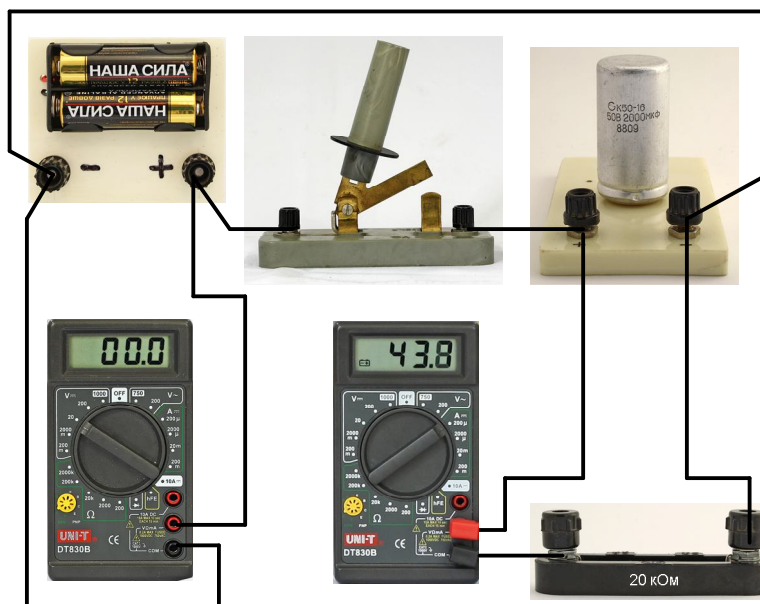


Міністерство освіти і науки України  
ДВНЗ „Криворізький національний університет”  
Криворізький педагогічний інститут  
Фізико-математичний факультет  
Кафедра фізики та методики її навчання

## ФІЗИЧНИЙ ПРАКТИКУМ

для 11 класів

шкіл з профільним вивченням фізики



Кривий Ріг – 2014

**УДК 53(07)(076.5)**

**ББК 22.3**

Фізичний практикум для 11 класів шкіл з профільним вивченням фізики : [методичні рекомендації] / В. П. Ржепецький, М. А. Слюсаренко. – Кривий Ріг : ДВНЗ «КНУ» КП, 2014. – 64 с.

Методичні рекомендації підготовлені доцентами кафедри фізики та методики її навчання Криворізького педагогічного інституту ДВНЗ «КНУ» Ржепецьким В. П. і Слюсаренком М. А. Орієнтовані рекомендації на вчителів фізики, які ведуть заняття в класах академічного та профільного рівня, та студентів випускних курсів педагогічних інститутів, які навчаються за спеціальністю 7.04020301 та 8.04020301 Фізика\*.

Компоновка матеріалу виконана таким чином, що інструкцію до кожної роботи можна надрукувати окремо і використати як роздавальний матеріал для учнів. З 27 робіт, які пропонує програма, в рекомендаціях представлені дев'ять; крім того, пропонується ще одна робота – вивчення мультиметра.

**Рецензент:** Кадченко В. М. – кандидат фізико-математичних наук, доцент кафедри фізики та методики її навчання ДВНЗ „КНУ” КП.

Затверджено на засіданні кафедри фізики  
та методики її навчання  
*Протокол № 4 від 20.11.2014 р.*

*Затверджено радою* фізико-математичного факультету  
ДВНЗ „КНУ” КП.  
*Протокол № 3 від 27. 11.2014 р.*

**ББК 22.3**

© КНУ, 2014

## Робота № 1

### Вимірювання сили струму, напруги та опору

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

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

### Опис приладу

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



Рис. 1



Рис. 2

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".

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 " $V\Omega mA$ ". Провідники закінчуються металевими стержнями з ізолюваними ручками; ці стержні називають щупами. При вимірюваннях щупи слід тримати за ізолювані 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 " $\Omega$ " (мультиметр не підключений до ділянки кола), то на індикаторі висвічується цифра "1". Цифра "1" з'являється на індикаторі також у випадку, коли значення вимірюваної величини більше встановленої межі вимірювання.

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

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

Абсолютні похибки приладу наведено нижче.

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

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

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

Наприклад, при вимірюванні напруги постійного струму покази вольтметра  $U = 2,79 \text{ В}$ , 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  $R = 8,1 \text{ Ом}$ , межа 200 Ом, одиниця найменшого розряду – 0,1 Ом.  $\Delta R = 0,008 \cdot 8,1 \text{ Ом} + 2 \cdot 0,1 \text{ Ом} = 0,2648 \text{ Ом} \approx 0,3 \text{ Ом}$ .

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

## Хід роботи

1. Уважно вивчіть передню панель мультиметра. При виникненні запитань зверніться до опису приладу або до викладача.
2. Увімкніть мультиметр перемикачем, прослідкуйте за зміною індикації при переході з однієї межі на іншу.
3. Залиште перемикач в положенні " $\Omega$  2000k". Приєднайте щупи мультиметра до одного з резисторів (див. рис. 3) і запишіть значення його опору в зошит. Виберіть межу вимірювання, яка дає найбільшу точність. Порівняйте одержане з вимірювань значення опору з номіналом, вказаним на корпусі резистора. Врахуйте, що опір резистора вказується з похибкою 10 % (для окремих резисторів – 5 % чи навіть 1 %). Зробіть висновок.

