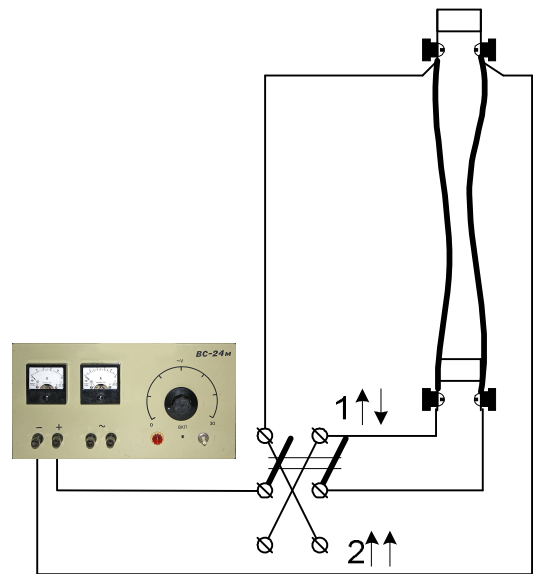


Рис. 5

### Завдання 3. Спостереження спектрів магнітних полів.

1). Дослідіть магнітне поле колового струму.

Котушку для спостереження магнітного поля струму підключіть до ВС-24м з допомогою двополюсного перемикача з перемичками (рис. 6). Підберіть положення регулятора напруги випрямляча таким, щоб струм у витку дорівнював 0,2 – 0,3 А. Розімкніть ключ.



Рис. 6

Магнітну стрілку на підставці розташуйте навпроти геометричного центру витка. Сам виток розташуйте так, щоб його площина була паралельна магнітній стрілці, тобто була в площині магнітного меридіану. Замкніть коло. Стрілка відхиляється на деякий кут відносно площини витка. Регулятором напруги збільшуйте струм до 1 А (струм у витку не повинен перевищувати 1,5 А!). Стрілка намагається розташуватись перпендикулярно до площини витка. Переведіть двополюсний перемикач в друге положення. Струм при цьому змінить напрям на протилежний і стрілка повернеться на кут  $180^\circ$ .



Рис. 7

Закріпіть на котушці столик (рис. 7). Маленькі магнітні стрілки розташуйте на столику так, як зображено на рисунку. Замкніть ключ і проаналізуйте положення стрілок. Замалуйте в зошит картину силових ліній магнітного поля колового струму.

2). Одержіть спектри магнітних полів прямого провідника, колового струму та соленоїда.

Прилади для демонстрації спектрів магнітних полів прямого провідника, колового струму і соленоїда можуть виготовлятися з товстого мідного

дроту діаметром близько 3 мм (рис. 8). Для одержання спектрів з їх допомогою необхідно використовувати джерело, здатне забезпечити струм біля 20 А.



Рис. 8

В зв'язку з цим більш зручними є моделі, виготовлені з дротяного мотка, який складається з 16 витків емальованого мідного дроту діаметром 0,5 мм. З цього мотка виготовлені контури у вигляді кільця, соленоїду чи прямого дроту, розташованого перпендикулярно до площини панелі. Частина мотка, що замикає коло, захована під пластинку, а початок і кінець дроту виведені на клеми (рис. 9). Сила струму в таких моделях не перевищує 2А.

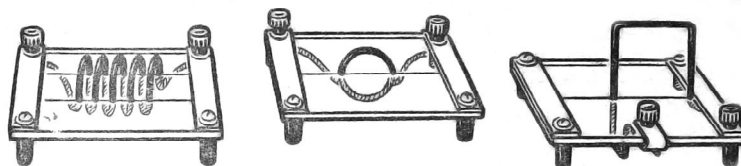


Рис. 9

Для одержання спектрів магнітних полів використовуються дрібні залізні ошурки. Їх потрібно насипати в коробочку, в кришці якої зроблено багато маленьких отворів (коробочка-сито).

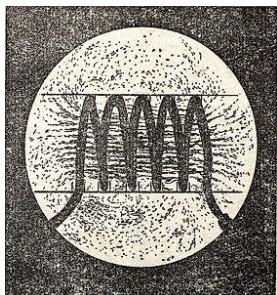


Рис. 10

Підключіть модель для демонстрації спектрів до джерела струму через вимикач. Не вмикаючи струм, насипте невелику кількість ошурок на столик моделі. Увімкніть струм і злегка постукайте по столику олівцем. Ошурки переміщуються, утворюючи чітку картину ліній магнітної індукції (рис. 10). Попробуйте насипати ошурки при включеному струмі. Який зі способів кращий? Закінчивши демонстрацію, пересипте ошурки на аркуш паперу, а потім у коробочку.

3). Одержіть спектри магнітних полів прямого та підковоподібного магнітів.

Завдання аналогічне попередньому. Магніт, спектр поля якого буде одержуватись, покладіть на стіл, а зверху на магніт покладіть аркуш цупкого

паперу. Ошурки насипайте на аркуш. Зверніть увагу на полюси магніту (там розташовано найбільше ошурок) та нейтральну лінію. Якщо є можливість, сфотографуйте одержані картинки.

#### **Завдання 4. Продемонструйте дію магнітного поля на струм.**

Для виконання цієї демонстрації теж потрібен простий саморобний прилад. До стержня з ізолюючого матеріалу прикріпіть два м'яких провідники довжиною приблизно 50 см. Знизу до кінців провідників приєднайте стержень довжиною 10 см з мідного дроту діаметром 2 – 3 мм (мідний дріт найкраще припаяти до гнучких провідників). Стержень з ізолюючого матеріалу закріпіть в штативі. З'єднайте гнучкі провідники з випрямлячем ВС-24м з допомогою двополюсного перемикача як показано на рисунку. Горизонтально розташований стержень помістіть в магнітне поле підковоподібного магніту. На рис. 11 як підковоподібний магніт використано осердя від універсального трансформатора з потужними керамічними магнітами.

Регулятор напруги випрямляча поставте на нуль, замкніть ключ і поступово збільшуйте силу струму до 5 – 6 А. Провідник буде рухатись в ту чи іншу сторону в залежності від напрямку струму в ньому і від напрямку індукції магнітного поля. З допомогою двополюсного перемикача змініть напрям струму – зміниться і напрям руху провідника. Перевірте правило лівої руки.

Праворуч від описаного рисунка зображено ще один варіант подібної установки. При підготовці даної установки до демонстрації бажано місця контакту «гойдалки» зі стійками змастити графітелом м'якого графітового олівця.

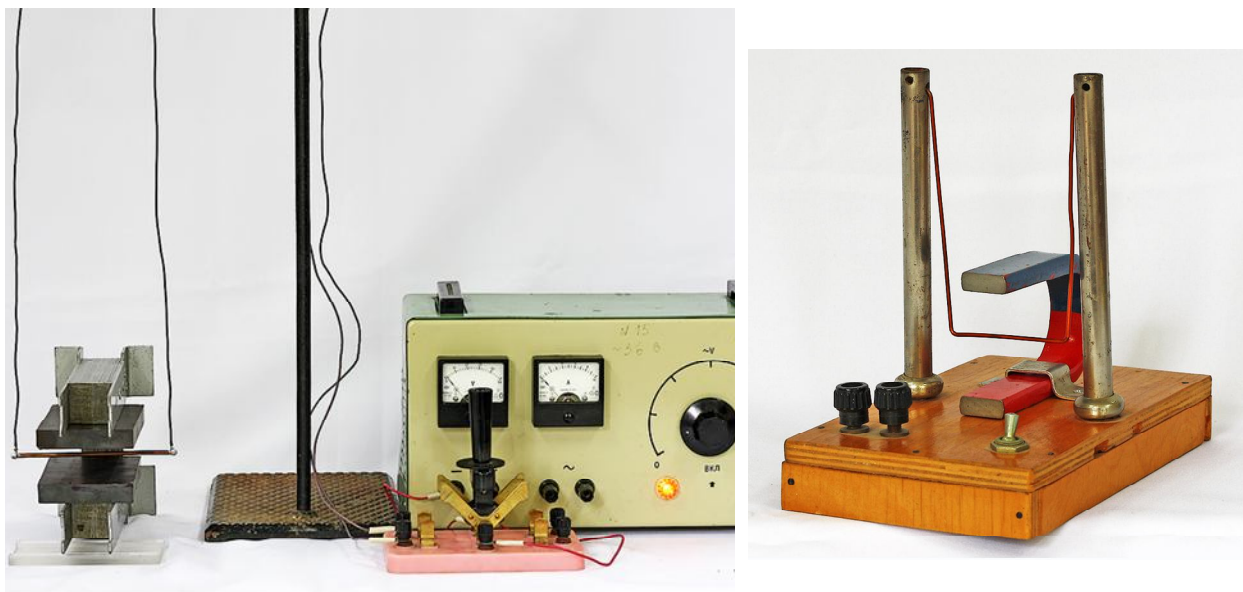


Рис. 11

Дану демонстрацію можна використати як експериментальну задачу по визначенню індукції магнітного поля підковоподібного магніту. Опишіть цю задачу.

**Завдання 5. Продемонструйте взаємодію магнітних полів двох котушок зі струмом.**

Рамку від приладу «Виток в магнітному полі» закріпіть на штативі з допомогою гнучких дротів, до яких вона приєднана. Поруч з рамкою розташуйте виток – котушку для спостереження магнітного поля струму (без столика, рис. 12).

Підключіть котушки до джерела струму за схемою рис. 13 (аналогічною схемі досліду в завданні 2). Замкніть коло – котушки будуть притягуватись одна до одної, або відштовхуватись, в залежності від напрямку струму в кожній котушці. Зарисуйте в зошит різні варіанти взаємодії, вказавши напрям струму в котушках. Зробіть висновок.

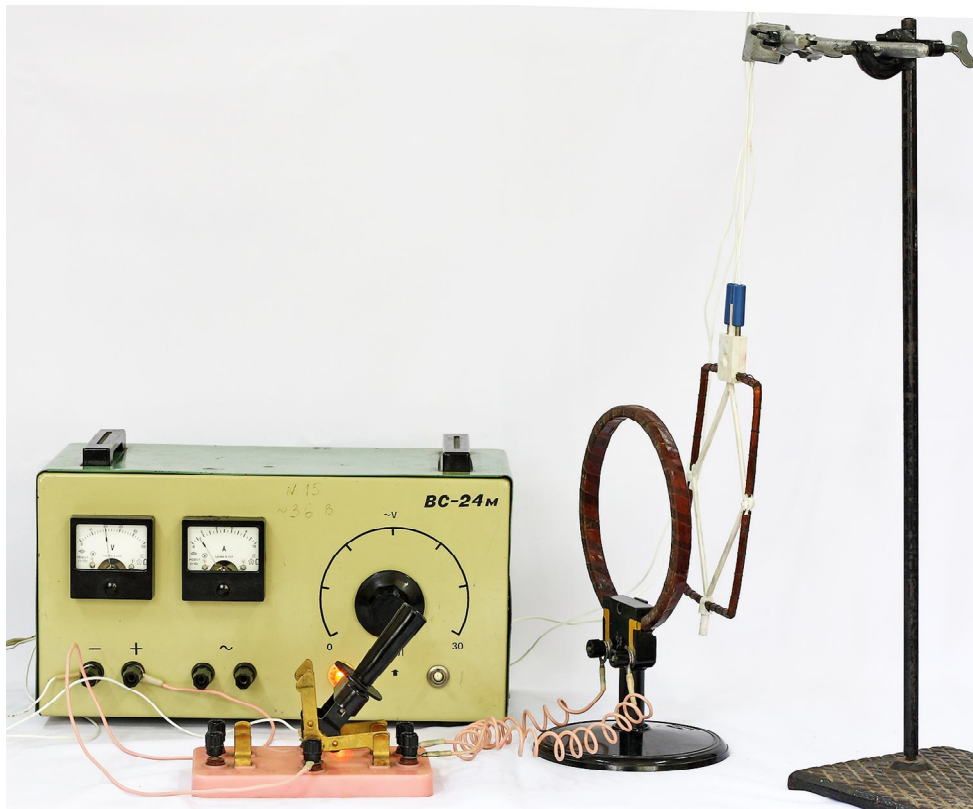


Рис. 12

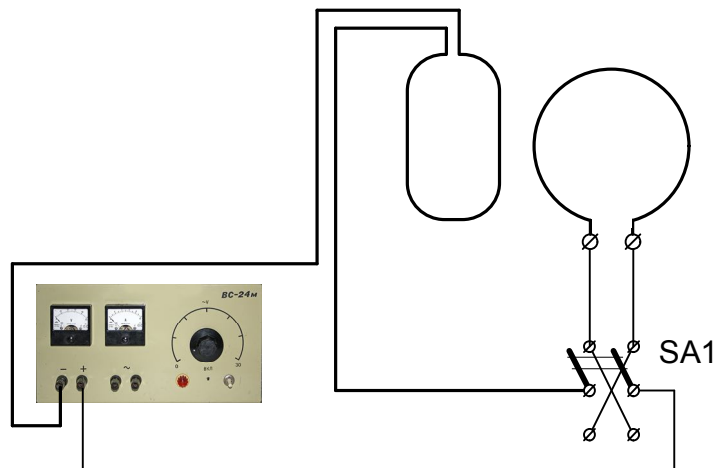


Рис. 13

**Завдання 6. Продемонструйте поворот рамки зі струмом в магнітному полі.**

До рамки приладу «Виток в магнітному полі» приєднайте через перемикач з перемичками джерело струму. В основу рамки повинна бути вставлена насадка – колектор з двома кільцями. Перевірте, чи надійний контакт між пружинними щітками і кільцями. Перед початком демонстрації бажано поверхню колектора і місця контакту щіток зачистити дрібнозернистим наждачним папером і протерти чистою ганчіркою.

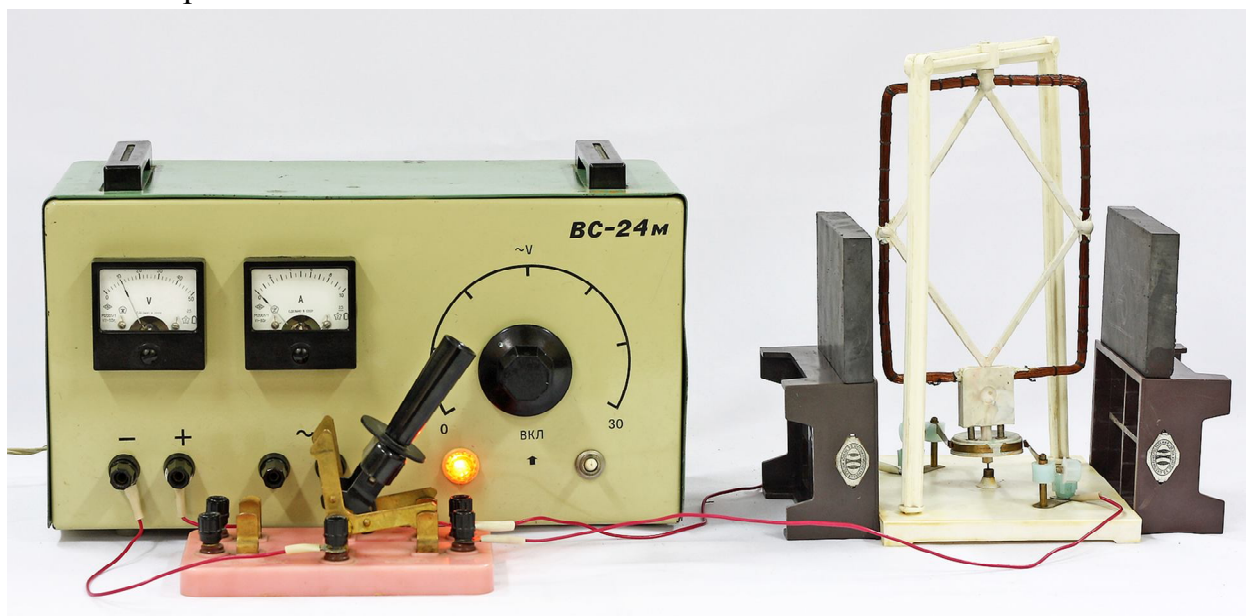


Рис. 14

Поруч з рамкою якомога ближче до неї розташуйте постійні магніти. Гарний результат дає використання потужних керамічних магнітів (див. рис 14). Бічні поверхні магнітів бажано помітити буквами N і S або наклеїти на них сині і

червоні прямокутники кольорового паперу. При замиканні кола (сила струму у витку повинна бути близько 1 А) виток повертається на кут  $90^\circ$ .

Замініть колектор з двома кільцями колектором з двома півкільцями. Замкніть коло: рамка починає швидко обертатись. Змініть напрям струму – напрям обертання рамки змінюється на протилежний. Поясніть обидва досліди.

### Завдання 7. Пр продемонструйте явище електромагнітної індукції.

1. Перед тим, як приступити до виконання демонстрації явища електромагнітної індукції, слід визначити, в яку сторону буде відхилитись стрілка гальванометра, якщо його лівий затискач приєднати до негативного полюса джерела струму, а правий – до позитивного. Для цього з'єднайте провідником негативний полюс джерела струму з лівим затискачем гальванометра, візьміться рукою за позитивний полюс джерела струму а другою рукою доторкніться до правого затискача гальванометра. Опір тіла людини має значення близько 100 – 200 кОм, тому через гальванометр піде невеликий струм. Результат зарисуйте в зошиті, наприклад, так, як показано на рис. 15. Це допоможе визначити напрям індукційного струму в наступних дослідах.

2. До гальванометра від демонстраційного вольтметра приєднайте котушку на 220 В від універсального трансформатора або дросельну котушку. Рухаючи прямий магніт, одержіть індукційний струм в котушці (рис. 16).

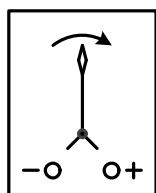


Рис. 15

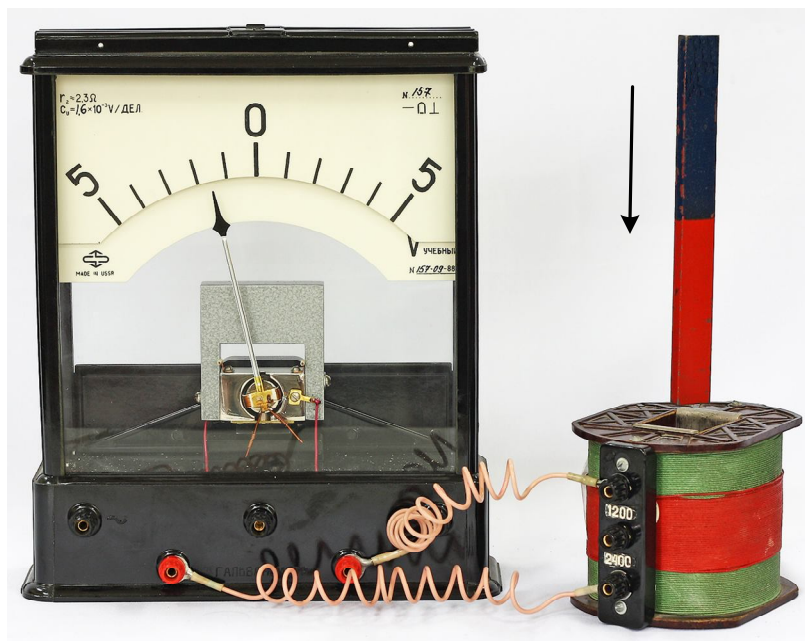


Рис. 16

Змінюючи швидкість руху магніту, покажіть, що у випадку, коли магніт рухається швидше, індукційний струм більший, ніж коли магніт рухається

повільно. Візьміть замість одного два магніти. Що спостерігаєте? Визначте напрям індукційного струму в котушці. Для цього треба знати, в сторону якої клеми джерела ( + чи – ) відхиляється стрілка гальванометра, і як намотана котушка. Напрямок намотки бажано заздалегідь вказати стрілкою прямо на витках котушки. Не забудьте, що в джерелі струм йде від – до + , а котушка і є джерелом струму. Визначте також напрям магнітного поля цього струму. Порівняйте напрям магнітного поля індукційного струму з напрямом магнітного поля магніту для випадків, коли магніт опускають в котушку чи виймають його з неї. Поясніть з допомогою цих дослідів правило Ленца.

### **Завдання 8. Пр продемонструйте правило Ленца.**



Рис. 17

Візьміть два сильних штабових магніти, складіть їх однойменними полюсами і швидко введіть їх всередину нерозрізаного кільця (рис. 17). Кільце повинне відштовхуватись від магніту. Коли магніт з кільця виймати, то кільце буде рухатись за магнітом. Повторіть дослід з розрізаним кільцем і переконайтесь, що кільце під час руху магніту залишається нерухомим.

### **Завдання 9. Пр продемонструйте явище самоіндукції.**

1. Самоіндукція при замиканні. Зберіть установку за схемою на рис. 18. На схемі позначено: EL1 і EL2 – лампи розжарення на 3,5 В і 0,28 А, L – дросельна котушка (3600 витків) на замкнутому осерді від універсального трансформатора, R – реостат опором 50 – 100 Ом, GB1 – випрямляч ВС 4-12.

Замкніть ключ і підберіть таку силу струму щоб лампа EL1 горіла повним розжаренням. Яскравість лампи EL2 відрегулюйте реостатом так, щоб обидві лампи мали однакове розжарення. Розімкніть ключ. Ці дії відносяться до етапу підготовки демонстраційної установки.