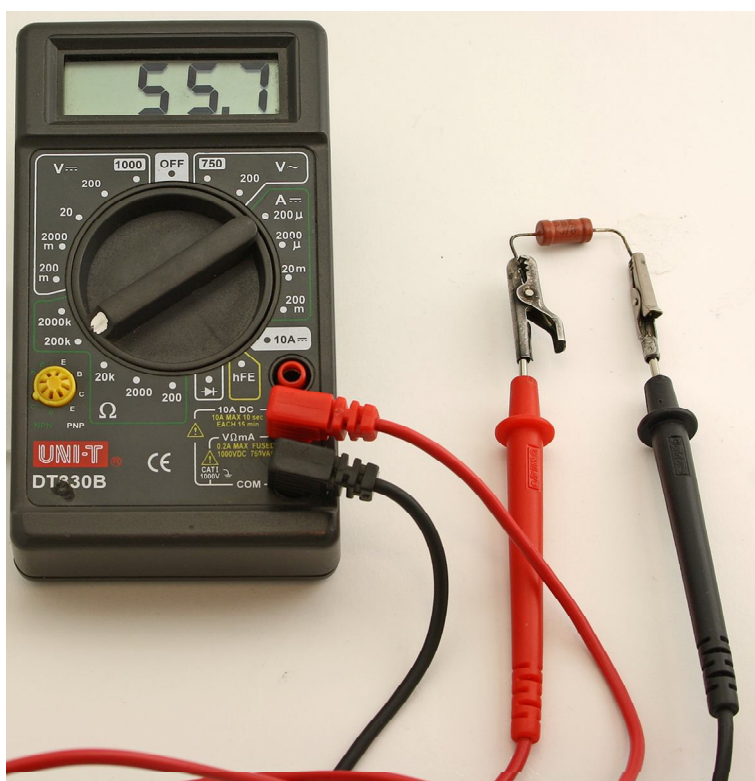


Рис. 3

4. Пункт 3 виконайте для всіх резисторів, що є в наборі. Закінчивши вимірювання, вимкніть прилад (OFF).
5. Підключіть до лабораторної мережі з напругою 220 В джерело змінного та постійного струму В-24М.  
**Будьте обережні! Напруга мережі 220 В небезпечна!**
6. Перемикач мультиметра поставте в положення " $V\sim$ " 200 В.  
**Будьте уважні: неправильне положення перемикача може привести до псування приладу!**
7. Увімкніть В-24М тумблером "Сеть" і поверніть ручку регулятора напруги В-24М за годинниковою стрілкою приблизно на середину шкали. На короткий час приєднайте щупи мультиметра до клем В-24М, позначених " $\sim$ ".



Нагадаємо, що щупи потрібно тримати за діелектричні ручки. Запишіть напругу змінного струму в зошит.

8. Переведіть перемикач мультиметра в положення " $V \text{ --- } 200 \text{ В}$ ". 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, вимкніть В-24М і мультиметр.
9. Складіть електричне коло за схемою рис. 4. Значення додаткового опору  $R_d = 200 \text{ Ом}$ , максимальний опір реостату  $R = 500 \text{ Ом}$ . Перемикач мультиметра поставте в положення " $A \text{ --- } 200 \text{ м}$ ". 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.

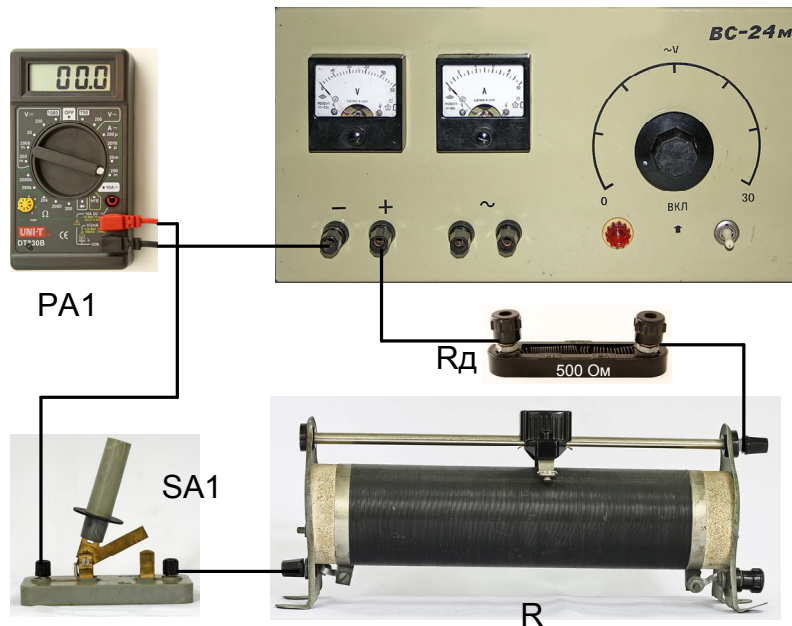


Рис. 4

### Контрольні запитання

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

### **Рекомендації для вчителя**

Дану роботу доцільно виконати перед виконанням робіт практикуму, або ще раніше – перед початком виконання лабораторних робіт з електрики. Роботу слід виконувати фронтально, пояснюючи учням основи роботи з мультиметром.

При відсутності випрямляча ВС-24м можна використати будь-який, підійде і лабораторне джерело живлення ВУ-4.

Напругу змінного струму можна виміряти в розетках лабораторних столів, до яких підведена напруга 42 В.

Вимірювати силу струму мультиметром доводиться не так часто, тому від останнього завдання можна відмовитись

## Робота № 2

### Дослідження процесу розрядження конденсатора та визначення його ємності

**Мета роботи:** Одержати експериментально залежність сили струму розрядження конденсатора від часу. Обчислити заряд конденсатора та його ємність.

**Обладнання:** Електролітичний конденсатор ємністю 1000 – 2000 мкФ, розрахований на напругу 25 – 50 В, джерело постійного струму (батарея гальванічних елементів чи лабораторний випрямляч), два мультиметра типу DT830В, резистор 20 – 50 кОм, вимикач, секундомір, з'єднувальні провідники.

### Теоретичні відомості

Ємність конденсатора можна обчислити за формулою  $C = \frac{q}{U}$ . Напругу на конденсаторі вимірюють вольтметром, а заряд визначають, побудувавши графік залежності струму розрядження конденсатора від часу. Цей графік має вид, подібний до зображеного на рис. 1. Площа, обмежена графіком і осями координат, чисельно дорівнює заряду, який віддав конденсатор при розряджанні.

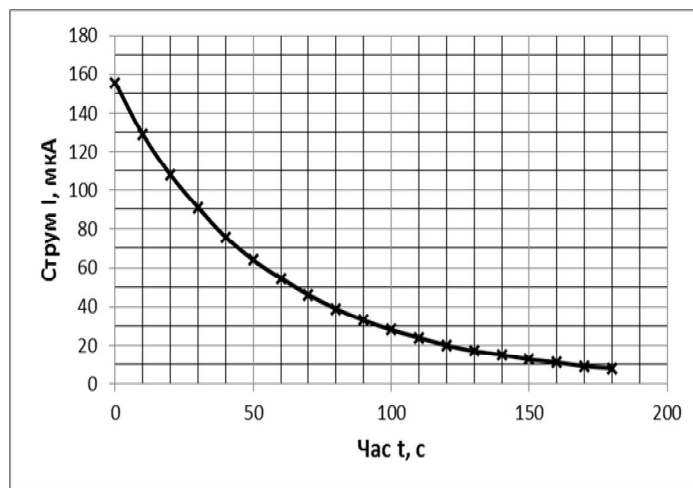


Рис. 1

Щоб обчислити заряд, спочатку визначають, якому заряду відповідає площа однієї клітинки. На рис. 1 вона дорівнює  $q_0 = 10 \cdot 10^{-6} \text{ А} \cdot 10 \text{ с} = 10^{-4} \text{ Кл}$ . Потім підраховують кількість цілих клітинок  $n$  і нецілих клітинок  $k$ ; вважають, що площа під кривою дорівнює  $(n + \frac{1}{2} \cdot k)$  клітинок. Заряд конденсатора дорівнює  $q = q_0 \cdot (n + \frac{1}{2} \cdot k)$ .



## Опис схеми для вимірювання

Схема установки зображена на рис. 2. Вона складається з джерела струму GB1, конденсатора C1, резистора R1, вимикача SA1, вольтметра і амперметра.

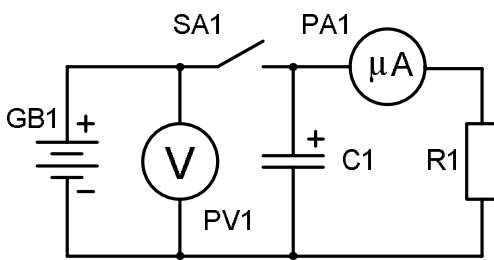


Рис. 2

Як вольтметр використовується мультиметр в режимі вольтметра (межа 20 В), а як мікроамперметр – теж мультиметр в режимі мікроамперметра (межа 200 мкА). Для батареї з е.р.с. 3,2 В опір резистора R1 дорівнює 20 кОм. Конденсатор C1 – це електролітичний конденсатор ємністю від 1000 до 2000 мкФ, розрахований на напругу 25 В або більше.

На рис. 3 зображена монтажна схема установки.