Замкніть ключ. Лампи розжарюються неоднаково: EL2 загоряється в момент увімкнення, а EL1 – з запізненням на 1 с. Дослід показує, що при замиканні кола



навколо осердя виникає індукційне вихрове електричне поле, яке протидіє наростанню струму в котушці. Демонстрацію повторіть декілька раз.

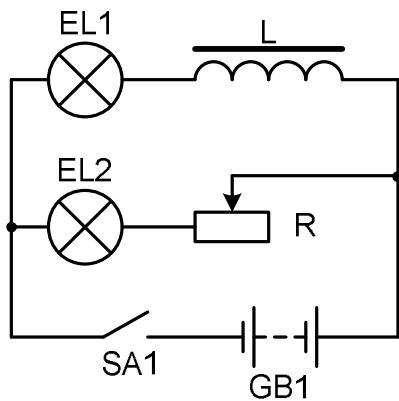


Рис. 18

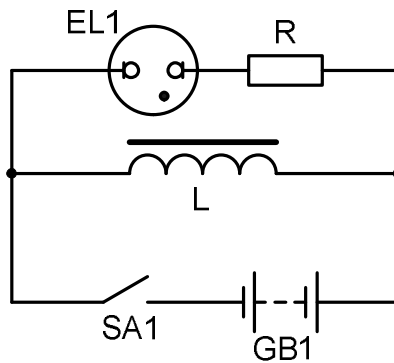


Рис. 19

2. Самоіндукція при розмиканні. Зберіть установку за схемою рисунка 19. L – та ж дросельна котушка на осерді, а EL1 – це неонові лампа, R – опір 300 кОм, що обмежує струм неонові лампи. При розмиканні неонові лампа спалахує, хоч для її запалювання необхідна напруга близько 80 – 100 вольт.

Ще один варіант увімкнення неонові лампи показано на рис. 20. В схему доданий діод VD1 типу Д226, призначення якого – показати напрям індукційного струму. Неонові лампа в схемі рис. 20 може бути замінена лампочкою розжарення на 2,5 В і 0,068 А (рис. 21). При замиканні кола лампочка не світиться (діод не пропускає струм), а при розмиканні яскраво спалахує. Щоб лампочка не згоріла, при налагоджуванні установки слід починати з невеликих значень напруги – 4 В, поступово збільшуючи її до 10 – 12 В.

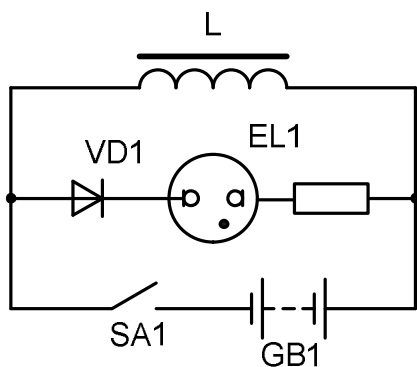


Рис. 20

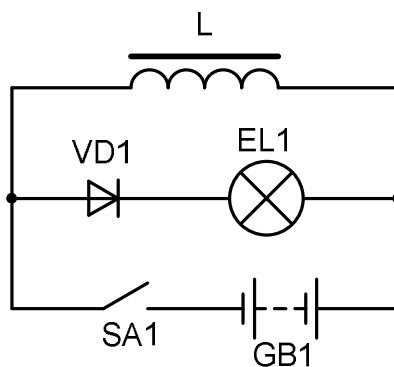


Рис. 21

## Контрольні запитання

1. В яку сторону повернеться північний полюс магнітної стрілки в досліді Ерстеда, якщо струм тече зліва направо, а магнітна стрілка перебуває під дротом?
2. В якому випадку смужки в завданні 2 будуть притягуватись одна до одної, а в якому – відштовхуватись?
3. Як визначити напрям вектора індукції магнітного поля в коловому витку?
4. Сформулюйте і наведіть хід розв'язку задачі за дослідом завдання 4.
5. Поясніть явище обертання рамки зі струмом в магнітному полі. Яку роль виконує колектор?
6. Сформулюйте закон електромагнітної індукції.
7. Сформулюйте правило Ленца.
8. Як визначити напрям індукційного струму в дослідах завдання 9?

## ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 2

### ЕЛЕКТРОМАГНІТНІ КОЛИВАННЯ

**Мета роботи:** Ознайомитись з технікою підготовки і методикою проведення найбільш важливих дослідів по властивостям вільних коливань, автоколивань та вимушених коливань (змінний струм).

**Прилади і матеріали:** Дросельна котушка на осерді від універсального трансформатора, батарея конденсаторів з максимальною ємністю 60 мкФ, амперметр і вольтметр демонстраційні (для демонстрацій з генератором повільних коливань потрібні спеціальні змінні шунти і додаткові опори), випрямляч ВУП-2, реостат 30 Ом або магазин опорів Р33, діод типу Д226 на панельці, котушка від універсального трансформатора на 220 В, конденсатор на 8 мкФ (батарея мала), осцилограф, мережа 42 В від комплекту КЕФ-10, лампочка на 42 В 25 Вт на підставці, реостат 100 – 200 Ом, трансформатор розбірний 220/6 В з осердям з феромагнітної стрічки, мультиметр, генератор повільних коливань.

### Теоретичні відомості

Дана тема має винятково важливе значення в пізнавальному, виховному та політехнічному відношенні. Вона сприяє формуванню одного з фундаментальних понять сучасної фізики – поняття електромагнітного поля. Вивчення

електромагнітних коливань готує учнів до розуміння фізичних основ радіопередачі та радіоприйому.

Труднощі засвоєння учнями теми можуть бути подолані, якщо супроводити її вивчення системою демонстраційних експериментів.

Особливістю теми є те, що електромагнітні коливання, які виникають в електричних колах, неможливо спостерігати безпосередньо. Високочастотні електромагнітні коливання можна спостерігати лише з допомогою осцилографа. Тому розуміння багатьох дослідів визначається тим, як учні підготовлені до сприйняття осцилограм і принципу їх одержання з допомогою електронного осцилографа.

В певній мірі полегшити цю проблему може використання генератора повільних коливань [12], який дає можливість одержати незатухаючі електромагнітні коливання з частотою 0,5 – 1 Гц. Коливання напруги і струму такої частоти можна спостерігати за допомогою демонстраційних амперметра і вольтметра.

В даній роботі, крім осцилографа, буде використане наступне обладнання.

**Дросельна котушка** (рис. 1) складається з 3600 витків мідного дроту і розділена на дві секції: 2400 і 1200 витків. На цю котушку намотана ще одна обмотка для зв'язку з індикатором коливань – гальванометром чи осцилографом. Ця обмотка теж секційна: одна секція має 15, а друга – 25 витків. Дросельна котушка може надіватись на осердя від універсального трансформатора. Індуктивність котушки без осердя 1 Гн, а з замкнутим осердям близько 25 Гн.



Рис. 1

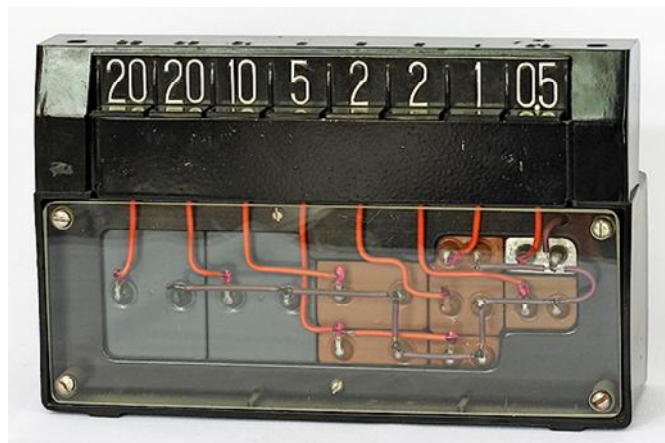


Рис. 2

**Батарея конденсаторів** (рис. 2) – це набір з 9 конденсаторів типу МБГП-1, змонтованих в пластмасовому футлярі. Батарея дає можливість одержувати ємності від 0,5 до 60 мкФ з кроком 0,5 мкФ. Робоча напруга батареї – 220 В.

В демонстраціях по змінному струму буде використана мережа 42 В від щита живлення комплекту **КЕФ-10** (див. першу частину посібника, робота № 5).

Для вимірювання напруги змінного струму буде використовуватись **мультиметр**. Серед великої кількості моделей перевагу слід надати мультиметру з великим індикатором, наприклад, типу DT9205A.

**Генератор повільних коливань** є саморобним приладом. Принципову схему генератора наведено на рис. 3, зовнішній вид генератора з приєднаним до його виходу демонстраційним вольтметром зображено на рис. 4.

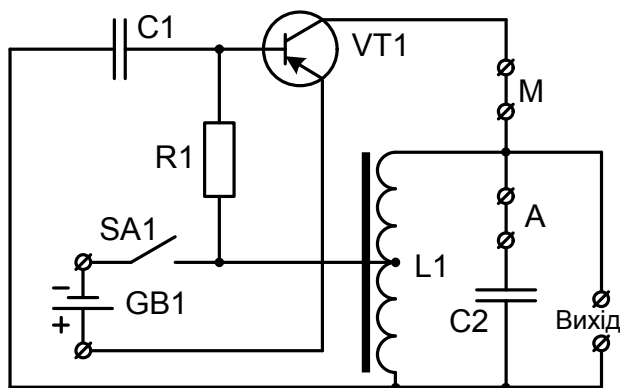


Рис. 3

Генератор простий у виготовленні і ефективний у використанні. На схемі рис. 3 позначено: L – дросельна котушка на замкнутому осерді від шкільного універсального транс-форматора (котушка коливального контуру); C2 – електролітичний конденсатор ємністю 2000 мкФ з робочою напругою 25 В і більше (конденсатор коливального контуру); низькочастотний транзистор середньої потужності (типу П 303, П 601); резистор R1 опором 3 ÷ 10 кОм. Зворотній зв'язок здійснюється через конденсатор C1 ємністю 500 ÷ 1000 мкФ. Клеми А та М використовуються для вмикання амперметра під час вивчення роботи власне генератора. Живлення генератора здійснюється від не стабілізованого випрямляча, що забезпечує напругу 5 ÷ 9 В.

Для зручності користування генератор змонтований на панелі, яка кріпиться безпосередньо на дросельну котушку. Монтажна схема відповідає принциповій, що полегшує розуміння учнями принципу роботи генератора (рис. 4).

Спостерігають за роботою генератора, приєднавши до його виходу демонстраційний вольтметр з додатковим опором на 5 В і шкалою гальванометра. Перед початком демонстрацій стрілку вольтметра коректором встановлюють на нульову поділку шкали. В описаних нижче демонстраціях використовується і демонстраційний амперметр теж зі шкалою гальванометра і саморобним шунтом. За показами приладів зручніше спостерігати, коли відхилення стрілок однакові. Тому додаткові опори до вольтметра і шунти до амперметра виготовляються зі змінних резисторів, які мають стандартні кріплення. З їх допомогою можна плавно і в широких межах змінювати чутливість приладів і забезпечувати швидко і зручне налаштування демонстраційної установки

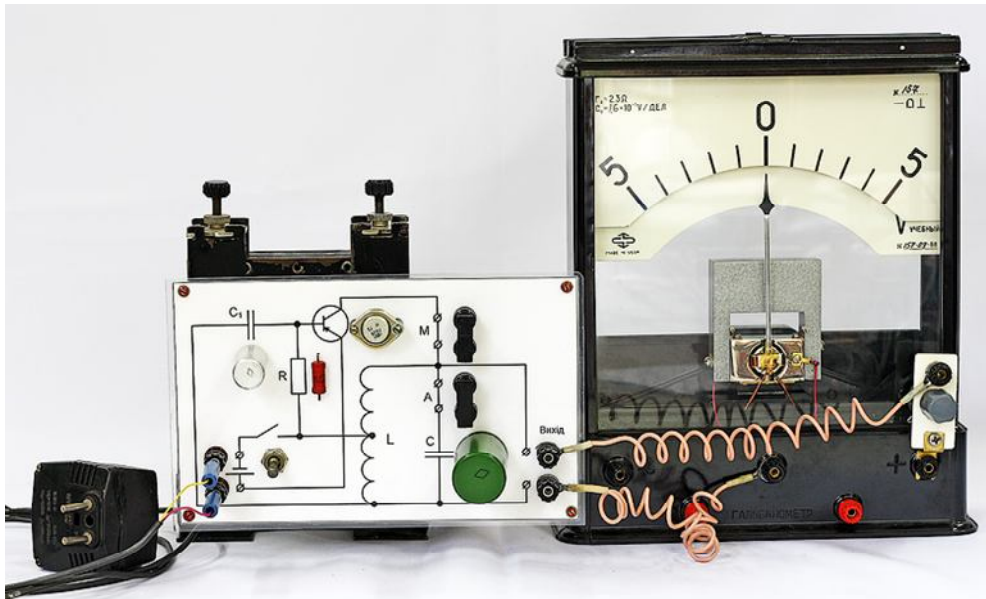


Рис. 4

### Хід роботи.

**Завдання 1. Продемонструйте повільні затухаючі електромагнітні коливання.**

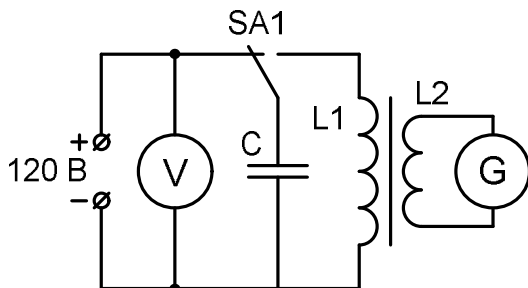


Рис. 5

Складіть установку, принципову схему якої зображено на рис. 5. На схемі позначені: L1 – дросельна котушка на замкнутому осерді від універсального трансформатора (3600 витків); C – батарея конденсаторів ємністю 60 мкФ;

G – гальванометр від амперметра (опором 385 Ом), приєднаний до обмотки зв'язку L2 дросельної котушки червоного кольору

(використана вся обмотка – 40 витків).

Як джерело живлення може бути використаний випрямляч ВУП-2 (регульований вихід 0 – 250 В). Контроль напруги здійснюється будь-яким вольтметром, наприклад, від мультиметра.

З допомогою однополюсного перемикача SA1 батарею конденсаторів можна по черзі підключити для зарядки до джерела постійного струму напругою 120 В і для розрядки через дросельну котушку. Будьте уважні! Окремі ділянки кола мають високу напругу.

Зовнішній вигляд установки для демонстрації затухаючих коливань зображено на рисунку 6.

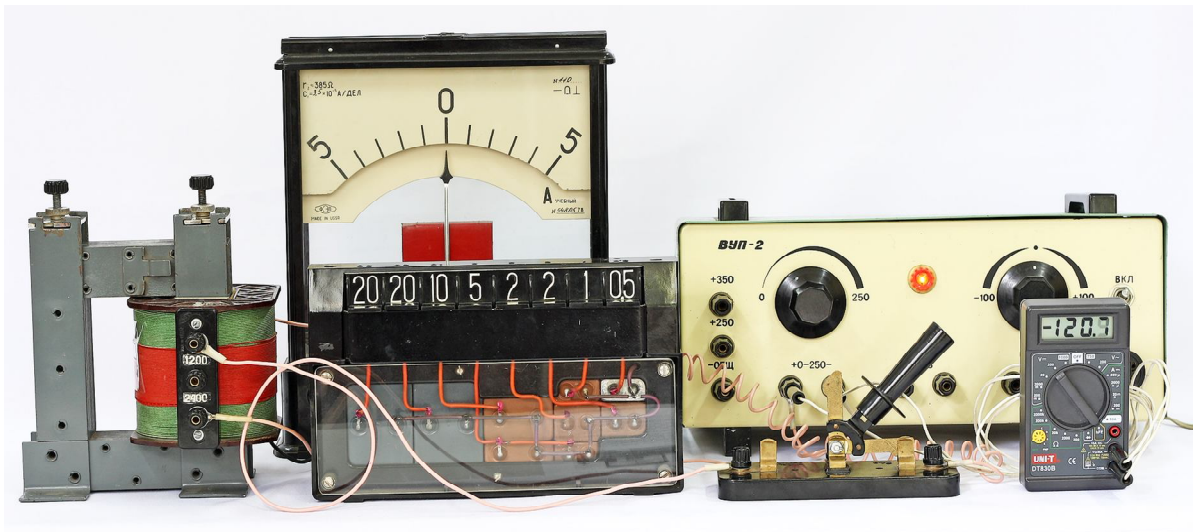


Рис. 6

Встановіть на виході випрямляча ВУП-2 напругу 120 В. Підключіть батарею конденсаторів до джерела, потім переключіть її на котушку. Стрілка гальванометра здійснює декілька затухаючих коливань з частотою близько 2 Гц. Якщо ярмо осердя, на яке надіта котушка, злегка відпустити, то під час коливань буде чути постукування ярма об осердя.

Повторіть дослід, змінюючи ємність та індуктивність контуру, продемонструйте якісно залежність частоти коливань від індуктивності та ємності.

**Зверніть увагу.** Для одержання якомога більшого числа коливань необхідно збільшити початковий запас енергії в конденсаторі. Для цього треба збільшити напругу джерела. Однак при напрузі, більшій 130 В, амплітуда коливань струму така, що осердя котушки наближається до насичення. Це приводить до зменшення індуктивності котушки і частота коливань різко збільшується, що небажано. Найкращі результати одержуються при напрузі біля 120 В.

**Завдання 2. Продемонструйте затухаючі електромагнітні коливання з допомогою осцилографу.**

Зберіть установку, електрична схема якої зображена на рис. 7. Напругу 6,3 В змінного струму використайте від випрямляча ВУП-2. На схемі позначено: VD1 – діод Д226, R – реостат на 30 Ом, L – котушка від універсального трансформатора 127-220 (без осердя), C – батарея конденсаторів ємністю 8 мкФ, Y, ⊥ – входи електронного осцилографа.

Імпульси змінного струму, пройшовши через діод, періодично заряджають конденсатор. В проміжку між імпульсами конденсатор розряджається через котушку і реостат. Розряд має коливальний характер, і на екрані осцилографу спостерігається осцилограма затухаючих коливань.

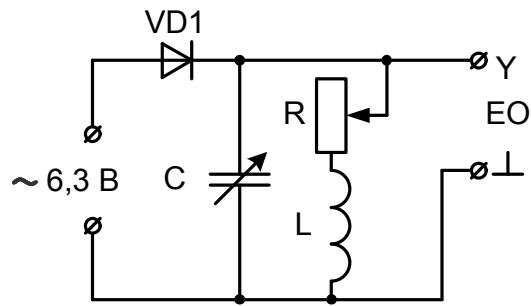


Рис. 7

Готуйте демонстрацію в такій послідовності. Спочатку відключіть конденсатор (встановіть ємність, рівну 0) і повзунок реостата переведіть в положення, при якому його опір теж дорівнює нулю. Відрегулюйте осцилограф так, щоб на екрані помістилося два періоди однопівперіодного випрямленого струму. Потім підключіть конденсатор (ємність 2 – 5 мкФ) і спостерігайте дві осцилограми затухаючого коливання. Потім збільште частоту розгортки так, щоб одна осцилограма заповнила увесь екран (рис. 8а).

Після цього покажіть зміну частоти коливань при зміні ємності конденсатора та індуктивності котушки. Змінюючи опір реостата, зверніть увагу на те, що при цьому не тільки зменшується початкова амплітуда коливань, а й збільшується швидкість затухання коливань.

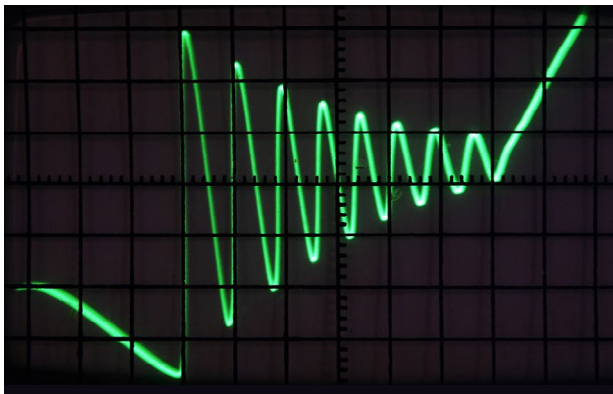


Рис. 8а

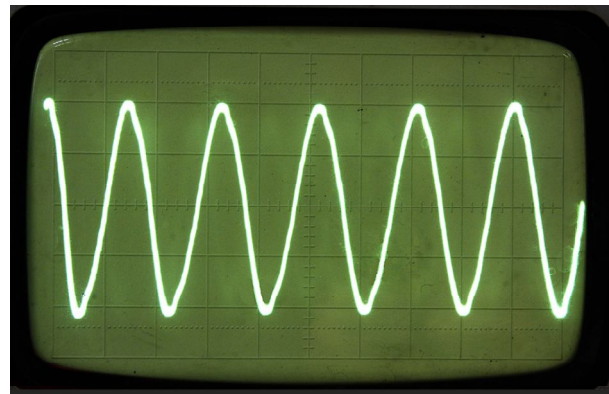


Рис. 8б

**Завдання 3. Продемонструйте осцилограму однофазного змінного струму.**

Клеми 6,3 В змінного струму випрямляча ВУП-2 підключіть до входів Y та ⊥ осцилографа. Увімкніть в мережу змінного струму випрямляч і налаштуйте осцилограф таким чином, щоб на екрані одержати три – чотири періоди коливань змінного струму (рис. 8б).