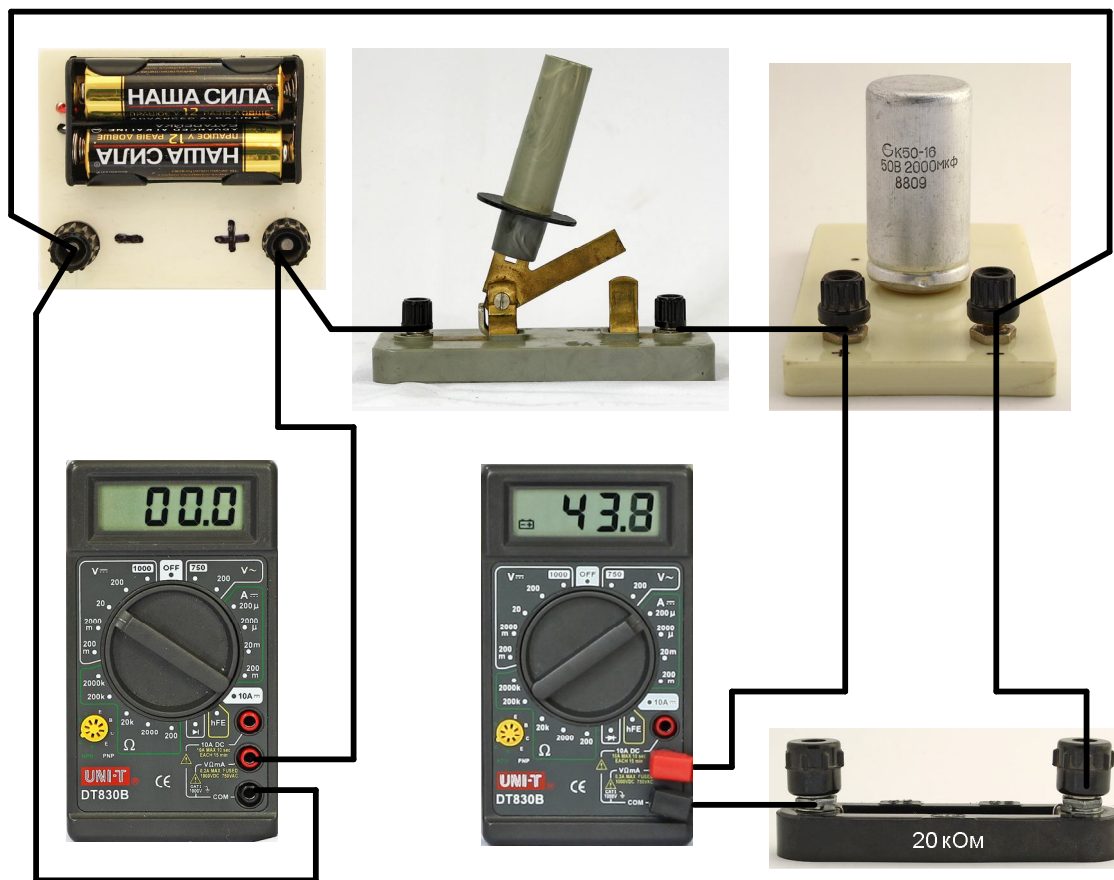


Рис. 3

## Хід роботи

1. Складіть коло за схемою рис. 3. Після перевірки кола викладачем замкніть вимикач. Конденсатор практично миттєво заряджається до напруги джерела і мікроамперметр показує струм, який проходить через резистор. Запишіть у зошит покази вольтметра і мікроамперметра.
2. Приготуйте для вмикання секундомір, перевірте його роботу. Приготуйте зошит для запису результатів. Записи доведеться робити швидко, кожні 10 с записувати покази мікроамперметра.

3. Одночасно запустіть секундомір і розімкніть вимикач SA1. Почнеться розрядка конденсатора і секундомір почне відлік часу.
4. В момент, коли на секундомірі з'являться покази „10 с” швидко переведіть погляд на мультиметр і запам'ятайте та запишіть його покази. Можливо спочатку доведеться трохи потренуватись виконувати цю вправу; від точності записів буде залежати кінцевий результат.
5. Пункт 4 треба виконувати кожні 10 секунд на протязі трьох хвилин. Ви одержите 19 значень сили струму розрядки конденсатора. Конденсатор ще буде розряджатись дві-три хвилини, але струм розрядки буде 2 – 3 мА і записи вести вже не треба.
6. Знову замкніть вимикач SA1 і повторіть вимірювання струму розрядки (пункти 3 – 5).
7. Якщо результати обох вимірювань мало відрізняються один від одного, то на цьому експериментальна частина роботи закінчується. Розберіть електричне коло і вимкніть мультиметри.
8. З двох значень струмів знайдіть середнє арифметичне і оформіть результат у вигляді таблиці, подібної до зображеної нижче.

Час t, с	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130
Струм I, $\cdot 10^{-6}$ А	156	129	108	91	76	64	54	46	39	33	28	24	20	17

140	150	160	170	180
15	13	11	9	8

9. За даними таблиці побудуйте графік залежності струму розрядання конденсатора від часу. Електронні таблиці Excel значно полегшать вашу роботу.
10. Обчисліть заряд конденсатора, як було сказано в теоретичних відомостях.
11. Знаючи напругу і заряд, визначте ємність конденсатора в мікрофарадах. Порівняйте одержане значення з ємністю, вказаною на конденсаторі. Зробіть висновок.

### Контрольні запитання

1. Що називають електроємністю і в яких одиницях вона вимірюється?
2. Як змінюється струм під час зарядки і розрядки конденсатора?
3. Як впливатиме на час зарядання і розрядання конденсатора зміна напруги джерела, зміна опору резистора?
4. на яку енергію перетворюється енергія зарядженого конденсатора під час його розрядання?

## Рекомендації для вчителя

Параметри установки для вивчення процесу розрядження конденсатора треба вибирати таким чином, щоб час релаксації  $\tau$  був у межах 20 – 50 с. Нагадаємо, що час релаксації – це час, через який напруга на обкладках конденсатора (і струм розрядки) зменшиться в  $e$  раз ( $e \approx 2,72$ ). Він дорівнює добутку опору на ємність:  $\tau = R \cdot C$ . Вибір резистора визначається напругою джерела живлення і межею вимірювання мікроамперметра. Для мультиметра на межі 200 мкА і батареї з двох гальванічних елементів (е.р.с. 3,2 В) підійде резистор з опором 20 кОм. Для конденсатора з ємністю 1000 мкФ  $\tau = 20$  с і за час 100 с струм зменшується до одиниць мкА, коли вимірювання вже слід припинити. Електролітичні конденсатори мають, на жаль, значні струми витоку, тому залежність струму розрядки від часу буде не точно експоненціальною. В зв'язку з цим після обчислення ємності ми лише вказуємо на те, що ємність електролітичного конденсатора може значно відхилитися від номіналу, вказаного на корпусі конденсатора (від -20 % до + 80 %)

Приклад графіка для конденсатора 2000 мкФ і резистора 20 кОм наведений на рис. 4. Слід врахувати, що послідовно з резистором 20 кОм включено мультиметр, який на межі 200 мкА має опір 1 кОм.

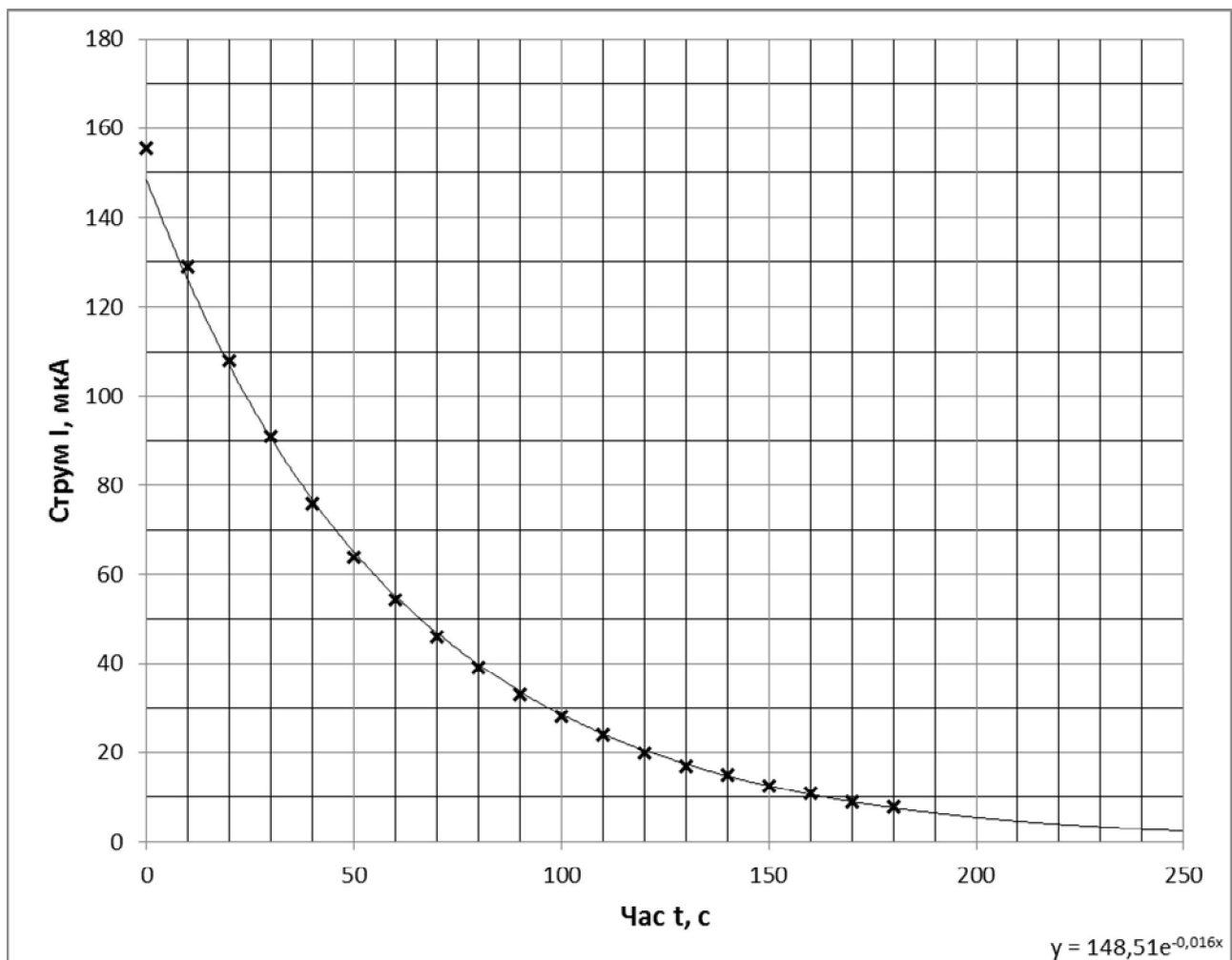


Рис. 4

Графік побудовано за таблицею, наведеною в тексті лабораторної роботи.

$I_0 = 156 \cdot 10^{-6} \text{ A}$ ,  $\frac{I_0}{2,72} = 57 \cdot 10^{-6} \text{ A}$ . Цій точці відповідає час  $\tau \approx 55 \text{ с}$ . Ємність

конденсатора  $C = \frac{55 \text{ с}}{21000 \text{ Ом}} = 0,002619 \text{ Ф}$ , або  $2600 \text{ мкФ}$ , що непогано

співпадає зі значенням, вказаним на корпусі конденсатора. На рис 4 в правому нижньому кутку написано рівняння лінії тренда в припущенні експоненціальної апроксимації. Це рівняння має вид  $i = I_0 e^{-\frac{t}{RC}}$ ; отже  $RC = (0,016)^{-1} = 62,5 \text{ с}$  і  $C = 2980 \text{ мкФ}$ .

Заряд, обчислений методом «палетки», дорівнює  $87 \cdot 10^{-4} \text{ Кл}$ . Напруга на конденсаторі в початковий момент часу дорівнює  $3,2 \text{ В}$ . Ємність конденсатора:

$$C = \frac{87 \cdot 10^{-4} \text{ Кл}}{3,2 \text{ В}} \approx 27 \cdot 10^{-4} \text{ Ф}, \text{ або } 2700 \text{ мкФ}.$$

В якості додаткового завдання можна запропонувати обчислити енергію конденсатора за формулою  $W = \frac{q \cdot U}{2}$ .

### Визначення питомого опору провідника

**Мета роботи:** Визначити питомий опір провідника з великим питомим опором (типу ніхрому).

**Обладнання:** Досліджуваний провідник довжиною 60 – 80 см, мультиметр типу DT830B, рулетка, циліндричний стрижень діаметром приблизно 1 см, лінійка.

### Теоретичні відомості

Опір металевих провідників залежить від їх розмірів та матеріалу. Для провідників з постійним поперечним перерізом ця залежність має вид:

$$R = \rho \frac{l}{S},$$

де  $l$  – довжина провідника,  $S$  – площа його поперечного перерізу. Коефіцієнт пропорційності  $\rho$  залежить від речовини і називається **питомим опором** провідника.

В СІ одиницею питомого опору є  $\text{Ом}\cdot\text{м}$ . Питомий опір – це опір провідника у вигляді куба з ребром  $1\text{ м}$ , якщо струм пропускати паралельно до одного з ребер. На практиці часто використовують несистемну одиницю питомого опору, яка дорівнює  $\frac{\text{Ом}\cdot\text{мм}^2}{\text{м}}$ . При використанні цієї одиниці питомий опір – це опір провідника довжиною  $1\text{ м}$  і площею поперечного перерізу  $1\text{ мм}^2$ .