#### Завдання 4. Активний опір, ємність та індуктивність в колі змінного струму.

В цьому завданні використовується мережа змінного струму напругою 42 В від щита живлення комплекту КЭФ-10. До однієї з ліній щита треба приєднати довгими провідниками двополосний перемикач, а щит підключити до мережі змінного струму з напругою 220 В. Схеми для демонстрацій підключайте до клем перемикача. Перед початком демонстрації увімкніть автоматичний вимикач обраної лінії (нижній зліва), потім увімкніть автоматичний вимикач «сеть» (у верхній частині щита). Якщо щит підключений до мережі, то загориться сигнальна лампочка у верхній частині щита. Нарешті увімкніть тумблер обраної лінії – повинна загорітися сигнальна лампочка над тумблером.

В разі відсутності щита від КЭФ-10 його можна замінити автотрансформатором типу РНШ, встановивши на виході РНШ напругу 40 В.

##### 1. Активний опір в колі змінного струму.

Зберіть коло за схемою рис. 9. На схемі позначено: EL1 – лампа розжарення на 42 В 25 Вт на підставці, R – реостат на 100 – 200 Ом, SA1 – двополосний перемикач.

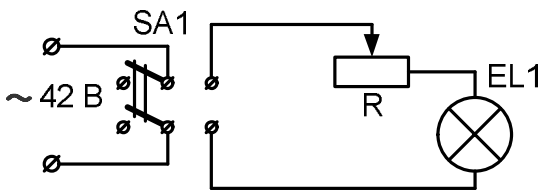


Рис. 9

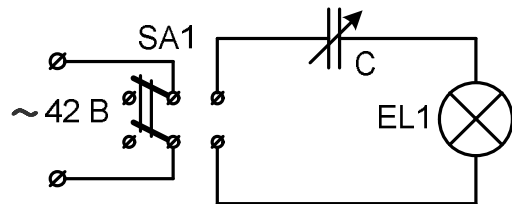


Рис. 10

Підключіть коло до мережі 42 В (замкніть перемикач). Пересуваючи повзунок реостату покажіть, що розжарення лампочки змінюється: при збільшенні опору розжарення зменшується і навпаки. Те ж саме ми спостерігали б, якби мали справу з джерелом постійного струму.

##### 2. Ємнісний опір в колі змінного струму.

Зберіть коло за схемою рис. 10. На схемі буквою С позначена батарея конденсаторів з максимальною ємністю 60 мкФ. Інші елементи аналогічні попередній схемі.

Підключіть коло до мережі 42 В. Покажіть, як зі зміною ємності батареї конденсаторів змінюється розжарення лампочки. Зробіть висновок.

##### 3. Індуктивний опір в колі змінного струму.

Зберіть коло за схемою рис. 11. Від попередньої вона відрізняється тим, що замість батареї конденсаторів включена котушка на 220 В від розбірного трансформатора без осердя.



Підключіть коло до мережі 42 В. Вставте в котушку спочатку половину осердя, потім все осердя, замкнувши його. Що відбувається з розжаренням лампочки? Як змінюється індуктивність котушки? Зробіть висновок.

4. Послідовне з'єднання активного опору і ємності в колі змінного струму.

Зберіть коло за схемою рис. 12. Роль активного опору в цій схемі виконує лампочка розжарення EL1. Вольтметри в цій схемі – це вольтметр від мультиметра, по черзі підключений до різних ділянок кола. Інші елементи аналогічні попереднім схемам.

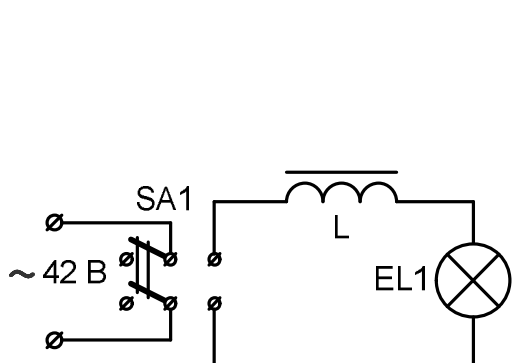


Рис. 11

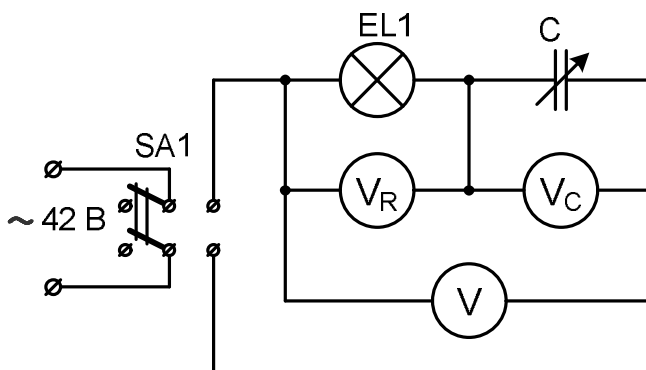


Рис. 12

Підключіть коло до мережі 42 В. Підбираючи ємність батареї, встановіть напругу на лампочці близько 30 В. Лампочка горітиме неповним розжаренням. Виміряйте і запишіть напругу на лампочці, конденсаторі і загальну. Переконайтесь, що  $U \neq U_R + U_C$ . Чи виконується рівність  $U^2 = U_R^2 + U_C^2$ ? Зробіть висновок.

Зобразіть векторну діаграму напруг для схеми рис. 12.

5. Послідовне з'єднання активного опору та індуктивності в колі змінного струму.

Зберіть коло за схемою рис. 13. Демонстрація аналогічна попередній, але, на жаль, кількісні підрахунки вже не такі переконливі. Рівність  $U^2 = U_R^2 + U_L^2$  не виконується, оскільки сама котушка має опір. Проте – експериментуйте!

Підключіть коло до мережі 42 В. Попробуйте котушку без осердя, з частково вставленим осердям. Виміряйте напруги, переконайтесь, що  $U \neq U_R + U_L$ . Перевірте виконання рівності  $U^2 = U_R^2 + U_L^2$ . При яких умовах дослід має найбільш переконливий вид? Зробіть висновок.

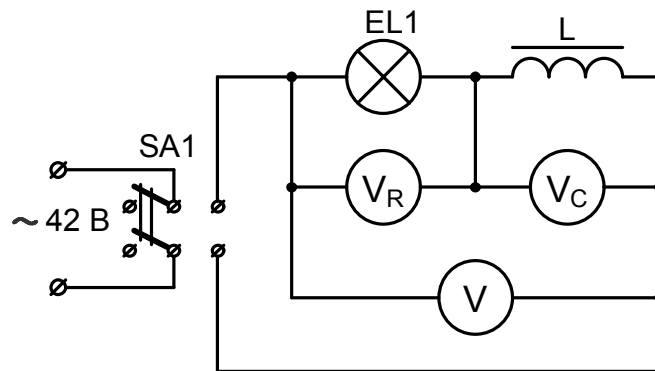


Рис. 13

### Завдання 5. Продемонструйте резонанс напруг.

Зберіть коло за схемою рис. 14. Всі деталі кола аналогічні попереднім завданням. Підключіть коло до мережі 42 В, замкніть ключ. Підберіть ємність та індуктивність таким чином, щоб розжарення лампочки було найбільшим. Орієнтовні значення: ємність батареї 20-30 мкФ, котушка від розбірного трансформатора на 220 В з осердям, вставленим так, як показано на рисунку 15.

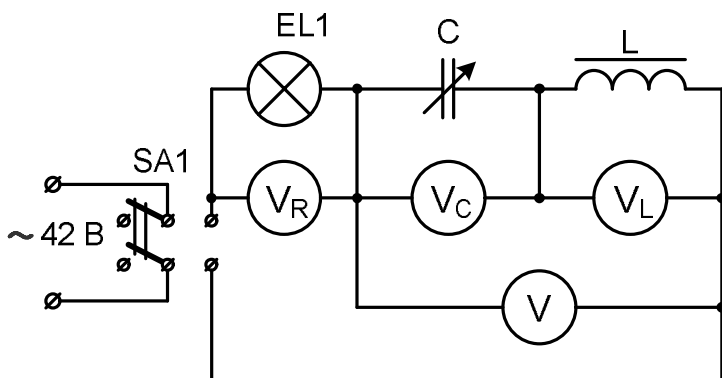


Рис. 14



Рис. 15

Цю демонстрацію можна використати для створення проблемної ситуації. Підберіть заздалегідь ємність та індуктивність так, щоб коло перебувало в режимі, близькому до резонансного. Замкніть ключ SA1 і спостерігайте свічення лампочки. Задайте учням запитання: Як зміниться розжарення лампочки, якщо клеми котушки чи конденсатора з'єднати провідником? Відповідь в більшості випадків буде: розжарення збільшиться. З'єднайте по черзі виводи котушки та конденсатора провідником і переконайтесь, що сила струму різко зменшиться.

Явище пояснюється тим, що напруга на ємності і індуктивності перебувають в протифазі і тому частково чи повністю (при резонансі) компенсують одна одну.

Підберіть індуктивність та ємність для забезпечення резонансу. Виміряйте напруги  $U_C$ ,  $U_L$ ,  $U_R$ ,  $U$ . Зробіть висновок.

### Завдання 6. Продемонструйте фазові співвідношення в колі змінного струму.

Це завдання виконується з генератором повільних коливань.

1. Продемонструйте спочатку роботу генератора. Для цього зберіть коло за рис. 4, ручку резистора додаткового опору поверніть проти годинникової стрілки до упору, і увімкніть живлення генератора. Стрілка вольтметра повинна коливатись з періодом 1 – 2 с. Повертаючи ручку резистора додаткового опору, підберіть його значення таким, щоб стрілка вольтметра відхилилась на всю шкалу.

2. Покажіть, що коливання струму і напруги в колі з активним опором співпадають за фазою.

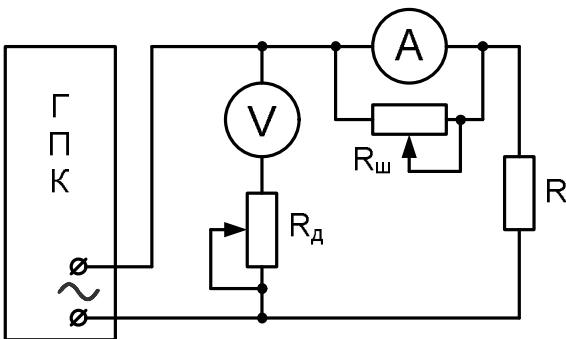


Рис. 16

Складіть електричне коло за схемою рис. 16. В схемі  $R$  – резистор з опором  $400 \div 600 \text{ Ом}$ ,  $R_d$  – змінний резистор від 3 до 10 кОм,  $R_{ш}$  – змінний резистор на 100 Ом. Відрегулювавши відхилення стрілок, звертаємо увагу, що стрілки обох вимірювальних приладів коливаються синхронно, а це свідчить про відсутність зсуву фаз між напругою і силою струму в колі змінного струму з активним опором.

3. Продемонструйте зсув фаз в колі змінного струму з конденсатором

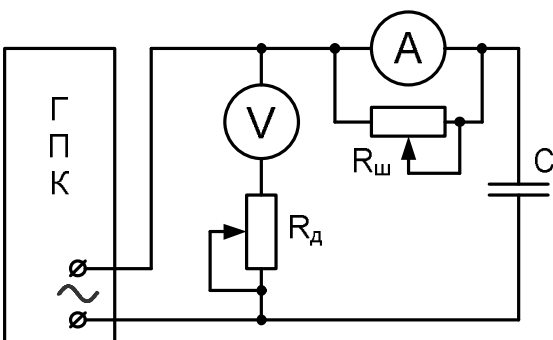


Рис. 17

Замініть в попередній схемі резистор на конденсатор ємністю 500 мкФ (рис. 17). Відрегулюйте відхилення стрілок приладів і спостерігайте, що в колі з ємністю коливання сили струму і напруги не співпадають за фазою. Оцінку різниці фаз виконайте наступним чином. В моменти, коли стрілка вольтметра перебуває в положенні максимального відхилення, подайте звуковий сигнал (з допомогою найпростішого звукового генератора або

просто постукуванням). Учні в цей час повинні слідкувати за коливанням стрілки амперметра. Добре видно, що в момент подачі сигналу стрілка амперметра перебуває поблизу нульової поділки. Отже, в колі з ємнісним опором різниця фаз між струмом і напругою дорівнює  $\pi/2$ . Пояснюємо, що струм випереджає напругу по фазі на  $\pi/2$ .

## Контрольні запитання

1. Як обчислити ємність при послідовному з'єднанні котушок? при паралельному?
2. Як можна змінити індуктивність котушки в завданні 2?
3. Як визначити (хоча б наближено) період коливань в завданні 2? Чи співпадає ця оцінка з теоретичними підрахунками періоду коливань даного контуру?
4. Як обчислити ємнісний опір? індуктивний опір?
5. Накресліть векторну діаграму напруг, яка ілюструє дослід 4 в завданні 4.
6. При якій умові в колі з індуктивністю та ємністю настає резонанс?
7. Накресліть векторну діаграму напруг для випадку резонансу (завдання 5).
8. Яке співвідношення фаз струму і напруги в колі з активним опором і ємністю? в колі з активним опором та індуктивністю?

## ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 3

### ЕЛЕКТРОМАГНІТНІ ХВИЛІ

**Мета роботи:** Ознайомитись з технікою підготовки і методикою проведення найбільш важливих дослідів по властивостям електромагнітних хвиль.

**Прилади і матеріали:** Три осердя від універсального трансформатора, дві котушки від нього ж на 220 В, дві котушки для демонстрації магнітного поля струму, демонстраційний амперметр, генератор УКХ з диполем, резонуючий контур, приймальний диполь з лампочкою і діодом, реле поляризоване з приймальним диполем, низьковольтна лампочка на підставці, випрямлячі ВУП-2, ВС 4-12, демонстраційна модель звукового генератора, джерело струму на 4-5 В (гальванічний елемент чи акумулятор), гучномовець на панелі, металева трубка довжиною 110 см, вимикач однополюсний, з'єднувальні провідники.

### Теоретичні відомості

Вивчення теми «Електромагнітні хвилі», яка має важливе наукове, світоглядне та політехнічне значення, ґрунтується на розумінні учнями закону електромагнітної індукції Фарадея, явищ, що відбуваються в коливальному контурі, та ідей Максвелла про струми зміщення.

Тому перед вивченням теми обов'язково слід повторити закон електромагнітної індукції, підкреслити, що зміна магнітного поля створює вихрове електричне поле, напрям напруженості якого можна визначити з допомогою закону Ленца.

Аналіз процесів у коливальному контурі та досліди російського фізика А. А. Ейхенвальда показують, що в діелектрику конденсатора існують струми зміщення, навколо яких виникає магнітне поле. Таким чином, змінне електричне поле породжує змінне (вихрове) магнітне поле, яке, в свою чергу, породжує змінне (вихрове) електричне поле і т. д., тобто в просторі поширюється електромагнітна хвиля.

Процес поширення електромагнітного імпульсу корисно пояснити з допомогою ланцюжка Брега (див. завдання 1), який складається з залізних і мідних (чи алюмінієвих) кілець.

Випромінювання, приймання та властивості електромагнітних хвиль треба демонструвати з допомогою генератора високочастотних коливань та відповідного приймача. Генератор сантиметрових хвиль, розроблений Н. М. Шахмаєвим [2, ч. 2, с. 143-145], на жаль, виявився ненадійним і недовговічним і зараз практично відсутній в школах.

Раніше був випущений генератор ультракоротких хвиль (УКХ) конструкції Б. С. Зворикіна на частоту 150 МГц (довжина хвилі 2 м). Такий генератор дає можливість виконати необхідні демонстрації для ілюстрування теми «Електромагнітні хвилі». Він простий в експлуатації, практично не потребує налагоджування і має лише той недолік, що в ньому використовуються старі лампові тріоди 6Н7С та високовольтне джерело живлення.

Схема генератора наведена на рис. 1, його зовнішній вид з приєднаним диполем – на рис. 2.

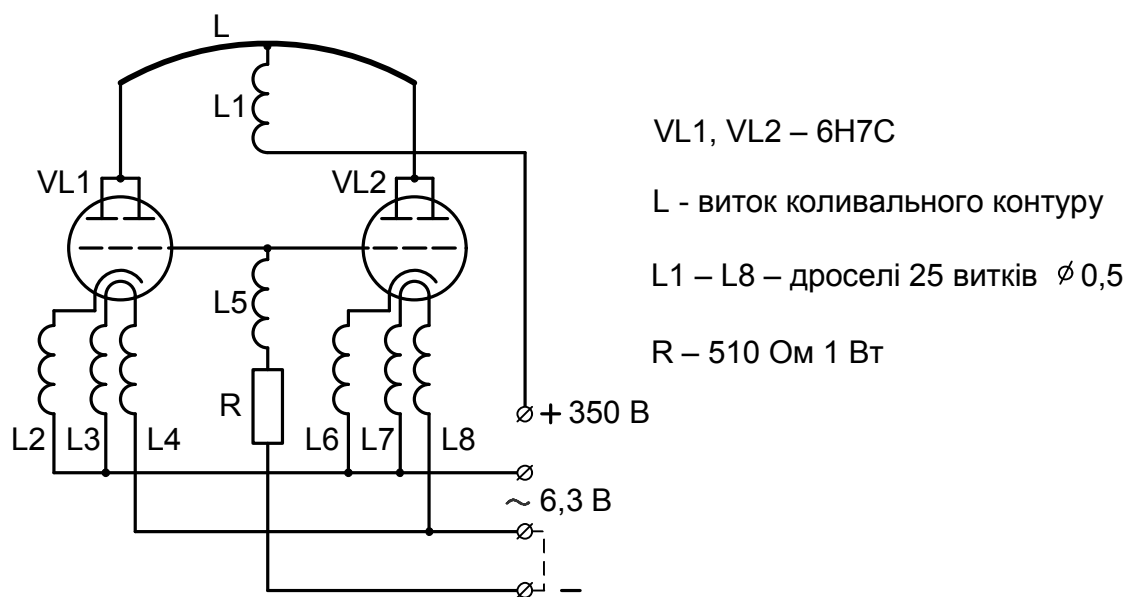


Рис. 1

Генератор зібраний за двотактною симетричною схемою на двох подвійних тріодах 6Н7С. Тріоди в кожній лампі з'єднані паралельно. Коливальний контур генератора (див рис. 3) складається з прямокутного витка і міжелектродних ємностей анод-сітка двох ламп.



Рис. 2

Щоб високочастотні коливання в контурі генератора не викликали вимушених коливань в інших частинах схеми (це привело б до значних втрат енергії в контурі), коливальний контур відділений від інших частин генератора дроселями, які чинять значний опір струму високої частоти.

Корисна потужність генератора не перевищує 5 Вт, частота генератора 150 МГц, що відповідає довжині хвилі 2 м.

Для проведення дослідів генератор комплектується резонуючим контуром (рис. 4) і приймальним диполем з лампочкою розжарення (рис. 5).

Для демонстрації передачі модульованих коливань використовується демонстраційна модель звукового генератора (рис. 6), схема якого наведена на рис. 7.