Щоб визначити питомий опір  $\rho$ , треба знайти опір дроту  $R$ , його довжину  $l$  і площу поперечного перерізу  $S$ :

$$\rho = \frac{R \cdot S}{l}.$$

В більшості випадків дріт має циліндричну форму, тому  $S = \frac{\pi \cdot d^2}{4}$ , де  $d$  – діаметр дроту. Отже:

$$\rho = \frac{R \cdot \pi \cdot d^2}{4l}.$$

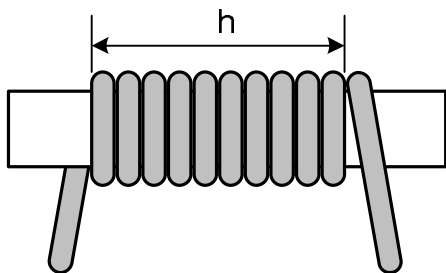


Рис. 1

Діаметр дроту найкраще виміряти мікрометром. При його відсутності можна рекомендувати такий прийом. На циліндричний каркас (наприклад, корпус кулькової ручки) намотайте 20 – 30 витків дроту, розташувавши витки впритул один до одного. Початок дроту закріпіть з допомогою липкої стрічки (скотч,

ізоляційна стрічка). Після намотки так само закріпіть і кінець дроту. З допомогою гостро заточеної палички (зубочистки) або голки полічіть число витків, потім лінійкою виміряйте довжину намотки  $h$  (див. рис. 1). Поділивши довжину намотки  $h$  на число витків  $N$ , одержите діаметр дроту. При такому способі вимірювання діаметр дроту визначається з деяким завищенням із-за нещільності намотки.

### Хід роботи

1. Розтягніть дріт і виміряйте його довжину  $l$  рулеткою від точок кріплення затискачів. Похибка вимірювання довжини дроту  $\Delta l = 0,5$  см.

2. Приєднайте щупи до мультиметра, перемикач поставте в положення  $\Omega$  200 (200 Ом) і міцно притисніть кінці щупів один до одного. На індикаторі мультиметра з'явиться якесь число, наприклад, 0,4. Це означає, що опір провідників мультиметра дорівнює 0,4 Ом. Це значення слід віднімати від показів приладу при вимірюванні опору.

3. Розправте дріт, щоб його частини не торкались одна до одної, і виміряйте опір дроту  $R$  (рис. 2). Не забудьте відняти від показів індикатора число, визначене в п. 2. Похибка вимірювання опору на межі 200 Ом становить  $\Delta R = (0,8 \% R + 0,2)$  Ом, де  $R$  – покази приладу.



Рис. 2

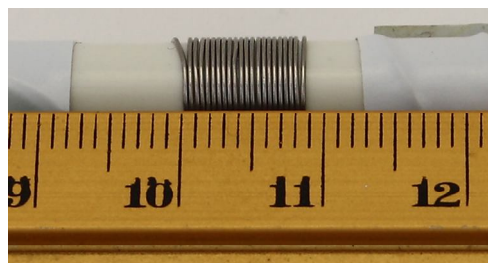


Рис. 3

4. Якщо є можливість скористатись мікрометром, то виміряйте ним діаметр дроту. Похибка мікрометра дорівнює  $\Delta d = 0,005$  мм. При вимірюванні способом, описаним в теоретичних відомостях, похибка буде  $\Delta d = \frac{0,5 \text{ мм}}{N}$ , де  $N$  – це кількість витків.

5. Виконуючи будь-яке вимірювання, треба обов'язково зробити повторне контрольне вимірювання. Якщо результати співпадуть, то на цьому

вимірювання закінчують. При наявності суттєвої різниці між результатами слід ще повторити вимірювання, щоб виявити причину розбіжності.

6. Результати вимірювань зручно оформити у вигляді таблиці, подібної до зображеної нижче:

№	$l$	$\Delta l$	$R$	$\Delta R$	$d$	$\Delta d$	$\rho$	$\Delta \rho$
1								
2								
...								
Сер.								

7. За формулою  $\rho = \frac{R \cdot \pi \cdot d^2}{4l}$  обчисліть питомий опір дроту. При обчисленнях залишайте «запасні» цифри, округлення виконаєте в кінці.

8. Обчисліть відносну похибку результату за формулою

$$E = \frac{\Delta \rho}{\rho} = \frac{\Delta R}{R} + 2 \cdot \frac{\Delta d}{d} + \frac{\Delta l}{l}$$

9. Обчисліть абсолютну похибку результату  $\Delta \rho = E \cdot \rho$ . Округліть абсолютну похибку до однієї значущої цифри та округліть числове значення  $\rho$ . Результат обчислень запишіть у виді:

$$\rho = \rho \pm \Delta \rho, \quad E = \dots \%$$

10. Порівняйте одержане значення  $\rho$  з табличним, зробіть висновок.

### Контрольні запитання

1. Від чого залежить опір провідників?
2. Що називають питомим опором провідника?
3. В яких одиницях вимірюється питомий опір?
4. Як можна визначити опір дроту при відсутності омметра? Накресліть схему електричного кола для вимірювань.



## Рекомендації для вчителя

Ніхромовий дріт для цієї роботи можна взяти від спіралі до електроплитки на 220 В 600 Вт (придбати в господарчій крамниці чи на ринку). Від спіралі відрізається шматок, який в розправленому стані матиме довжину 60 – 80 см. Кінці дроту закріплюються в затискачах, з допомогою яких дріт зручно розтягнути для вимірювання довжини та приєднати до мультиметра (рис. 2).

Ще один такий же шматок дроту від спіралі потрібен для намотування на циліндр для вимірювання діаметра. Дріт треба гарно вирівняти, не допускаючи його різкого згинання, оскільки в місці згину дріт зламається.

Нам здається доцільним намотати дріт на циліндр заздалегідь і дати учням для вимірювання діаметру готове пристосування (рис. 3).

Альтернативний варіант виконання роботи: використати реостат. Діаметр дроту  $d$  визначається з підрахунку числа витків  $N$  та довжини намотки  $h$ , довжина дроту  $l = \pi \cdot (D - d) \cdot N$ , де  $D$  – діаметр реостата з дротом. Діаметр реостата з дротом вимірюється штангенциркулем, опір дроту – мультиметром.

## Приклад виконання роботи

Довжина дроту  $l = (75 \pm 0,5)$  см.