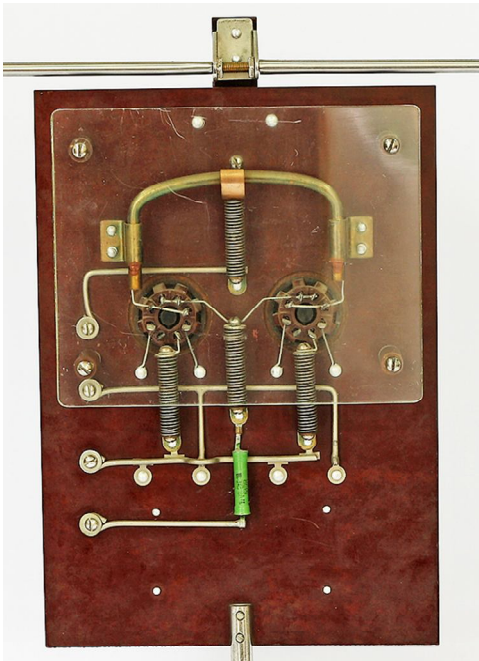


Рис. 3



Рис. 4

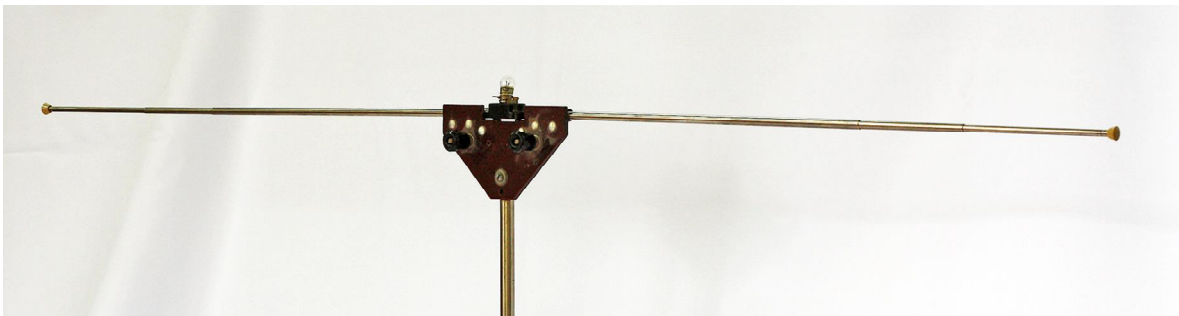


Рис. 5

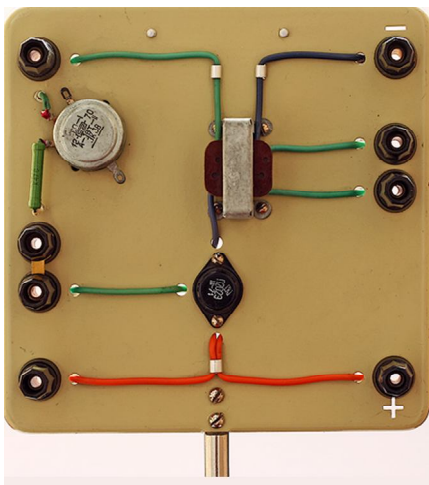


Рис. 6

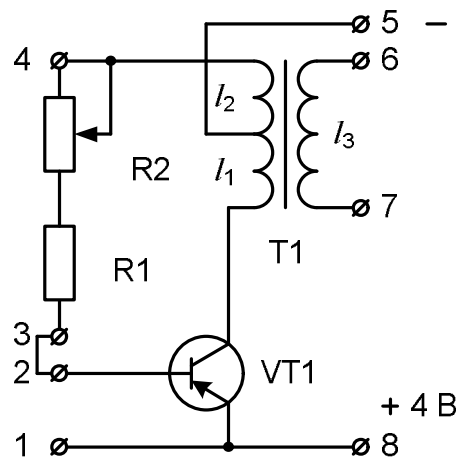


Рис. 7

## Хід роботи.

### Завдання 1. Продемонструйте механізм поширення електромагнітного поля з допомогою моделі ланцюжка Брега.

Для створення моделі ланцюжка Брега потрібні три універсальні трансформатори. З двох трансформаторів зніміть низьковольтні котушки, з одного – обидві котушки, залишивши лише осердя. Одну котушку на 220 В через ключ приєднайте до джерела струму напругою 5 – 6 В, а другу – до гальванометра від демонстраційного амперметра. Перше й друге осердя, а також друге й третє з'єднайте мідними кільцями, в якості яких можна використати замкнуту котушку для демонстрації магнітного поля струму. Зовнішній вид зібраної установки зображений на рис. 8.

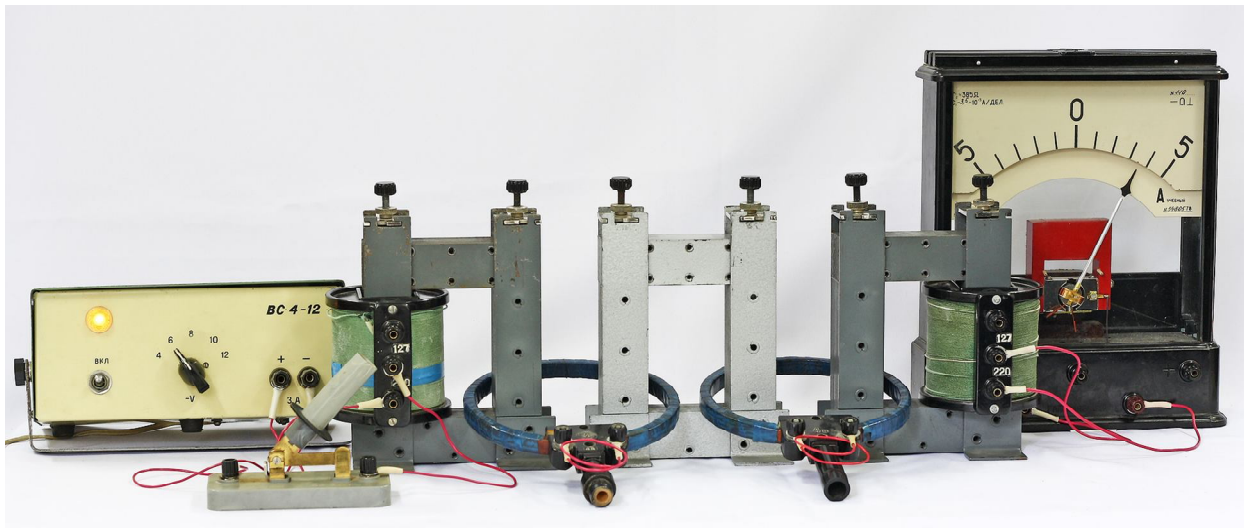


Рис. 8

Замикаючи і розмикаючи ключ, стежте за показами гальванометра. При замиканні і розмиканні струму навколо витків першої котушки в осерді виникає вихрове магнітне поле. Це поле пронизує мідне кільце і в кільці виникає індукційний струм. Струм створює вихрове магнітне поле і т. д.

Як показали дослідження Д. Максвелла і Г. Герца, наявність металевих кілець на шляху поширення електромагнітного поля не обов'язкова. Змінне вихрове магнітне поле створює вихрове електричне поле (і навпаки) і у вакуумі. Приберіть всі осердя і розташуйте котушки на невеликій відстані одну від одної (відстань підберіть експериментально). При замиканні струму в першій котушці гальванометр реєструє струм в другій.



## Завдання 2. Продемонструйте роботу генератора УКХ.

Перед початком роботи потрібно перевірити довжини плечей вібратора: кожне плече повинно мати довжину 47,5 см; загальна довжина вібратора повинна дорівнювати 95 см.

Приєднайте генератор УКХ до випрямляча ВУП-2 згідно з рисунком 9. Дві нижні клеми генератора повинні бути з'єднані перемичкою. Увімкніть ВУП-2 і стежте за лампами генератора: нитки розжарення повинні засвітитись.

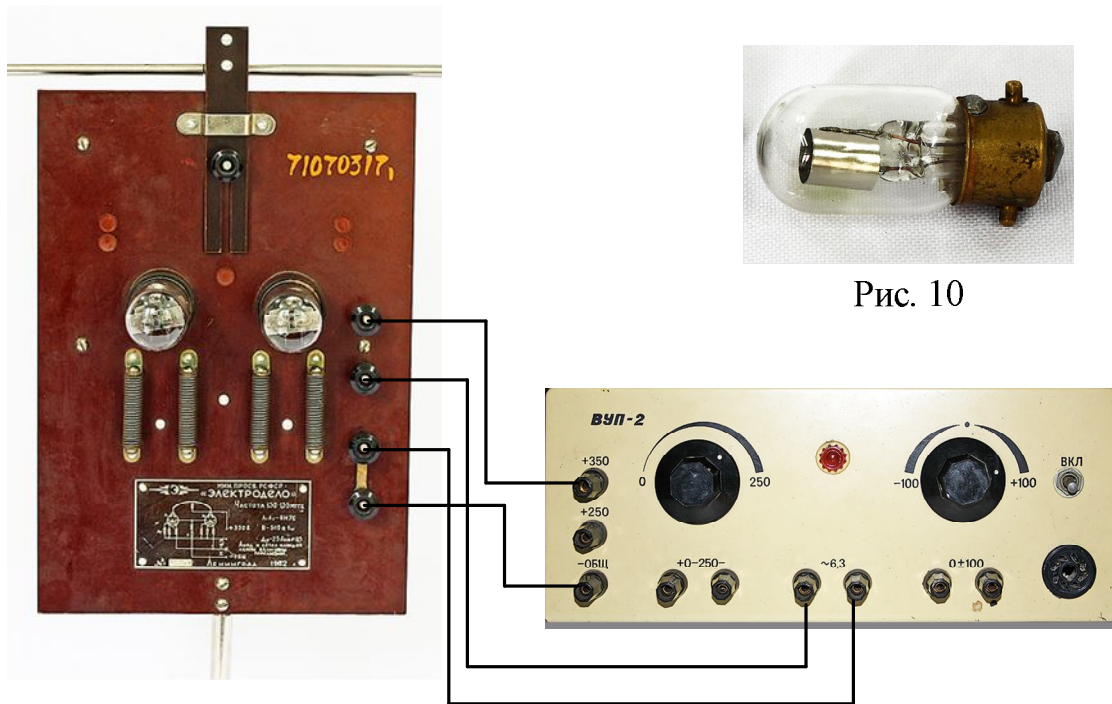


Рис. 10

Рис. 9

Для перевірки роботи генератора використайте властивість розрідженого газу світитись в електромагнітному полі високої частоти. Skorистайтесь неоновією лампою (рис. 10). Тримаючи лампу за цоколь, доторкніться балоном лампи до кінців вібратора – лампа повинна засвітитись. Рухайте лампу вздовж вібратора до його середини. Що спостерігаєте?

Резонуючий контур (рис. 4) піднесіть до працюючого генератора на відстань 15 – 20 см так, щоб площини витків генератора і резонуючого контуру були паралельні. Повільно обертайте ручку конденсатора резонуючого контуру і спостерігайте, як лампочка поступово розжарюється, а потім гасне. Щоб не спалити лампочку, слідкуйте за її розжаренням: якщо яскравість велика, то збільште відстань від контуру до генератора.

### **Завдання 3. Продемонструйте випромінювання і приймання електромагнітних хвиль.**

Ще раз перевірте роботу генератора з допомогою неонові лампочки. Тепер змініть довжину плечей вібратора (наприклад, зробіть їх меншими). Чи світиться неоні лампочка? Зробіть висновок. Відновіть розмір вібратора – диполя, як описано на початку завдання 2.

Приймальний диполь з лампочкою на 1 В 0,075 А (рис. 5) розташуйте на відстані 3 – 4 м від генератора так, щоб приймальний і передавальний диполі були паралельні і їх середини були розташовані на одній прямій, перпендикулярній до диполів. Довжини плечей приймального вібратора повинні бути точно такими ж, як і в передавального. При включенні генератора лампочка повинна світитись. Переміщуючи на генераторі у вертикальному напрямі планку з диполем, добийтеся найбільш яскравого свічення лампочки. Закріпіть планку в цьому положенні.

Під час проведення дослідів необхідно враховувати значний вплив на роботу генератора сторонніх металевих стержнів, балок, труб водопроводу. В залежності від розташування цих предметів, вони в результаті інтерференції або будуть зменшувати розжарення лампочки, або збільшувати його.

Розташуйте приймальний диполь перпендикулярно до передавального. Що спостерігаєте? Зробіть висновок.

### **Завдання 4. Продемонструйте відбивання та інтерференцію електромагнітних хвиль.**

Металевий стержень чи трубку довжиною 110 см розташуйте горизонтально за приймальним диполем на відстані 2 – 3 м. Наближуючи стержень до диполя, спостерігайте, як лампочка збільшує та зменшує яскравість розжарення. На якій найменшій відстані стержня від диполя лампочка горить найбільш яскраво? Зробіть висновок. Аналогічний дослід виконайте, розташувавши стержень за передавальним диполем.

### **Завдання 5. Продемонструйте принцип радіотелеграфної передачі.**

Приготуйте до демонстрації поляризоване реле РП-4 з диполем, між стержнями якого вставлена колодка з детектором. Низьковольтну лампочку приєднайте до випрямляча ВС 4-12 через нормально розімкнуті контакти реле (НО, див. рис. 11).

Розташуйте диполь поляризованого реле на відстані 2 – 3 м від генератора УКХ аналогічно завданню 3. При включенні генератора реле спрацьовує і лампочка починає світитись.

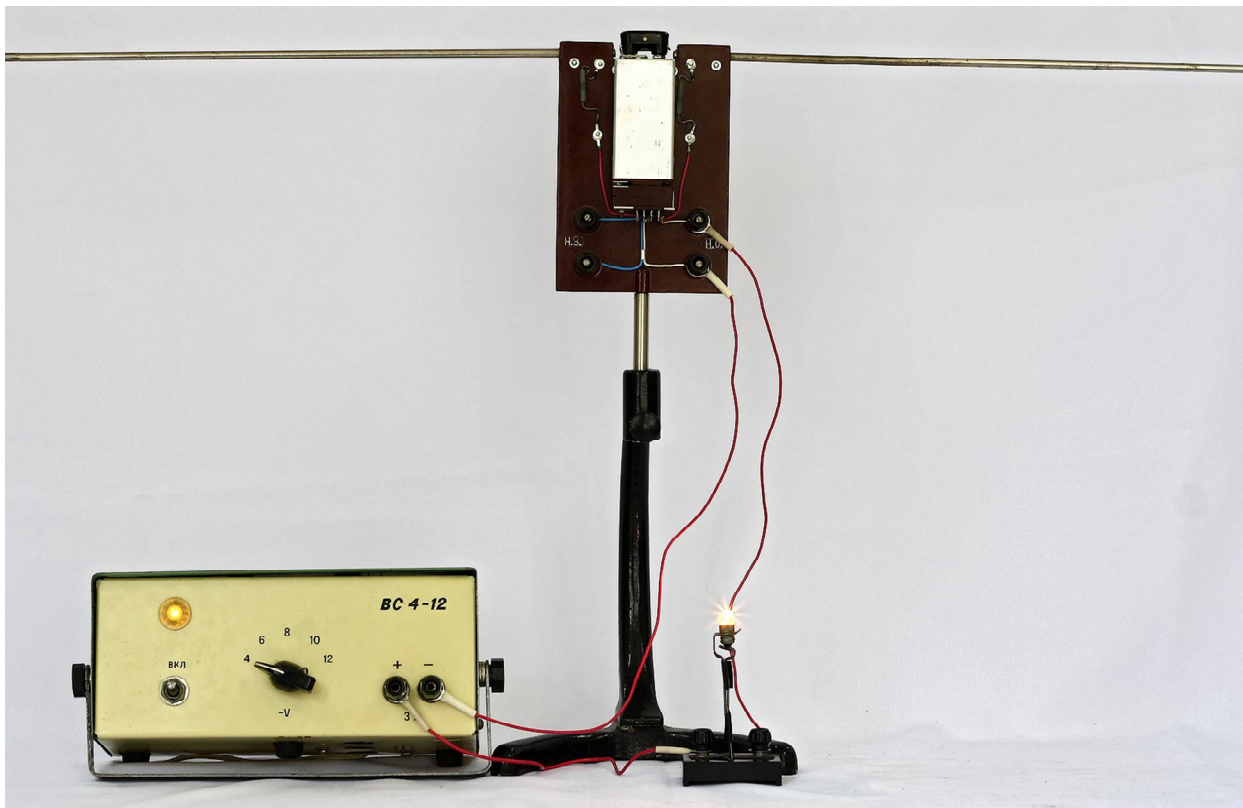


Рис. 11

Виключіть генератор і роз'єднайте дві його нижні клеми (від'єднайте перемичку). З'єднайте ці клеми з телеграфним ключем або з вимикачем натискного типу. Включіть генератор і маніпулюйте ключем, замикаючи і розмикаючи живлення генератора. Лампочка світиться лише протягом того проміжку часу, коли натиснутий ключ. Таким чином можна передавати сигнали, використовуючи азбуку Морзе. Замість лампочки можна використати будь-який зумер чи модель телеграфного апарату.

**Завдання 6. Продемонструйте передачу модульованих високочастотних коливань.**

В цій демонстрації використовується разом з генератором УКХ демонстраційна модель звукового генератора. Спочатку приготуйте до роботи модель звукового генератора. Приєднайте до клем 5 і 8 (див. рис. 6 і 7) через вимикач джерело постійного струму напругою 4 – 5 В (бажано використовувати гальванічні елементи або акумулятори). Клеми 2 і 3 повинні бути з'єднані перемичкою. До клем 6 і 7 підключіть гучномовець. Замкніть вимикач. В гучномовці повинен виникнути звук певного тону. Змінним резистором R2 частоту звукових коливань можна змінювати в межах 100 – 900 Гц. Вимкніть живлення звукового генератора і від'єднайте гучномовець.

Виключіть ВУП-2 і приєднайте модель звукового генератора до генератора УКХ згідно з рисунком 12.



Рис. 12

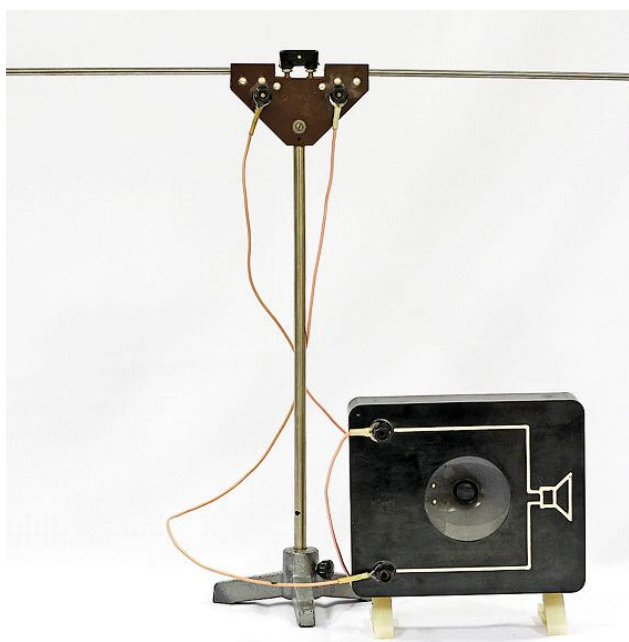


Рис. 13

В приймальний диполь замість лампочки вставте діод і підключіть до клем на щитку диполя гучномовець, утворивши, таким чином, детекторний приймач (рис. 13).

Розташуйте цей приймач на відстані декількох метрів від генератора УКХ. Увімкніть живлення звукового генератора і ВУП-2. При правильному розташуванні антен – диполів у гучномовці буде чути однотонний звук.

Замість вимикача джерела живлення звукового генератора можна увімкнути телеграфний ключ і, маніпулюючи ключем, передавати сигнали азбуки Морзе.

### Контрольні запитання

1. Опишіть процеси, що відбуваються в коливальному контурі.
2. Поясніть процес утворення і поширення електромагнітних хвиль.
3. Охарактеризуйте властивості електромагнітних хвиль в залежності від діапазону (довгі, середні, короткі, ультракороткі).

4. Поясніть результат досліду завдання 2 з неоновією лампочкою.
5. В чому полягає процес амплітудної модуляції?
6. Навіщо в дослідах 5 і 6 між стержнями приймального диполя вставляли діод?

## ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 4

### ХВИЛЬОВІ ВЛАСТИВОСТІ СВІТЛА

**Мета роботи:** Ознайомитися з технікою підготовки і методикою проведення демонстрацій, що ілюструють хвильові властивості світла.

**Прилади і матеріали:** Проекційний апарат ФОС-67, регулятор напруги РНШ, газовий лазер, набір з інтерференції та дифракції, пристосування для демонстрації інтерференції в тонких плівках, набір з поляризації, дисперсійні призми з кронгласу та флінтгласу, призма прямого зору, підставка-тринога від універсального штативу, склянка з мильним розчином, екран.

#### Теоретичні відомості

Основою для багатьох демонстраційних установок з оптики є **універсальний проекційний апарат** з оптичною лавою **ФОС-67** (рис. 1).

На оптичній лаві 1, довжина якої може змінюватись, встановлені корпус освітлювача 2 з проекційною лампою, конденсор 3 і рейтери 7. Проекційна лампа потужністю 300 Вт на напругу 220 В може вмикатися вимикачем, розташованим на корпусі освітлювача. Конденсор складається з двох плоскоопуклих лінз, одна з яких легко знімається.

З допомогою спеціальних ширм 5 з поворотним диском на рейтерах можна встановити об'єктив 6, механізм розсувної щілини 4, біпризму Френеля, прилад «Кільця Ньютона» та дифракційну ґратку з набору по інтерференції, рамки з поляроїдами з набору по поляризації та інші прилади, що не входять в комплект, але використовуються для демонстрацій. В комплект також входить теплофільтр, столик на стержні, ширма з чотирма отворами, пристосування для горизонтальної проекції.

Для збільшення строку служби проекційної лампи апарат доцільно вмикати через регулятор напруги РНШ. При номінальній напрузі час неперервної роботи лампи не повинен перевищувати 15 хв, після чого апарат рекомендується відключати на 5 хв. Під час підготовки до дослідів можна працювати при напрузі на 30-50 В нижче номінальної. В цьому випадку апарат менше нагрівається і час неперервної роботи може бути збільшений до 20-30 хв.

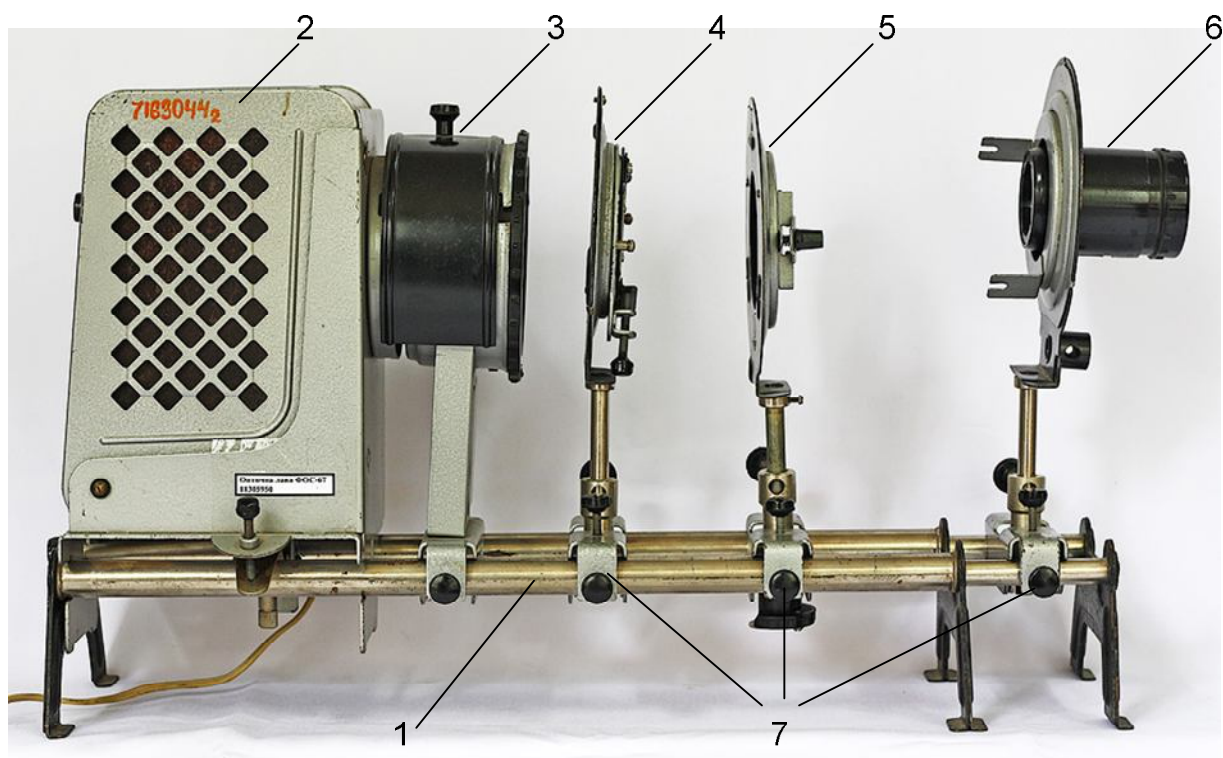


Рис. 1

Перед початком роботи потрібно відрегулювати положення лампи і об'єктиву для одержання на екрані рівномірно освітленої плями. Регулювання здійснюють переміщенням лампи в поперечному напрямі, по вертикалі і навколо вертикальної вісі. Для переміщення в поперечному напрямі обертають гвинт, розташований збоку на корпусі освітлювача. Щоб перемістити лампу з патроном по вертикалі або навколо вертикальної вісі, треба відкрутити стопорний гвинт, який розташований знизу на корпусі освітлювача. Для рівномірної освітленості екрану об'єктив переміщують в площині, перпендикулярній оптичній вісі системи, з допомогою регулювального гвинта на рейтері.

Наведення на різкість зображення здійснюють переміщенням об'єктиву разом з рейтером та переміщенням об'єктиву всередині його оправы.

Для використання з проєкційним апаратом окремо випускаються набори з інтерференції, дифракції, поляризації, дисперсії світла. Конструкцією цих приладів передбачена можливість їх використання разом з проєкційним апаратом.

Досліди з інтерференції та дифракції світла з використанням стандартного шкільного обладнання вимагають від вчителя значної експериментальної майстерності. Крім того, більшість з них вимагають гарного затемнення фізичного кабінету. Деяким чином допомагає розв'язати проблеми, що виникають під час демонстрацій з оптики, використання в якості джерела світла оптичного квантового генератора – лазера. Пучок світла, що його випромінює лазер, є когерентним, монохроматичним, поляризованим і має мале розходження. Тому

використання лазера дозволяє значно спростити підготовку і проведення багатьох експериментів з оптики та значно покращити якість картин, які спостерігаються в демонстраціях.

Використання лазерної указки з автономним живленням дозволяє зробити установки компактними і мобільними, що дає змогу виконувати демонстрації в будь-якому класному приміщенні.

Не забувайте тільки, що лазерний промінь не можна направляти в сторону учнів, оскільки його випромінювання шкідливе для зору.

### Хід роботи.

#### Завдання 1. Покажіть інтерференцію світлових хвиль з допомогою біпризми Френеля.

Для виконання досліду використовується біпризма Френеля, що входить в набір з інтерференції та дифракції.

1. Схема установки з використанням проекційного апарату ФОС-67 зображена на рис. 2. Цифрами на рисунку позначені: 1 – освітлювач ФОС з конденсором; 2 – щілина; 3 – біпризма Френеля; 4 – екран. Орієнтовні відстані між елементами установки вказані на рисунку.

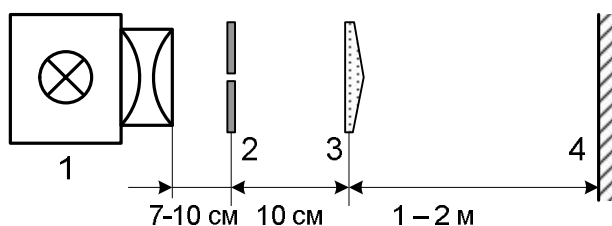


Рис. 2

Розташуйте на оптичній лаві проекційного апарату конденсор, диск-ширму з розсувною щілиною і диск-ширму з біпризмою Френеля згідно зі схемою рис. 2. З допомогою конденсора одержить на поверхні ширми з розсувною щілиною яскраву пляму від джерела світла. Пляма повинна повністю покривати щілину, ширину якої встановіть спочатку рівною приблизно 1 мм. Для налагодження установки напругу на лампі освітлювача можна встановити рівною 180 В.

Вузький пучок світла від щілини повинен попадати на ребро біпризми, яке має бути розташоване строго паралельно щілині і перебувати з нею в одній вертикальній площині, що проходить через головну оптичну вісь конденсора. Це найскладніша і найважливіша частина процесу регулювання установки, яку виконують з допомогою нахилу рейтера пристосуванням для малих

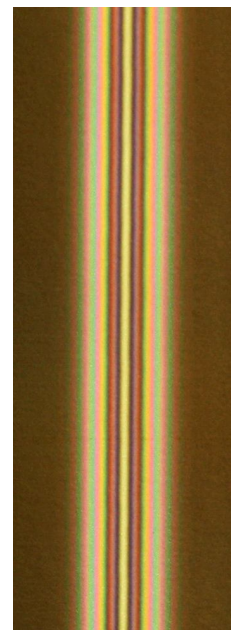


Рис. 3

переміщень та обертаючи кільця дисків-ширм. В ході регулювання на екрані повинна з'явитись світла смуга шириною близько сантиметра.

Закінчивши регулювання, подайте на лампу номінальну напругу і зменште ширину щілини до 0,1 – 0,05 мм. На екрані повинно утворитись зображення у вигляді кольорових інтерференційних смуг (рис. 3).

Зображення має малі розміри, тому розглянути деталі картини можна лише з невеликої відстані. Доводиться запрошувати учнів підійти ближче до екрану. Використання лупи полегшує процес деталізації.

2. Аналогічну демонстрацію можна виконати з лазером. Схема розташування приладів наведена на рис. 4, де цифрами позначено: 1 – лазер, 2 – лінза з фокусною відстанню 17 мм (передня лінза від окуляра мікроскопа), 3 – біпризма Френеля. Прилади закріпіть на оптичній лаві ФОС, дотримуючись відстаней, вказаних на схемі.

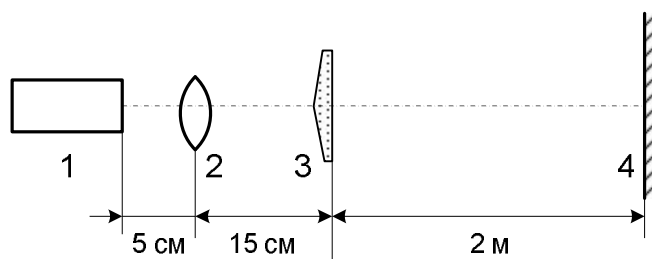


Рис. 4

І в першому, і в другому варіанті демонстрації екран можна розташувати під кутом до оптичної вісі установки, щоб збільшити розмір інтерференційної картини. Відстані на схемах орієнтовні, практична реалізація залежить від конкретних умов демонстрації.

Інтерференційна картина при використанні лазера одержується досить яскравою, її добре видно навіть при незначному затемненні аудиторії. Легкість налаштування дозволяє рекомендувати використати на практиці саме цей варіант демонстрації.

В разі відсутності лінзи з фокусною відстанню 17 мм, можна скористатись розсіювальною лінзою з фокусною відстанню близько – 20 мм, розташувавши прилади за схемою рис. 5.

Якщо помістити між біпризмою і екраном ще одну лінзу – збираючу з фокусною відстанню близько 7 см (див. рис. 6), то інтерференційна смуга збільшиться в декілька разів і її буде добре видно зі значної відстані (рис. 7). Відстань від лінзи 5 до екрану теж треба підбирати експериментально.



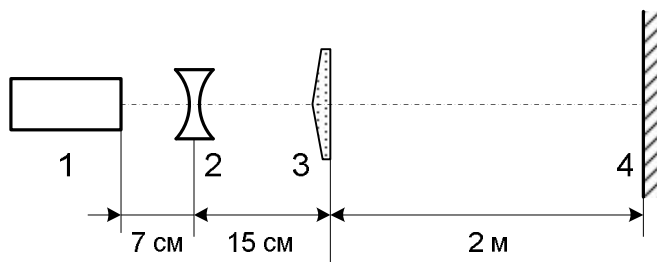


Рис. 5

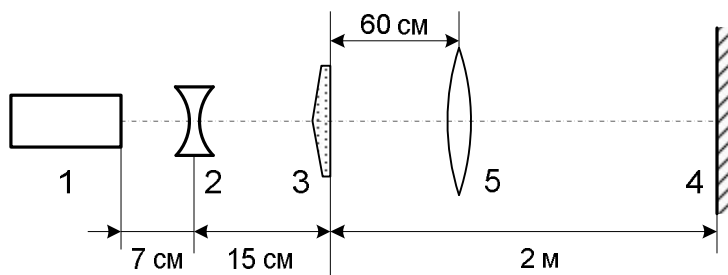


Рис. 6

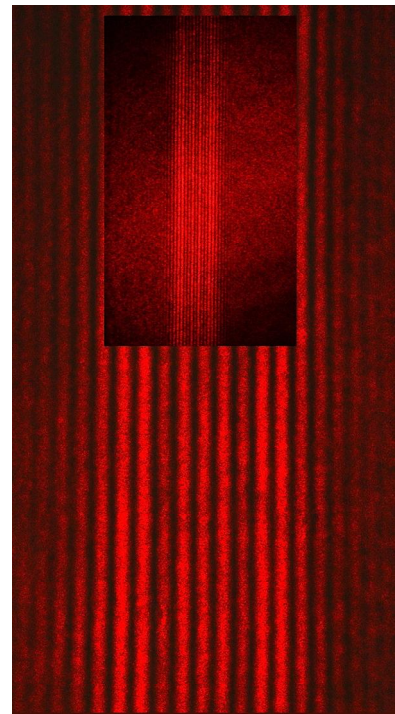


Рис. 7

**Завдання 2. Продемонструйте інтерференцію світлових хвиль з допомогою приладу «кільця Ньютона».**

Прилад «кільця Ньютона» входить в набір з інтерференції та дифракції. Він складається з плоскоопуклої лінзи і плоскої скляної пластини, які закріплені в оправі так, що плоска пластинка доторкується до опуклої частини лінзи. На оправі є три гвинта для регулювання. Перед початком демонстрації з допомогою цих гвинтів одержить в середині приладу кольорові інтерференційні кільця правильної форми діаметром 20 – 25 мм.

1. Розташування приладів для демонстрації кілець Ньютона з використанням проекційного апарату ФОС-67 зображено на рис. 8 і 10. На рис. 8 зображена схема для демонстрації кілець у відбитому світлі, на рис. 10 – у світлі, що проходить через прилад. На обох рисунках цифрами позначено: 1 – освітлювач проекційного апарату з конденсором, 2 – діафрагма 30 мм, 3 – прилад «кільця Ньютона», 4 – об'єктив, 5 – екран. Для спостереження інтерференційної картини у відбитому світлі об'єктив закріпіть в підставці-тринозі від універсального штативу.

Для демонстрації кілець Ньютона у відбитому світлі прилад «кільця Ньютона» розташуйте на оптичній лаві під кутом  $45^\circ$  до оптичної вісі конденсора. Переміщуючи його вздовж оптичної вісі, одержить на поверхні лінзи освітлену круглу пляму. Діафрагма усуне небажане освітлення інших частин приладу. Переміщуйте об'єктив вздовж пучка променів, відбитих від поверхні приладу, щоб одержати на екрані чітке зображення кілець у відбитому світлі.

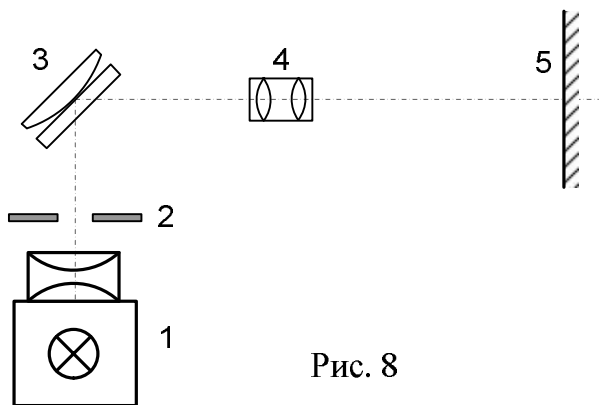


Рис. 8

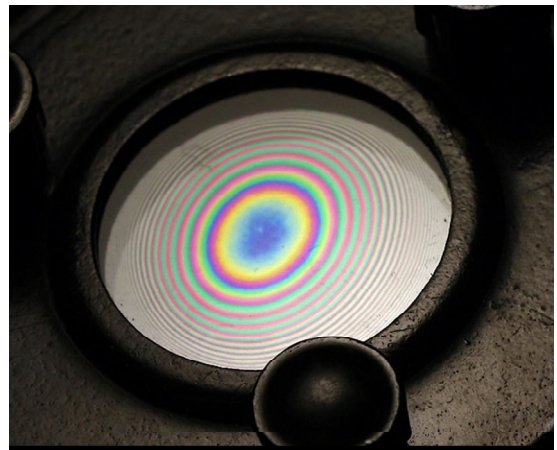


Рис. 9

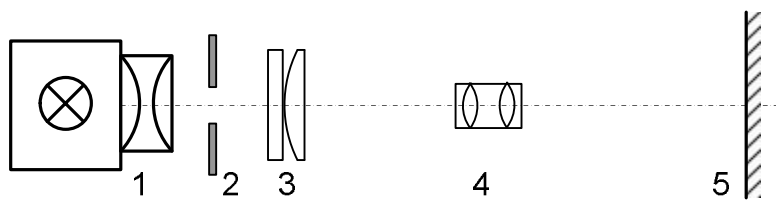


Рис. 10

Продемонструйте обидва варіанти спостереження інтерференційної картини. Для спостереження в монохроматичному світлі використайте світлофільтри.

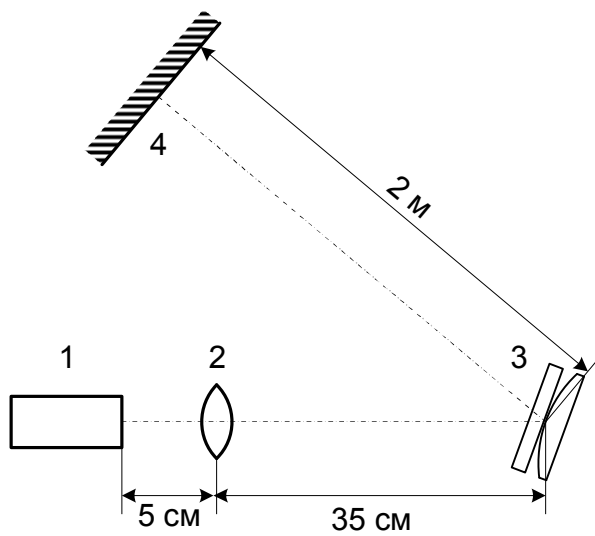


Рис. 11



Рис. 12

2. Схема розташування приладів для демонстрації кілець Ньютонa з допомогою лазера показана на рис. 11.

Цифрами позначено: 1 – лазер, 2 – лінза з фокусною відстанню 17 мм, 3 – прилад «Кільця Ньютонa», 4 – екран. Орієнтовні відстані між елементами схеми вказані на рисунку. Як і у випадку демонстрації з біпризмою, збираючу лінзу можна замінити розсіювальною.

### Завдання 3. Продемонструйте інтерференцію світлових хвиль в тонких плівках.

Для виконання цієї демонстрації треба виготовити саморобну дротяну петлю, яку можна певним чином закріпити в рейтері проекційного апарату (рис. 12).

1. Розташуйте на оптичній лаві проекційного апарату конденсор 1 і дротяну петлю 2 згідно зі схемою рис. 13. Об'єктив 3 закріпіть в підставці-тринозі від універсального штативу.

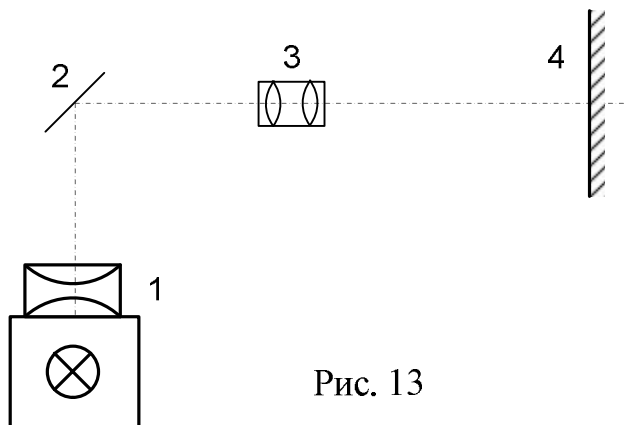


Рис. 13

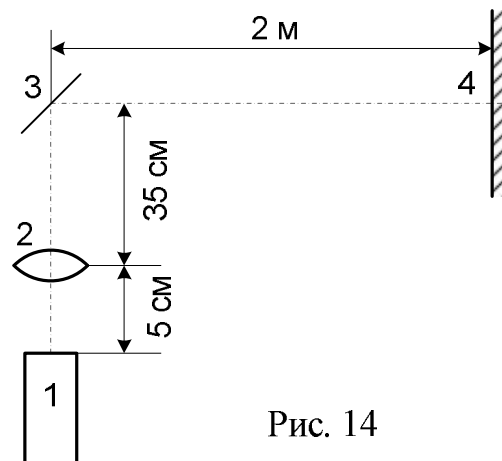


Рис. 14

Відстань від петлі до конденсора повинна бути такою, щоб пучок світла повністю її освітлював. Для зручності регулювання розташуйте за петлею впритул до неї невеликий аркуш білого паперу і переміщуйте петлю разом з ним.

Поставте під петлю склянку з мильним розчином і, піднімаючи склянку, занурте всю петлю в розчин. Приберіть склянку і залиште її на столі під петлею. На петлі повинна утворитися яскраво освітлена мильна плівка (рис. 13а).

На шляху світлового пучка, що відбився від мильної плівки, встановіть об'єктив на тринозі від універсального штативу. Переміщуючи об'єктив вздовж пучка, отримайте на екрані чітке зображення



Рис. 13а

мильної плівки з яскравими кольоровими інтерференційними смугами.

Між плівкою і конденсором розташуйте світлофільтри і покажіть картину в монохроматичному світлі.

2. Продемонструйте явище інтерференції в тонких плівках в монохроматичному світлі з допомогою лазера. Схема розташування приладів для цієї демонстрації показана на рис. 14. Цифрами позначено: 1 – лазер, 2 – лінза з фокусною відстанню 17 мм, 3 – плівка, 4 – екран. Орієнтовні відстані між елементами схеми вказані на рисунку.

#### Завдання 4. Продемонструйте явище дифракції світлових хвиль.

1. Дифракція світла від тонкої нитки.

Досліди з дифракцією світла досить просто виконуються з використанням лазера. Дротину діаметром 0,1 – 0,05 мм натягніть на рамку від діапозитиву і закріпіть кінці дротини шматочками липкої стрічки. Розташуйте лазер 1, лінзу 2, дротину на рамці 3 та екран 4 так, як показано на рис. 15. На екрані одержується зображення, подібне рис. 16.

2. Дифракція світла від вузької щілини.

Направте промінь лазера безпосередньо на розсувну щілину. Зменшуйте ширину щілини приблизно до 0,2 мм. На екрані одержите дифракційну картину з максимумами і мінімумами (рис. 17).