Опір дроту  $(8 \pm 0,26)$  Ом. Похибка опору  $\Delta R = 8 \text{ Ом} \cdot 0,008 + 0,2 \text{ Ом} = 0,264 \text{ Ом} \approx 0,26 \text{ Ом}$ .

Діаметр дроту, виміряний мікрометром,  $d = (0,37 \pm 0,005)$  мм. Діаметр дроту, виміряний за числом витків  $d = \frac{8,5 \text{ мм}}{22} = 0,386 \text{ мм}$ . При обчисленнях слід

взяти значення 0,38 мм; похибка вимірювання  $\Delta d = \frac{0,5 \text{ мм}}{22} = 0,02 \text{ мм}$ .

$$\text{Обчислюємо: } \rho = \frac{8 \text{ Ом} \cdot 3,14 \cdot (0,37)^2 \text{ мм}^2}{4 \cdot 0,75 \text{ м}} = 1,1463 \frac{\text{Ом} \cdot \text{мм}^2}{\text{м}}.$$

$$\text{Відносна похибка } E = \frac{\Delta \rho}{\rho} = \frac{0,26}{8} + 2 \cdot \frac{0,005}{0,37} + \frac{0,5}{75} = 0,06619 \approx 0,066.$$

$$\text{Знаходимо } \Delta \rho = 0,066 \cdot 1,1463 = 0,756558 \approx 0,08 \left( \frac{\text{Ом} \cdot \text{мм}^2}{\text{м}} \right).$$

Кінцевий результат округлюємо до сотих:

$$\rho = (1,15 \pm 0,08) \frac{\text{Ом} \cdot \text{мм}^2}{\text{м}}.$$

$$\text{Відносна похибка: } E = \frac{\Delta \rho}{\rho} = \frac{0,08}{1,15} = 0,06956 \approx 0,07 \text{ або } 7\%.$$

$$\text{Табличне значення опору ніхрому } \rho = (1,0 - 1,1) \frac{\text{Ом} \cdot \text{мм}^2}{\text{м}}.$$

При використанні лабораторного реостату опором 6 Ом були одержані такі дані.

Число витків  $N = 114$ , довжина намотки  $h = (89 \pm 1)$  мм. Діаметр реостата з дротом  $D = (18,9 \pm 0,1)$  мм.

Діаметр дроту  $d = (0,78 \pm 0,009)$  мм, довжина дроту  $l = (6,48 \pm 0,04)$  м.

Опір дроту  $(6,7 \pm 0,25)$  Ом.

$$\rho = \frac{6,7 \text{ Ом} \cdot 3,14 \cdot (0,78)^2 \text{ мм}^2}{4 \cdot 6,48 \text{ м}} = 0,49406 \frac{\text{Ом} \cdot \text{мм}^2}{\text{м}}.$$

$$E = \frac{\Delta \rho}{\rho} \approx 0,06; \quad \rho = (0,49 \pm 0,03) \frac{\text{Ом} \cdot \text{мм}^2}{\text{м}}.$$

Матеріал, з якого виготовлений реостат, найбільш імовірно – константан.

Табличне значення опору константану  $\rho = (0,48 - 0,52) \frac{\text{Ом} \cdot \text{мм}^2}{\text{м}}.$

### Визначення температури розжарення вольфрамової нитки електричної лампи

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

**Прилади і матеріали:** Лампа розжарення Н10-025-0150 (2,5 В 0,15 А) або інша низьковольтна, мультиметр типу DT830В, джерело живлення (два гальванічні елементи типу АА, з'єднані послідовно), магазин опорів на 10 Ом, термометр (один на групу).

#### Теоретичні відомості

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

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

де  $R$  – опір провідника при температурі  $t$  C;  $R_0$  – його опір при  $0^\circ\text{C}$ ;  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$  – температурні коефіцієнти опору даного металу, які можна визначити з таблиць.

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

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

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

Підставивши (3) в (1), одержимо:

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

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

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

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

Знаходження  $t$  можна значно спростити, якщо використати графік залежності величини  $C$  від температури  $t$  (рис. 1.). Такий графік можна

побудувати, використавши, наприклад, таблицю 19.13 з довідника [1] (с. 316).  
 Значення  $C(t)$  – це значення відношення  $\frac{R}{R_0}$  при різних температурах.