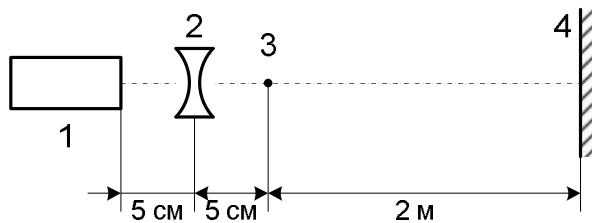


Рис. 15

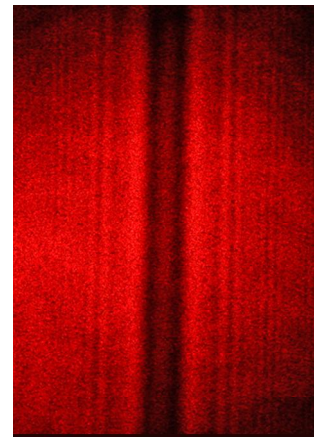


Рис. 16



Рис. 17

Схема ще одного варіанту демонстрації з лазером показана на рис. 18.

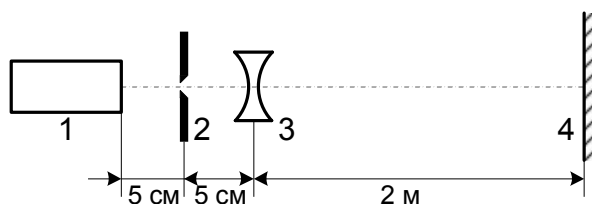


Рис. 18

### 3. Одержання дифракційного спектра з допомогою дифракційної ґратки.

Підготовка досліду починається з одержання на екрані різкого зображення освітленої щілини. Для цього можна скористатися оптичною лавою, розташувавши прилади згідно схеми рис. 19.

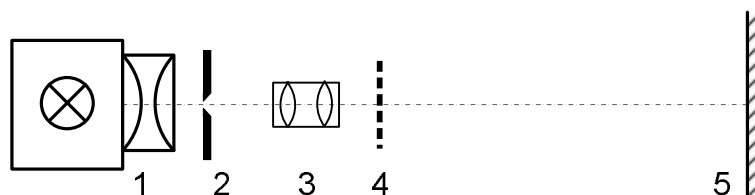


Рис. 19

Ще простіше використати потужний діапроектор, вставивши на місце діапозитиву рамку з щілиною шириною 2 – 3 мм. Перед об'єктивом встановіть дифракційну ґратку так, щоб її штрихи були паралельні щілині.

На екрані утвориться дифракційна картина, що складається з білої смуги в середині (центрального максимуму) і ряду спектрів, розташованих симетрично ліворуч і праворуч від неї. При віддаленні від центра спектри стають більш широкими і менш яскравими. Це спектри першого, другого і т. д. порядків (рис. 20). В дифракційному спектрі відстані кольорових смуг від центрального максимуму пропорційні довжинам хвиль.



Рис. 20

Використавши світлофільтри, продемонструйте спектри для променів різних кольорів. Дифракційну картину для монохроматичного світла одержить з допомогою лазера (рис. 21). При наявності ґраток з різним числом штрихів на мм, продемонструйте залежність дифракційної картини від значення сталої дифракційної ґратки.



Рис. 21

### Завдання 5. Продемонструйте явище дисперсії.

Як і у випадку дифракційного спектра, підготовка демонстрації суцільного дисперсійного спектра починається з одержання на екрані різкого зображення освітленої щілини. Схему розташування елементів установки зображено на рис. 22, де цифрами позначено: 1 – освітлювач проекційного апарату з конденсором, 2 – щілина, 3 – об’єктив, 4 – призма, 5 – екран. Знову ж краще скористатись потужним діапроектором, вставивши на місце діапозитиву рамку з щілиною шириною 1,5 – 2 мм.

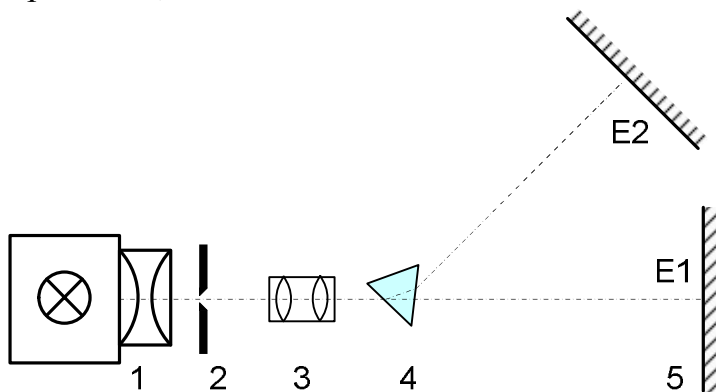


Рис. 22

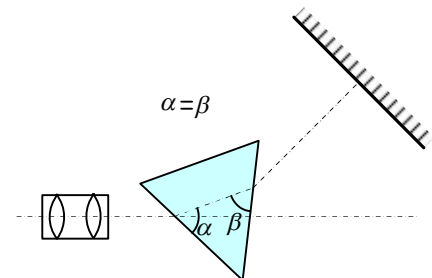


Рис. 23

Тимчасово приберіть призму, включіть проекційний апарат (напругу на лампі спочатку підтримуйте близько 180 В) і одержить на екрані, розташованому перпендикулярно до головної оптичної вісі проекційного апарату (положення E1) різке зображення щілини. Щілину треба встановити на оптичній лаві в такому положенні, де світловий конус її повністю перекриває. Відстань між ножами щілини повинна бути рівна 2 – 3 мм.

Потім поставте перед об’єктивом на столику призму так, щоб її заломлююче ребро було паралельне щілині а увесь пучок світла проходив крізь грані заломлюючого кута. Оскільки призма відхиляє промені від оптичної вісі, то екран

тепер треба розташувати в положенні E2. Відстані від об'єктива до екрану в обох випадках повинні бути однаковими. На екрані утворюється яскравий суцільний спектр (рис. 24). Демонстрацію бажано виконувати в затемненому кабінеті.



Рис. 24

Трохи повертаючи навколо вертикальної вісі призму, встановіть її в положення, коли кут між пучком світла, що виходить з призми, і оптичною віссю об'єктива не стане найменшим. В цьому положенні заломлений пучок світла буде паралельний основі призми (рис. 23). Призма зі скла «Флінт» дає більш розтягнутий спектр, ніж призма зі скла «Крон»

При наявності призми прямого зору розташуйте її перед об'єктивом. Спектр в цьому випадку одержується на екрані, розташованому в положенні E1. Призма прямого зору зображена на рис. 25, а хід променів у ній зображено на рис. 26. Кути  $\alpha_1$  і  $\alpha_2$  та показники заломлення  $n_1$  і  $n_2$  підібрані таким чином, щоб один з кольорових пучків виходив з призми в напрямі падаючого променя, а дисперсія була найбільшою.



Рис. 25. Призма прямого зору

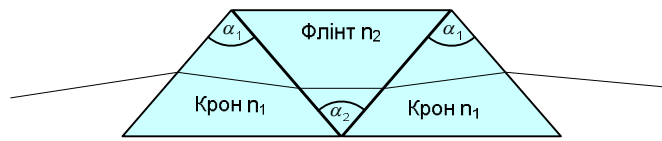


Рис. 26

### Завдання 6. Продемонструйте явище поляризації.

Для демонстрації зберіть установку за рис. 27. Закріпіть поляроїди на ширмах-дисках проєкційного апарату (позиції 2 і 3 на рисунку). Перед конденсором проєкційного апарату розташуйте тепловий фільтр (позиція 1), який запобігатиме перегріванню поляроїдної плівки. Починається демонстрація з одного поляроїда. Увімкніть проєкційний апарат і розташуйте поляроїд у світловому конусі від конденсора. З допомогою об'єктиву спроектуйте на екран освітлений поляроїд. Повертаючи поляроїд на довільний кут покажіть, що ніяких змін на екрані нема. Дослід повторіть з другим поляроїдом.

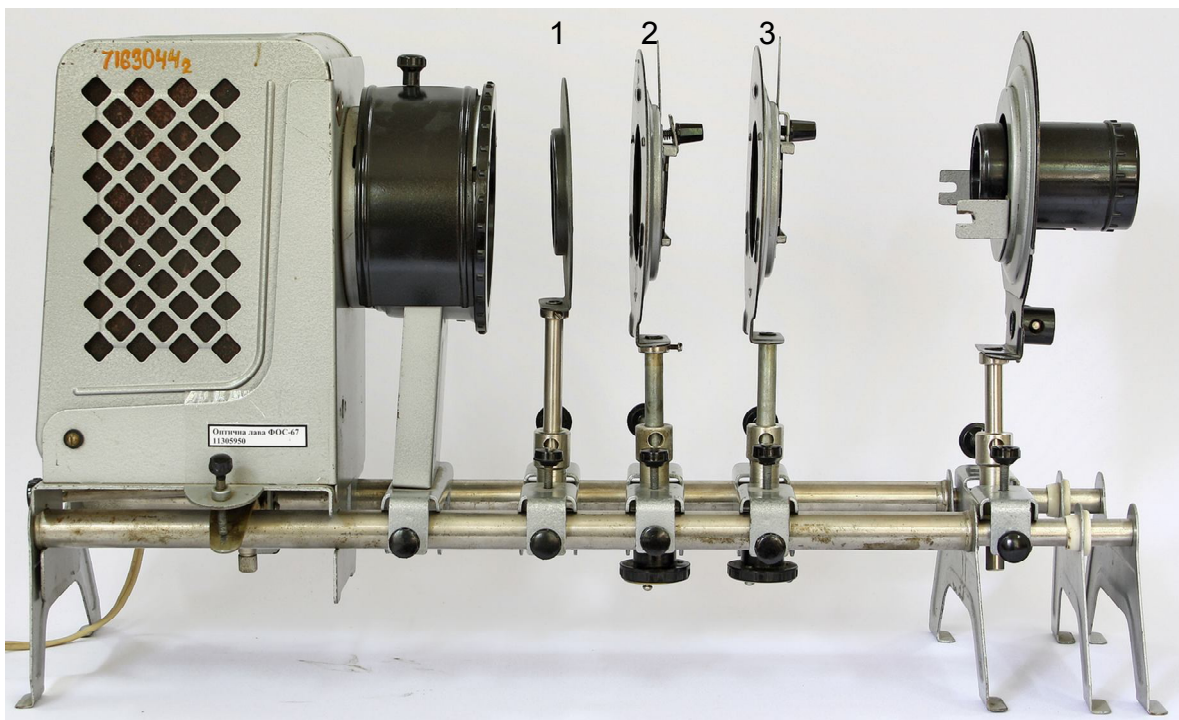


Рис. 27

Далі встановіть на оптичній лаві обидва поляроїда таким чином, щоб площини поляризації були паралельні. Поляроїди розташуйте так, щоб фокус світлового пучка, що виходить з конденсора, виявився за другим поляроїдом. Освітлену частину другого поляроїда спроектуйте на екран і повільно повертайте



другий поляроїд на кут  $90^\circ$  відносно першого. Спостерігайте поступове зменшення освітленості. Подальший поворот на  $180^\circ$  приводить до збільшення освітленості, при куті  $270^\circ$  освітленість знову стає мінімальною.

Поміняйте поляроїди місцями і повторіть дослід. Переконайтесь, що кожний з поляроїдів може бути поляризатором і аналізатором.

Для невеликої групи учнів дану демонстрацію можна виконувати без проєкційного апарату. Запропонуйте учням спостерігати описані явища, тримаючи поляроїди в руках і дивлячись через них на яскраво освітлений аркуш білого паперу.

З допомогою поляризованого світла можна досліджувати деформації в твердих тілах. Розташуйте між поляроїдами модель рейки з органічного скла, закріплену у гвинтовий прес. Спроектуйте на екран зображення моделі при не схрещених поляроїдах, потім схрестіть поляроїди і стисніть модель гвинтом. На екрані з'явиться картина розподілу механічних напруг в моделі.

### **Контрольні запитання**

1. Якими способами можна одержати когерентні пучки світла?
2. Поясніть інтерференційну картину, яку спостерігали в білому світлі.  
Як одержати картину в монохроматичному світлі?
3. Порівняйте картини інтерференції на приладі «кільця Ньютона» у відбитому світлі та у світлі, що проходить через прилад.
4. Чому в досліді з мильною плівкою відстані між інтерференційними смугами не були однаковими?
5. Чому для спостереження дифракції необхідно використовувати дуже тонку дротину і дуже вузьку щілину?
6. Чим відрізняється дифракційний спектр від дисперсійного?
7. Як змінюється дифракційний спектр при зменшенні періоду дифракційної ґратки?
8. Чим відрізняється поляризоване світло від природного?
9. Де на практиці використовують явище поляризації?

## ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 5

### КВАНТОВІ ВЛАСТИВОСТІ СВІТЛА. БУДОВА АТОМА

**Мета роботи:** Ознайомитись з технікою підготовки і методикою проведення найбільш важливих дослідів з квантових властивостей світла та до розділу «Атомна і ядерна фізика».

**Прилади і матеріали:** Індикатор фотонів, електрометр, ебонітова та скляна палички, пластинки: цинкова, алюмінієва, мідна, освітлювач ультрафіолетовий «Фотон», скляна пластинка, проєкційний апарат ФОС-67, фотоелемент Ф-26 (або СЦВ-4) на підставці, два мультиметра, випрямляч ВУП-2, батарея гальванічних елементів з е.р.с. 4,5 В, реостат 500 Ом або магазин опорів Р33, світлофільтри: червоний, жовтий і синій, камера Вільсона, індикатор іонізуючих частинок (лічильник Гейгера-Мюллера), дозиметр-радіометр МКС-05 «ТЕРРА-П», джерело  $\beta$ -частинок, пластинки з різних матеріалів.

#### Теоретичні відомості

В цій роботі об'єднано вивчення демонстрацій до теми «Квантові властивості світла» розділу «Оптика» та до розділу «Атомна та ядерна фізика».

Найважливішими демонстраціями при вивченні квантових властивостей світла є демонстрації, що ілюструють явище фотоефекту. Першою серед них є демонстрація зовнішнього фотоефекту, яку виконують, використовуючи цинкову пластинку і джерело ультрафіолетового випромінювання. Для шкіл був розроблений і випускався приблизно з 1990 року «Комплект по фотоефекту КПФ.1 (учбовий)». На наш погляд, це дуже вдалий набір приладів, який дає можливість з мінімальними затратами часу виконати найбільш необхідні демонстрації при вивченні зовнішнього фотоефекту.

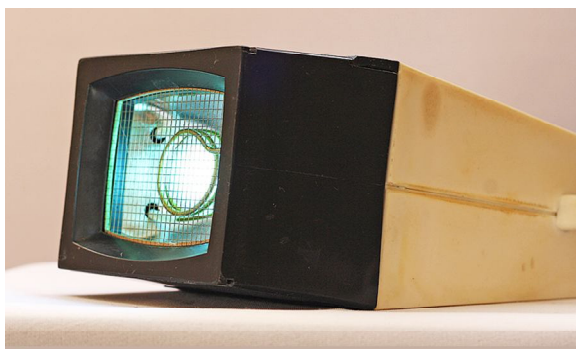


Рис. 1

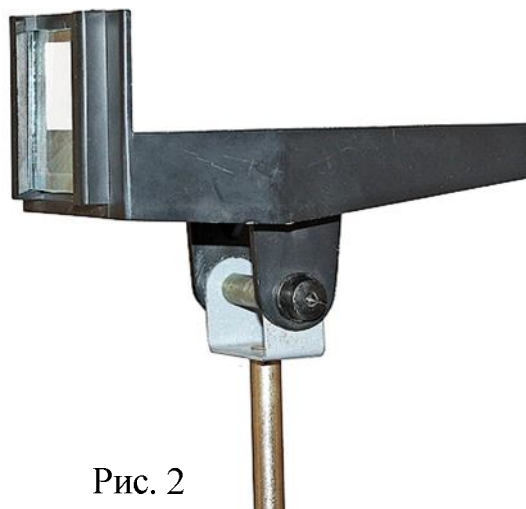


Рис. 2

В комплекті набору в якості джерела ультрафіолетового випромінювання використаний косметичний прилад «Фотон» (рис. 1) – малогабаритний, зручний і надійний в користуванні.

Освітлювач встановлюється на основу (рис. 2), яка з допомогою стержня закріплюється в рейтері оптичної лави проекційного апарату чи на універсальному штативі. Перед вихідним вікном освітлювача на основі зроблені спеціальні направляючі для розташування скляної пластинки.

До набору входять також: фотоелемент Ф-26 (рис. 3) в спеціальному корпусі для установки на оптичній лаві, цинкова і мідна пластинки, червоний, жовтий і синій світлофільтри та скляна пластинка.

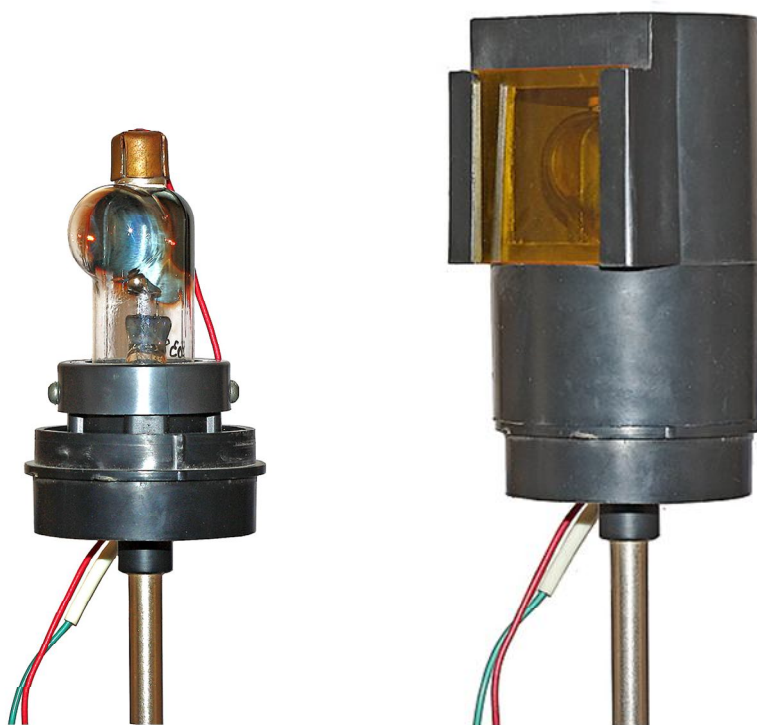


Рис. 3

У випадку відсутності такого набору основною проблемою буде знайти джерело ультрафіолетового випромінювання. В якості фотоелемента можна використати фотоелемент СЦВ-4 або СЦВ-3, СЦВ-5. Всі інші елементи набору можна запозичити з інших наборів (наприклад, світлофільтри) чи виготовити самостійно.

Працюючи з джерелами ультрафіолетового випромінювання, необхідно пам'ятати, що ці промені біологічно активні і можуть нанести шкоду. Не допускайте попадання променів на очі, користуйтеся захисними окулярами. Звичайні окуляри зі скляними лінзами теж захищають від ультрафіолетових променів.

Особливістю роботи освітлювача «Фотон» є те, що час його неперервної роботи становить всього 5 хвилин, після чого його слід вимкнути не менш, ніж на 10 хвилин.

Демонстраційне забезпечення розділу «Атомна і ядерна фізика» обмежується в основному приладами для спостереження і реєстрації іонізуючих частинок. Найбільш доступними серед них є: камера Вільсона, індикатор іонізуючих частинок демонстраційний та різні радіометри промислового виробництва. Можливо, в деяких школах зберігся спінтарископ, проте в силу специфіки роботи з ним він може бути використаний лише для індивідуальних спостережень. Тому при вивченні розділу особливе значення набуває використання відео фрагментів, демонстрація фотографій, рисунків, схем і т. п.

Серед випущених для шкіл індикаторів іонізуючих частинок (ИЧД, ИЧД-2, ИД-1), найбільш популярний, на наш погляд, індикатор ИД-1. Можливість підключати його безпосередньо до освітлювальної мережі, наявність на одній панелі всіх елементів індикатора, відповідність принципової і монтажної схем – все це робить його зручним у використанні. Такий індикатор при наявності лічильної трубки типу СБМ-20 можна виготовити на заняттях фізико-технічного гуртка.

Дещо змінена принципова схема індикатора наведена на рис. 4, а зовнішній вид власноруч виготовленого індикатора – на рис. 5. Корпус використаний від оригінального індикатора, випущеного ще в 1960 році.

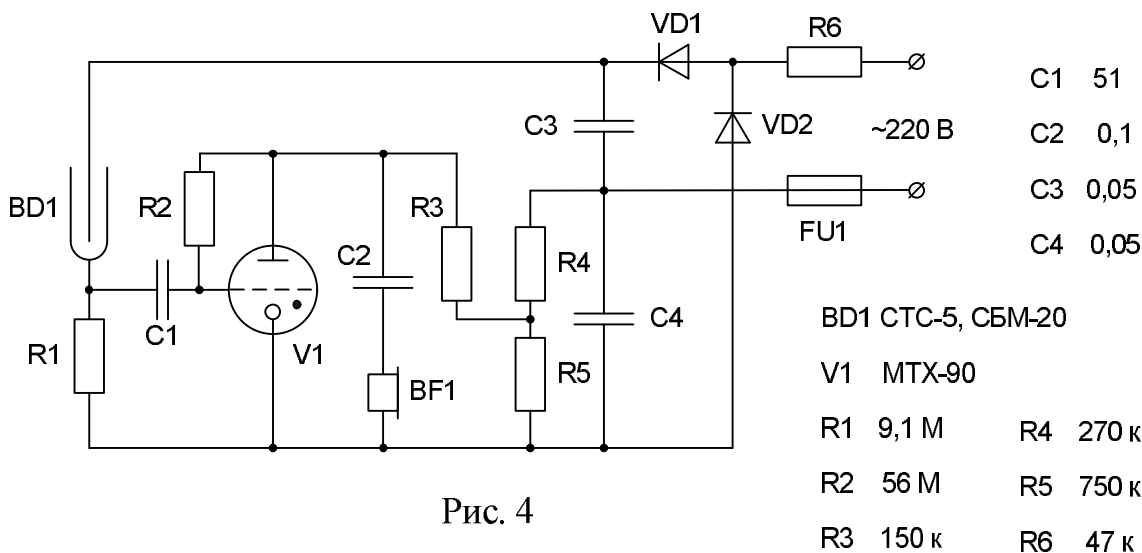


Рис. 4

Розглянемо конструкцію і принцип дії індикатора іонізуючих випромінювань.

Лічильна трубка становить собою тонкостінний металевий циліндр, вздовж вісі якого натягнута тонка металева дротина. Металевий корпус циліндра є катодом, а тонка дротина – анодом. Циліндр заповнений інертним газом аргоном з

домішкою пари етилового спирту. Різка асиметрія електродів приводить до того, що електричне поле в малій області навколо анодної дротини дуже велике і мале в іншому внутрішньому просторі газорозрядної трубки.

Якщо заряджена частинка пролітає через лічильник, то вздовж своєї траєкторії вона здійснює первинну іонізацію газу. Електрони і позитивні іони, що при цьому утворюються, розганяються електричним полем і рухаються до відповідних електродів. Електрони попадають в область сильного електричного поля і поблизу дротини значно прискорюються. В результаті виникає вторинна ударна іонізація. Поле в області анода настільки велике, що вибиті електрони встигають розігнатися і, в свою чергу, здійснюють нову вторинну іонізацію і т. д. Цей процес має лавинний характер. Струм в газі різко збільшується і, пройшовши через високоомний резистор R1 в колі електроживлення трубки, створює на ньому імпульс напруги. Цей імпульс через роздільний конденсатор C1 поступає на сітку тиратрона МТХ-90, в якому при цьому виникає розряд. Через тиратрон розряджається і конденсатор C2, завдяки чому в телефоні ВФ1 чути різкий звук (кляцання).

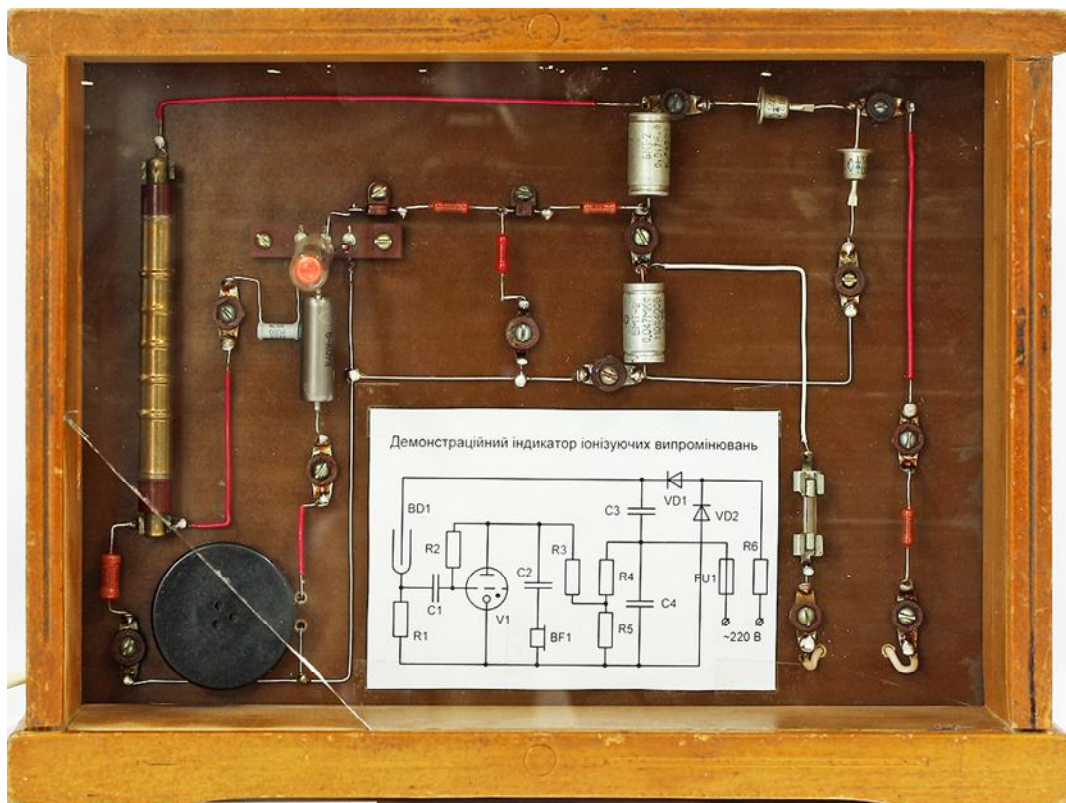


Рис. 5

Пара етилового спирту потрібна для того, щоб поглинати фотони, які утворюються при збудженні електронами нейтральних атомів газу. Ці фотони

могли б в результаті фотоефекту вибити з катоду фотоелектрони і викликати повторні лавини. Позитивні іони аргону при ударі об катод теж могли б вибити з нього електрони. Проте в процесі зіткнення іону аргону з молекулою спирту має місце нейтралізація аргону та іонізація молекули спирту.

Таким чином, підбір складу і тиску газової суміші та напруги, яка прикладена до електродів, дає можливість припинити самостійний розряд в газі, викликаний іонізуючим випромінюванням. Такі газорозрядні лічильні трубки, наповнені багатоатомними газами, називають самогасними.

Приєднавши паралельно телефону лічильник секундомір ССЭШ-63 (в режимі лічби електричних імпульсів), можна одержати лічильну установку. Джерело бета- і гама-випромінювань для демонстраційних дослідів можна виготовити наступним чином. В алюмінієвий циліндр від електролітичного конденсатора старого типу діаметром близько 30 мм і висотою 70 мм насипте карбонату калію  $K_2CO_3$ . Тонким папером заклейте торцеву частину циліндра: вона і буде вікном випромінювання. Крім карбонату калію можна використати хлорид калію  $KCl$ .

### **Хід роботи.**

#### **Завдання 1. Продемонструйте зовнішній фотоефект на цинковій пластинці.**

Цинкову пластинку зачистіть дрібнозернистим наждачним папером до блиску з однієї сторони і встановіть її на стержні електрометра з допомогою спеціального тримача у вертикальному положенні. На відстані 30 – 40 см від електрометра встановіть основу освітлювача так, щоб прямокутний отвір основи був розташований на одній висоті з цинковою пластинкою. Зніміть прозору кришку з освітлювача «Фотон» і розташуйте його на основі (рис. 6).

Перед початком демонстрації вставте в пази основи освітлювача (перед вихідним вікном) непрозору ширму з картону і включіть «Фотон» в мережу. Цинкову пластинку зарядіть від'ємним зарядом від ебонітової палички. Як тільки стрілка електрометра припинить коливання і буде видно, що заряд на електрометрі залишається постійним, приберіть ширму. Спостерігайте швидку втрату цинковою пластинкою від'ємного заряду.

Зверніть увагу на те, що розряд електрометра починається в момент початку опромінення, і припиняється, якщо освітлювач знову закрити ширмою.

Після цього знову закрийте ширмою освітлювач, а цинкову пластинку зарядіть позитивним зарядом від скляної палички. Корисно під час заряджання електрометра перевіряти знак його заряду. Приберіть ширму і переконайтесь, що стрілка електрометра залишається нерухомою навіть при тривалому опроміненні. Світло не може вибити з цинку позитивні заряди, а електрони не вибиваються тому, що їх утримує електричне поле позитивного заряду.



Рис. 6

Потім направте ультрафіолетове випромінювання на незаряджену цинкову пластинку. Електрони в цьому випадку будуть вириватися з пластинки, але втрата електронів приведе до того, що пластинка зарядиться позитивно і фотоефект припиниться. Електрометр не в змозі зареєструвати цей малий заряд. Але якщо до цинкової пластинки піднести позитивно заряджену скляну паличку і потримати її деякий час, то стрілка електрометра почне відхилятися і не повернеться в нульове положення після того, як паличку прибрати. Перевірте заряд електрометра – він позитивний. Отже, цинк втрачав електрони а електричне поле позитивно зарядженої скляної палички допомагало їм покинути пластину.

Ще раз нагадаємо, що при роботі з ультрафіолетовим освітлювачем необхідно запобігати попаданню в очі ультрафіолетового випромінювання: не можна направляти промені освітлювача в сторону учнів, а вчитель повинен користуватись спеціальними окулярами.

Не забувайте відключати «Фотон» через 5 хвилин роботи для охолодження на 10 хвилин.

**Завдання 3. Покажіть залежність інтенсивності зовнішнього фотоефекту від світлового потоку, частоти світла та роду речовини.**

Завдання виконується на тій же установці, що й завдання 1.

В пази освітлювача замість картонної ширми вставте скляну пластинку. Зарядіть цинкову пластинку негативним зарядом і направте на неї випромінювання від освітлювача (скло не прибирайте!). Чи розряджається пластинка? Приберіть скло – цинкова пластинка починає розряджатись. Зробіть висновок.

Перевірте, як залежить швидкість розрядки пластинки від відстані до освітлювача (тобто, від світлового потоку). Зробіть висновок.

Ще раз зарядіть цинкову пластинку негативним зарядом до певного потенціалу (запам'ятайте чи запишіть покази електрометра) і освітіть ультрафіолетовим світлом від освітлювача. Одночасно включіть секундомір і виміряйте час, за який електрометр повністю розрядиться.

Тепер замініть в установці цинкову пластинку мідною, теж попередньо гарно зачистивши її наждачним папером. Зарядіть мідну пластинку негативним зарядом до того ж потенціалу, що і в попередньому досліді, і направте на неї ультрафіолетове випромінювання. Відстань від освітлювача до пластинки повинна бути такою ж, як і в попередньому досліді. Виміряйте час, за який пластинка розрядиться. Порівняйте його з часом розрядки цинкової пластинки, зробіть висновок.

#### Завдання 4. Продемонструйте закони зовнішнього фотоефекту.

1. На оптичній лаві проекційного апарату встановіть фотоелемент так, щоб його вікно було направлене в сторону конденсора. Проекційний апарат підключіть до мережі змінного струму через регулятор напруги РНШ. Фотоелемент підключіть до клем 0 – 250 випрямляча ВУП-2 згідно зі схемою рис. 7.

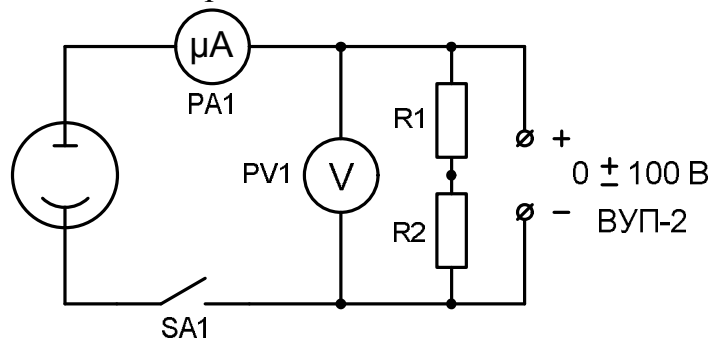


Рис. 7

На рисунку PA1 – це мультиметр DT830B в режимі мікроамперметра (межа 200  $\mu\text{A}$ ), а PV1 – це такий же мультиметр в режимі вольтметра постійного струму (межа 200 В). Зовнішній вид установки зображений на рис. 8.





Рис. 8

Включіть проєкційний апарат і встановіть з допомогою РНШ таке розжарення лампи освітлювача, щоб струм фотоелемента при напрузі, рівній нулю, дорівнював  $0,8 - 0,9$  мкА. Потім включіть випрямляч ВУП-2 (перед включенням ручку регулятора напруги поставте на 0!) і регулятором напруги ВУП-2 встановіть на аноді напругу приблизно 10 В. Запишіть значення фотоструму і продовжуйте збільшувати напругу. Через кожні 10 – 15 В записуйте значення напруги і сили струму. При напрузі 50 – 60 В збільшення фотоструму практично припиняється і настає стан насичення фотоструму. За даними вимірювань побудуйте графік залежності фотоструму від напруги – вольт амперну характеристику (ВАХ) фотоелемента. Приклад експериментальної ВАХ наведено на рис. 9.

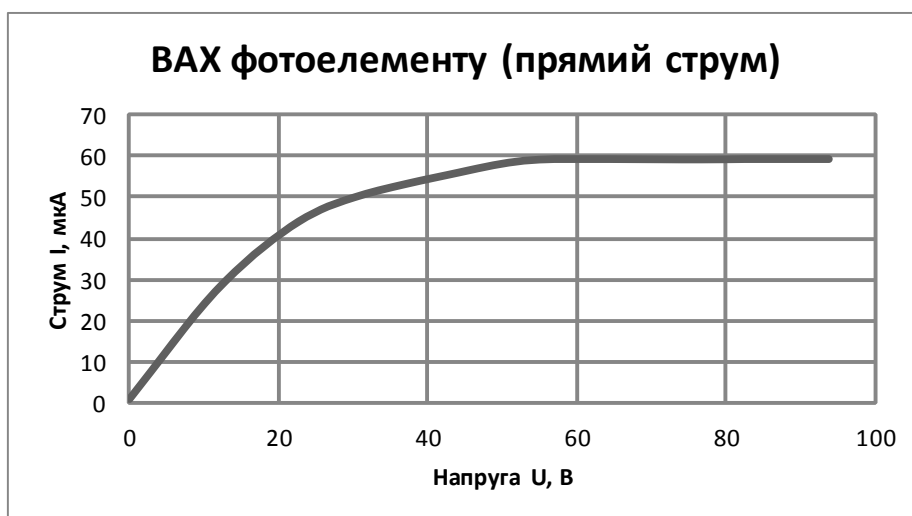


Рис. 9

При збільшенні розжарення лампи проєкційного апарату насичення настає при більших значеннях напруги.

2. Розташування приладів на оптичній лаві ФОС залишається попереднім, але фотоелемент тепер підключається до джерела напруги так, щоб анод з'єднувався з негативним полюсом джерела, а катод – з позитивним. Крім того, напруга на катод знімається з потенціометра R1 опором 500 Ом – 1 кОм (див. рис. 10). Це пов'язане з тим, що тепер на катод треба подавати напругу від 0 до + (0,4 – 0,7) В. Межу вимірювання вольтметра PV1 треба встановити на 20 В.

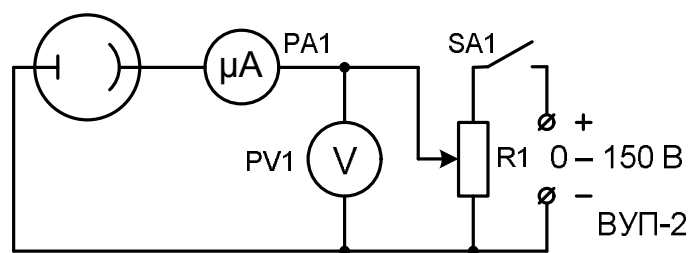


Рис. 10

Замість потенціометра R1 можна використати подільник напруги 1:100, зібравши його за схемою рис. 11, і встановлювати напругу 0,1 – 0,7 В, подаючи на вхід подільника напругу 10 – 70 В від випрямляча ВУП-2.

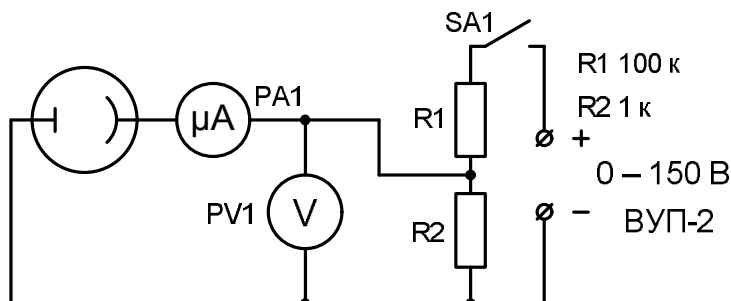


Рис. 11

Увімкніть мультиметри і покажіть, що при відсутності напруги і затемненому фотоелементі струм в колі дорівнює нулю. Циліндричний футляр корпусу фотоелемента при цьому бажано повернути на 180° – в сторону, протилежну освітлювачу.

Увімкніть освітлювач ФОС і встановіть неповне розжарення лампи. Повертаючи футляр корпусу фотоелемента, розверніть його вікном до освітлювача. Змінюючи розжарення лампи, встановіть струм приблизно 1 мкА. Вставте в пази футляру фотоелемента синій світлофільтр і переконайтесь, що фотострум зменшився в незначній мірі. Вставте жовтий світлофільтр: покази

мікроамперметра значно зменшуються. При використанні червоного світлофільтра фотострум майже припиняється. Поясніть результати дослідів.

Залиште в футлярі синій світлофільтр і включіть випрямляч ВУП-2. Потенціометр R1 повинен бути в нижньому (за схемою рис. 10) положенні. Регулятором напруги ВУП-2 встановіть невелику вихідну напругу і, рухаючи повзунок R1, встановіть напругу 0,1 В. Вихідна напруга випрямляча повинна бути такою, щоб з допомогою R1 можна було б встановлювати напруги з кроком в 0,1 В. Збільшуйте напругу і стежте за зміною фотоструму. Через кожні 0,1 В записуйте значення струму і напруги. При деякій напрузі значення фотоструму стане рівне нулю. Це значення напруги називають **затримуючою напругою**.

Змінюючи інтенсивність освітлення фотоелемента, покажіть, що затримуюча напруга при цьому не змінюється. Врахуйте, що при зміні напруги на лампі освітлювача змінюється спектральний склад світла, тому зміну освітленості фотоелемента треба здійснювати, змінюючи відстань між фотоелементом і освітлювачем. При цьому краще, якщо конденсор буде знятий (на самому початку дослідів 2 завдання 4).

Знайдіть максимальну швидкість фотоелектронів в Ваших дослідах. Побудуйте ВАХ фотоелементу для від'ємних напруг на аноді.

Приклад експериментальної ВАХ наведено на рис. 12.

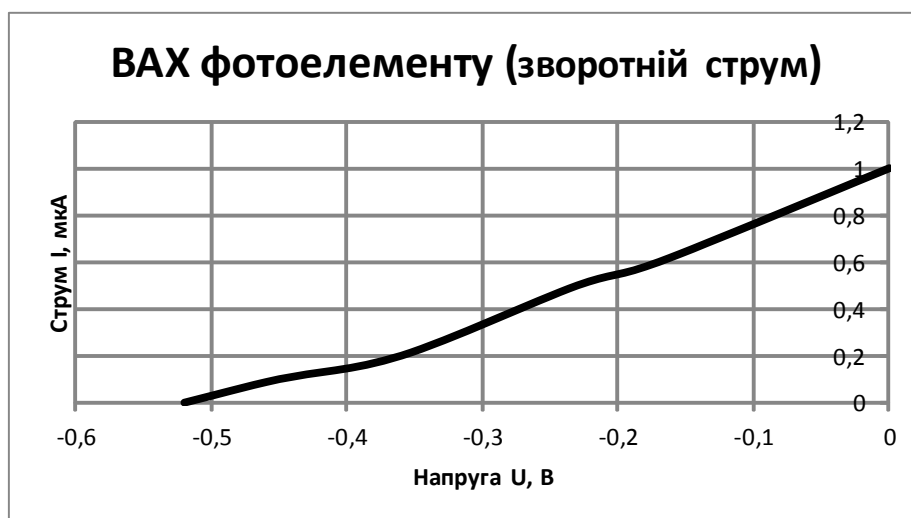


Рис. 12

### Завдання 5. Продемонструйте будову і дію фотореле.

Найпростіше фотореле демонструвалось в роботі № 5 «Струм в середовищах» (завдання 11).

В наступній демонстрації також використовується явище внутрішнього фотоефекту. В якості ключового елемента замість електромагнітного реле використовується транзистор (в даній моделі роль транзистора виконує

електронна збірка – аналог транзистора). Індикація спрацювання реле здійснюється з допомогою світлодіода та генератора звукової частоти, навантаженого на невеликий гучномовець. Принципова схема фотореле зображена на рис. 13, зовнішній вид фотореле – на рис. 14. Поблизу фоторезистора на принциповій схемі вказано його темновий опір  $R_T$  і опір при освітленні  $R_{св}$ .

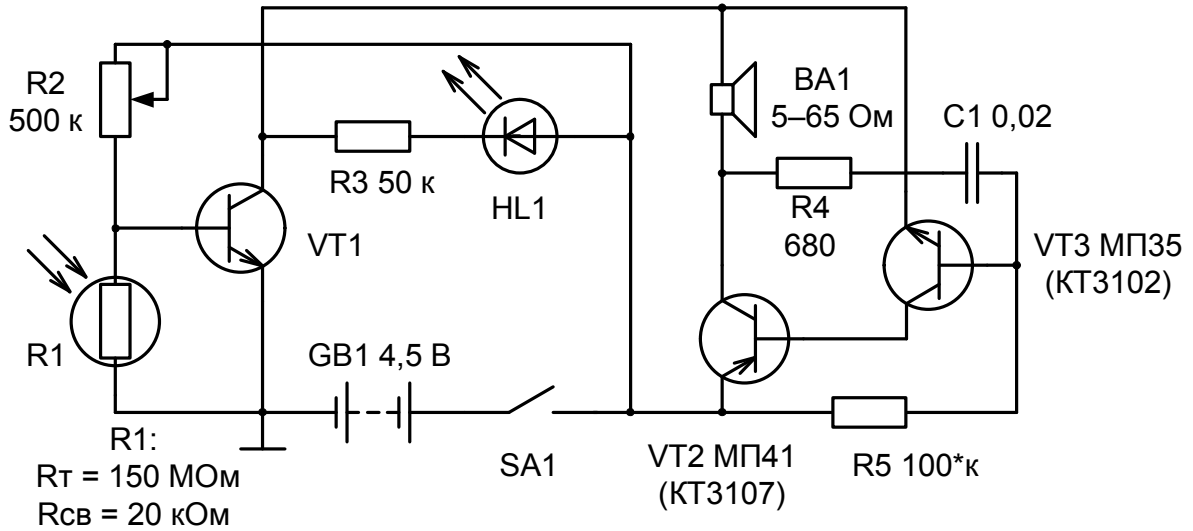


Рис. 13

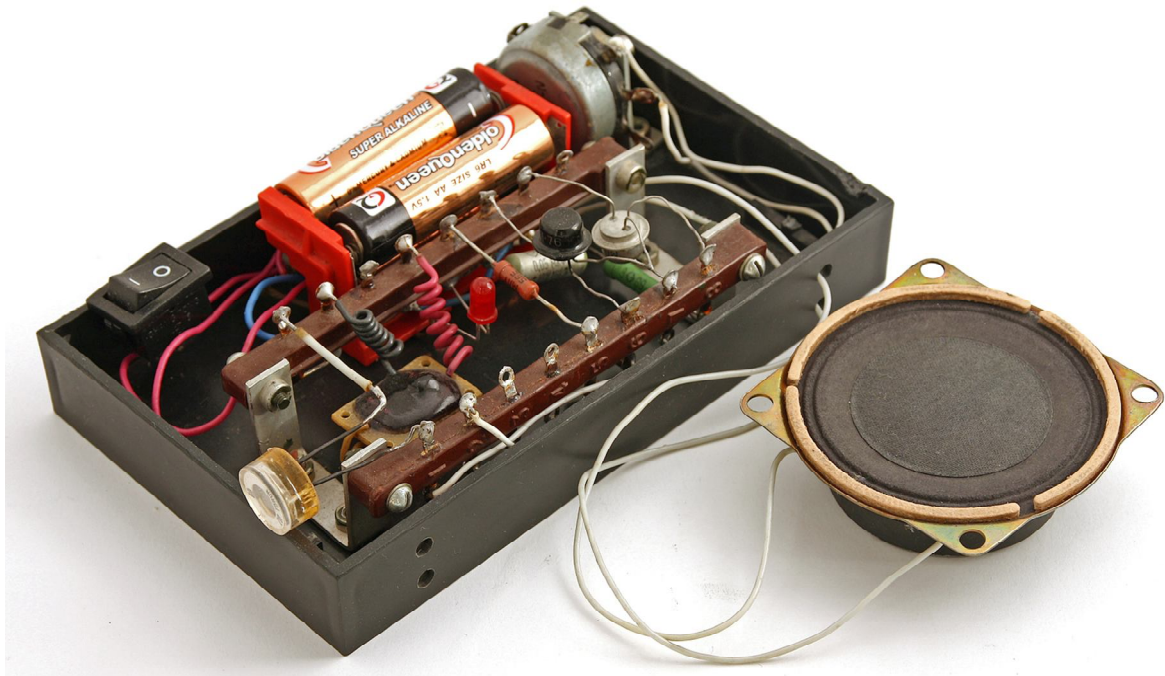


Рис. 14

Увімкнувши джерело живлення резистором R2 підберіть поріг спрацювання реле: при освітленому фоторезисторі на світлодіод і генератор напруга не повинна поступати. Закрийте фоторезистор непрозорим ковпачком (або просто рукою) – вмикається звукова і світлова сигналізація.

### **Завдання 6. Виконайте візуальне спостереження треків в камері Вільсона.**

Корпус камери – це пластмасове кільце зовнішнім діаметром 115 мм і висотою 10 мм, зверху і знизу герметично закрите прозорими пластинами з органічного скла (рис. 15). Стержень з радіоактивною речовиною закріплено в центрі камери. На боковій поверхні камери є штуцер, до якого з допомогою гнучкої трубки приєднується гумова груша.



Рис. 15

Принцип роботи камери ґрунтується на конденсації перенасиченої пари етилового спирту на іонах, які утворюються в газі при проходженні через нього альфа-частинок. Охолодження пари, яке необхідне для створення перенасиченого стану, досягається з допомогою адіабатного розширення з допомогою гумової груші.

Іони в камері утворюються безперервно і для їх видалення з робочого об'єму в камері створюється електричне поле з допомогою електризації органічного скла хутром. Перед початком демонстрації в гумову грушу введіть 1 – 2 краплини суміші, що складається з 50 % спирту, 25 % ацетону і 25 % води. Приєднайте грушу до камери, повільно стисніть грушу і різко відпустіть. В момент розширення в камері утворюються сліди альфа-частинок у вигляді смужок туману (треків). Треки утворюються лише при певному оптимальному режимі стиснення – розширення, який треба експериментально підібрати. З'єднання груші з камерою повинно бути герметичним.

Оскільки сліди альфа-частинок можна спостерігати лише протягом 1 – 2 секунд, то дослід слід повторити декілька раз. Демонстрацію бажано виконати з

використанням проєкційного апарату і пристосування для горизонтальної проєкції. При візуальному спостереженні треків слід підібрати кут спостереження і розташувати під камерою чорний екран.

### **Завдання 7. Продемонструйте роботу лічильника іонізуючих частинок.**

1. Виявлення космічного фону з допомогою лічильника іонізуючих частинок.

Ознайомтеся з будовою і принципом роботи індикатора іонізуючих частинок ІД-1. Детально схема лічильника і принцип його роботи описано в теоретичних відомостях (див. рис. 4, 5).

Включіть індикатор в мережу змінного струму напругою 220 В. Практично одразу лічильник починає спрацьовувати: чути клацання і видно спалахи тиратрону МТХ-90. З допомогою секундоміру оцініть число спрацювань лічильника за 1 хв. Для одержання надійного результату рекомендується проводити спостереження на протязі, наприклад, 5 хвилин, а потім результат поділити на 5. Це природний радіоактивний фон, викликаний наявністю в оточуючому середовищі незначної кількості радіонуклідів та космічним випромінюванням.

Паралельно телефону ВФ1 можна приєднати лічильник – секундомір ССЭШ-63, увімкнутий в режимі лічби електричних імпульсів.

2. Продемонструйте проникну здатність радіоактивного випромінювання.

Для цієї демонстрації потрібне джерело радіоактивного випромінювання. Крім описаного в теоретичних відомостях джерела на основі  $K_2CO_3$ , можна також виготовити джерело зі шкал старих приладів, цифри яких світяться в темряві. Поверхню невеликого аркуша цупкого паперу змащують клеєм ПВА і з допомогою скальпеля зшкрібають фарбу з цифр шкали приладу. Незначної кількості фарби достатньо для виготовлення гарного препарату. Крупинки фарби повинні бути надійно закріплені клеєм на папері. Зберігають препарат в коробочці, обгорнутій листовим свинцем.

Увімкніть лічильник і реєструйте космічний фон. Піднесіть до трубки лічильника радіоактивний препарат і спостерігайте значне збільшення кількості зареєстрованих частинок. Між лічильником і радіоактивним препаратом розташуйте пластини з різних матеріалів (дерево, пластмаса, алюміній, залізо, свинець та ін.) і різної товщини. Встановіть, які речовини і при яких розмірах є прозорими для радіоактивного випромінювання. Порівняйте властивість різних матеріалів поглинати радіоактивне випромінювання. При наявності декількох пластинок з одного матеріалу встановіть, як залежить поглинання випромінювання від товщини поглинаючого шару.

## Завдання 8. Ознайомтесь з роботою дозиметра МКС-05 «ТЕРРА-П».

Дозиметр-радіометр МКС-05 «ТЕРРА-П» (рис. 16) дає можливість виміряти потужність еквівалентної дози та еквівалентну дозу гамма-випромінення а також оцінити забруднення поверхні бета-радіонуклідами. Із-за значної похибки вимірювань (25 %) дозиметр може використовуватись лише як навчальний прилад.



Рис. 16

Кнопки управління роботою дозиметра ПОРІГ і РЕЖИМ розташовані зліва і справа над цифровим індикатором (див. рис. 16). На зворотній частині дозиметра видно кришки відсіку живлення і вікна детектора. На рис. 17 зображено дозиметр зі знятими кришками.

Для увімкнення дозиметра треба короткочасно натиснути кнопку РЕЖИМ. Дозиметр вмикається в режимі вимірювання потужності еквівалентної дози (ПЕД, див. додаток), при цьому на індикаторі висвічується одиниця вимірювання ПЕД « $\mu\text{Sv/h}$ » (мікросіверт за годину) і починають звучати короткочасні звукові сигнали від зареєстрованих гамма-квантів. Вимірювання продовжується близько хвилини, протягом якої цифри індикатора блимають.

Після завершення інтервалу вимірювання на індикаторі висвічується результат вимірювання гамма-фону.



Рис. 17

Наступне короткочасне натискання на кнопку РЕЖИМ переводить дозиметр в режим вимірювання еквівалентної дози. На індикаторі висвічується одиниця вимірювання еквівалентної дози «mSv» (мілізіверт).

Якщо ще раз натиснути кнопку РЕЖИМ, то дозиметр перейде в режим індикації часу (годинник), і, нарешті наступне натискання переводить дозиметр в режим індикації встановленого часу будильника. Чергове натискання переводить дозиметр знову в режим вимірювання ПЕД.

Щоб вимкнути дозиметр треба натиснути і утримувати протягом 4 секунд кнопку РЕЖИМ.

З метою економії енергоресурсу джерела живлення в дозиметрі передбачено автоматичне вимкнення цифрового індикатора та звукової сигналізації зареєстрованих гамма-квантів. Вимкнення відбувається через 5 хвилин після останнього натискання будь-якої з кнопок управління дозиметром. Щоб увімкнути індикатор, треба короткочасно натиснути кнопку РЕЖИМ.

В дозиметрі встановлено значення порогового рівня потужності еквівалентної дози гамма-випромінювання, яке дорівнює 0,3 мкЗв/год, що відповідає максимально допустимому рівню для приміщень згідно з «Нормами радіаційної безпеки України» (НРБУ-97). При перевищенні запрограмованої межі рівня ПЕД вмикається двотональна звукова сигналізація (навіть у випадку, коли дозиметр перебуває в режимі енергозбереження).

1. Ознайомтесь з дозиметром МКС-05 «ТЕРРА-П». Увімкніть дозиметр, короткочасно натиснувши кнопку «РЕЖИМ». Простежте за зміною індикації при повторних натисканнях кнопки. Залиште дозиметр в режимі вимірювання ПЕД. Короткочасні звукові сигнали супроводжуватимуть зареєстровані гамма-кванти, а цифри індикатора будуть блимати.

2. Зорієнтуйте дозиметр метрологічною міткою «+» (див. рис. 16) у



напрямку об'єкта, що обстежується. Приблизно через хвилину цифри на індикаторі перестануть блимати. Запишіть покази індикатора. Через 1 – 2 хвилини повторіть запис. Якщо результати відрізняються, то повторіть ще один – два рази вимірювання з інтервалом у дві хвилини.

3. З метою економії джерела живлення цифровий індикатор приблизно через 5 хвилин після останнього натискання будь-якої з кнопок вимкнеться. Короткочасно натисніть кнопку «РЕЖИМ» – індикатор увімкнеться.

4. Знайдіть середнє значення ПЕД і порівняйте його з максимально допустимим рівнем. Зробіть висновок.

5. Щоб оцінити забруднення досліджуваної поверхні бета-радіонуклідами, треба після вимірювання гамма-фону зняти кришку-фільтр (див. рис. 17) і розташувати дозиметр так, щоб вікно детектора було поблизу досліджуваної поверхні. При відкритій кришці дозиметр реєструє як гамма, так і бета-випромінювання.

6. Виконайте з інтервалом у дві хвилини два – три вимірювання зі знятою кришкою. Запишіть результати вимірювань, закрийте кришку і вимкніть дозиметр.

7. Різниця між вимірюванням з відкритою кришкою і вимірюванням з закритою кришкою дасть оцінку поверхневої забрудненості об'єкту вимірювання бета-радіонуклідами. Знайдіть оцінку поверхневої забрудненості досліджуваної поверхні бета-радіонуклідами, зробіть висновок. **Не забудьте вимкнути дозиметр!**

### Контрольні запитання

1. Яке явище називають зовнішнім фотоефектом? внутрішнім фотоефектом?
2. Як можна пояснити практично миттєву появу фотоефекту?
3. Чи можна з допомогою фотоефекту зарядити цинкову пластинку додатнім зарядом?
4. Чи є фотострум у фотоелементі при напрузі, яка дорівнює нулю? Як це пояснити?
5. Як визначити максимальну швидкість фотоелектронів?
6. Як залежить максимальна швидкість фотоелектронів від частоти світла, яким освітлюють фотоелемент?
7. Опишіть принцип роботи камери Вільсона, бульбашкової камери та лічильника Гейгера.
8. Які частинки можна зареєструвати лічильником Гейгера?
9. Який елемент слід вважати більш радіоактивним: з періодом піврозпаду 1 доба чи 1 година? Чому?
10. В чому різниця між поглинутою і еквівалентною дозами іонізуючого випромінювання?

Наведемо основні характеристики іонізуючого випромінювання та одиниці їх вимірювання.

**Активність нукліда** в радіоактивному джерелі – число розпадів за одиницю часу:

$$A = -\frac{dN}{dt}$$

Одиниці вимірювання активності – беккерель (Бк, одиниця СІ) і кюрі (Ки). 1 Бк = 1 розпад за секунду. 1 Ки =  $3,7 \cdot 10^{10}$  Бк.

**Доза іонізуючого випромінювання** вимірюється різними одиницями в залежності від того, про яку дозу йде мова.

**Експозиційна доза** вимірюється зарядом, який створює іонізуюче випромінювання в одиниці маси повітря:

$$X = \frac{dQ}{dm}$$

Одиниця вимірювання в СІ – кулон на кілограм (**Кл/кг**), позасистемна – рентген (Р). Співвідношення між одиницями:

$$1 \text{ Р} = 2,58 \cdot 10^{-4} \text{ Кл/кг}, \quad 1 \text{ Кл/кг} = 3,876 \cdot 10^3 \text{ Р}.$$

1 Кл/кг – це така кількість рентгенівського чи гамма – випромінювання, яке в 1 кг сухого повітря утворює  $6,24 \cdot 10^{18}$  пар іонів, заряд яких (кожного знаку) дорівнює 1 Кл.

**Поглинута доза** вимірюється енергією випромінювання, яка поглинута одиницею маси речовини:

$$D = \frac{dE}{dm}$$

Одиниця вимірювання в СІ – грей (Гр), позасистемна – рад. Співвідношення між одиницями:

$$1 \text{ Гр} = 1 \text{ Дж/кг} = 100 \text{ рад}.$$

При експозиційній дозі в 1 рентген поглинута доза в повітрі буде рівна 0,85 рад.

**Еквівалентна доза** є мірою біологічного впливу випромінювання на конкретну людину, тобто індивідуальним критерієм небезпеки, зумовленим іонізуючим випромінюванням; вона дорівнює добутку поглинутої дози на коефіцієнт якості (коефіцієнт відносної біологічної ефективності):

$$H = \sum K_i D_i$$

Коефіцієнт якості випромінювання  $K$  залежить від виду випромінювання. Для рентгенівського, гамма і бета випромінювання  $K = 1$ , для нейтронів різних енергій  $K = 3 - 10$ , для  $\alpha$  – частинок  $K = 20$ .

Одиниця вимірювання еквівалентної дози в СІ – зіверт (Зв). Позасистемною одиницею є бер (біологічний еквівалент рада).  $1 \text{ бер} = 0,01 \text{ Зв}$ .

$1 \text{ Зв}$  – еквівалентна доза будь-якого виду іонізуючого випромінювання, поглинутого  $1 \text{ кг}$  біологічної тканини, яка спричинить такий же ефект, як і поглинута доза фотонного випромінювання в  $1 \text{ Гр}$ .

**Потужність еквівалентної дози** – еквівалентна доза за одиницю часу. В більшості випадків обчислюється в мкЗв/год.

**Ефективна еквівалентна доза** – еквівалентна доза, помножена на коефіцієнт, що враховує різну чутливість різних тканин до опромінення.

Оскільки найчастіше доводиться мати справу з гамма та бета опроміненням, то числові значення еквівалентної дози в зівертах і поглинутої дози в греях будуть однакові:  $1 \text{ Зв} = 1 \text{ Гр} = 100 \text{ рад} = 100 \text{ бер}$ .

## Рекомендована література

1. Анциферов Л. И. Практикум по методике и технике школьного физического эксперимента : учеб. пособ. для студентов пед. ин-тов по физ.-мат. спец. / Л. И. Анциферов, И. М. Пищиков. – М. : Просвещение, 1984. – 255 с. : ил.
2. Демонстрационный эксперимент по физике в средней школе : пособ. для учителей / В. А. Буров, Б. С. Зворыкин, А. П. Кузьмин и др. ; [под ред. А. А. Покровского]. – 3-е изд., перераб. – М. : Просвещение, 1978. – (Б-ка учителя физики). – Ч. 1 : Механика, молекулярная физика, основы электродинамики. – 351 с. : ил.
3. Демонстрационный эксперимент по физике в средней школе : пособ. для учителей / В. А. Буров, Б. С. Зворыкин, А. П. Кузьмин и др. ; [под ред. А. А. Покровского]. – 3-е изд., перераб. – М. : Просвещение, 1979. – (Б-ка учителя физики). – Ч. 2 : Колебания и волны. Оптика. Физика атома. – 287 с. : ил.
4. Кучерук І. М. Загальний курс фізики : навч. посіб. – Т. 1 : Механіка. Молекулярна фізика і термодинаміка / І. М. Кучерук, І. Т. Горбачук, П. П. Луцик ; [за ред. І. М. Кучерука]. – К. : Техніка, 2006. – 532 с. : іл.
5. Кучерук І. М. Загальний курс фізики : навч. посіб. – Т. 2 : Електрика і магнетизм / І. М. Кучерук, І. Т. Горбачук, П. П. Луцик. – К. : Техніка, 2001. – 452 с.
6. Кучерук І. М. Загальний курс фізики: навч. посіб. – Т. 3 : Оптика. Квантова фізика / І. М. Кучерук, І. Т. Горбачук. – К. : Техніка, 2006. – 518 с.
7. Малов Н. Н. Основы теории колебаний : пособ. для учителей / Н. Н. Малов. – М. : Просвещение, 1971. – 198 с. : ил.
8. Марголис А. А. Практикум по школьному физическому эксперименту : учеб. пособ. для студентов физ.-мат. фак. пед. ин-тов / А. А. Марголис, Н. Е. Парфентьева, Л. А. Иванова. – 3-е изд. – М. : Просвещение, 1977. – 304 с.
9. Миргородський Б. Ю. Демонстраційний експеримент з фізики : Механіка : посіб. для вчителів / Б. Ю. Миргородський, В. К. Шабаль. – К. : Рад. школа, 1980. – 144 с. : іл.
10. Миргородский Б. Ю. Демонстрационный эксперимент по физике : Колебания и волны / Б. Ю. Миргородский, В. К. Шабаль. – К. : Рад. школа, 1985. – 168 с. : іл.
11. Орехов В. П. Колебания и волны в курсе физики средней школы : пособ. для учителей / В. П. Орехов. – М. : Просвещение, 1977. – 176 с. : ил.
12. Ржепецький В. П. Вивчення фазових співвідношень в колах змінного струму / В. П. Ржепецький, О. І. Сурмило // Наук. часопис Нац. пед. університету ім. М. П. Драгоманова. Серія 5. Педагогічні науки : реалії і перспективи : зб. наук. праць – К. : Вид-во НПУ ім. М. П. Драгоманова, 2008. – Вип. 12. – С. 279–283.
13. Шахмаев Н. М. Физический эксперимент в средней школе : Колебания и волны. Квантовая физика / Н. М. Шахмаев, Н. И. Павлов, В. И. Тыщук. – М. : Просвещение, 1991. – 223 с. : ил. – (Б-ка учителя физики).
14. Шульга М. С. Методика і техніка демонстраційних дослідів з фізики у 6 і 7 класах : посіб. для вчителів / М. С. Шульга. – К. : Рад. школа, 1977. – 192 с.