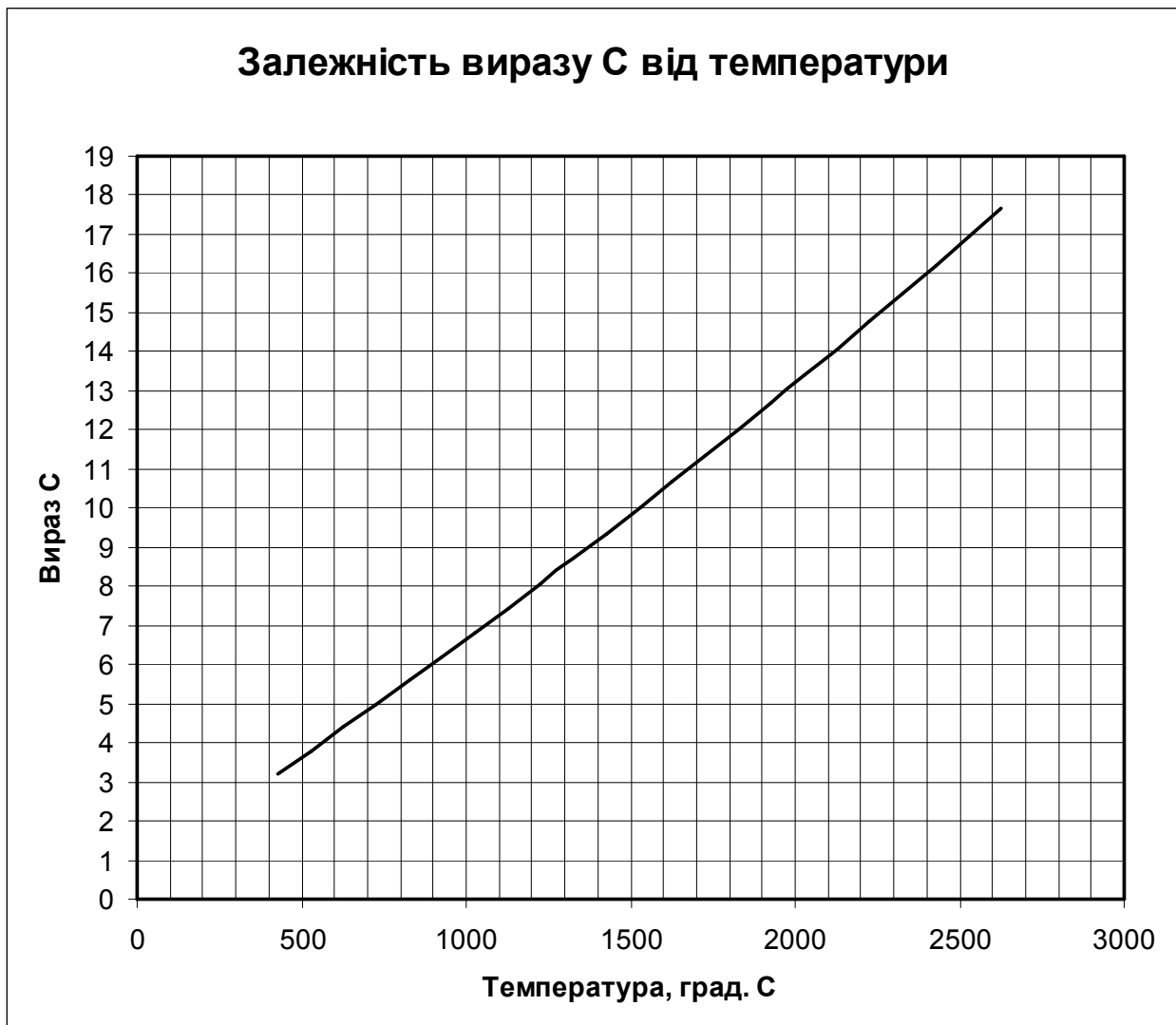


Рис. 1

Перепишемо рівняння (4):  $R = \frac{R_k}{1 + \alpha \cdot t_k} \cdot C$ .

Звідси:

$$C = \frac{R \cdot (1 + \alpha \cdot t_k)}{R_k} \quad (5)$$

Вимірюючи  $R_k$ ,  $t_k$  і  $R$ , треба спочатку обчислити  $C$  за рівнянням (5), а потім з допомогою графіка  $C(t)$  знайти температуру  $t$ .

## Опис установки для вимірювання

Опір нитки лампи при кімнатній температурі  $R_k$  знаходять з допомогою омметра від цифрового мультиметра, кімнатну температуру – термометром.

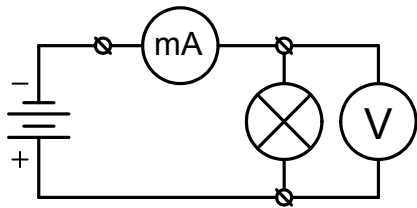


Рис. 2

Опір  $R$  розжареної нитки лампи визначають методом амперметра-вольтметра (рис. 2). Визначивши силу струму  $i$  напругу за законом Ома обчислюють опір нитки розжарення лампи. Принципова електрична схема установки для цих вимірювань зображена на рис. 3. На схемі GB1 – два гальванічні елементи типу АА, з'єднані

послідовно, EL1 – досліджувана лампа розжарення, R2 – магазин опорів на 10 Ом, R1 – резистор опором 1 Ом, SB1 – вимикач – кнопка.

Особливістю цієї схеми є те, що сила струму в лампі не вимірюється амперметром, а визначається за спадом напруги на відомому опорі R1. Якщо опір R1 взяти рівним 1 Ом, то покази вольтметра будуть чисельно рівні силі струму в колі. Опір вольтметра від мультиметра порядку 1 МОм, тому підключення вольтметра до ділянки кола практично не змінює сили струму в колі.

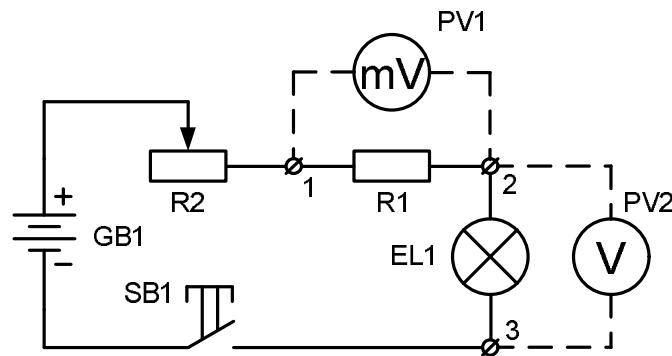


Рис. 3

Опір нитки лампи в розжареному стані дорівнює:

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

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

## Хід роботи

- З допомогою мультиметра виміряйте опір вольфрамової нитки лампи при кімнатній температурі –  $R_k$ . Перемикач мультиметра переведіть в положення  $\Omega$  200 Ом, притисніть провідники мультиметра один до одного і запишіть його покази (наприклад, 0,4 Ом). Це значення слід віднімати від показів мультиметра при вимірюванні опору лампи. Приєднайте провідники мультиметра до затискачів лампи і запишіть результат вимірювання в робочий зошит.

2. За термометром визначте і запишіть кімнатну температуру  $t_k^{\circ}$ .
3. Зберіть електричне коло за схемою рис. 3; мультиметр поки що не підключайте. Монтажу схему установки зображено на рис. 4 (варіант з використанням двох мультиметрів).

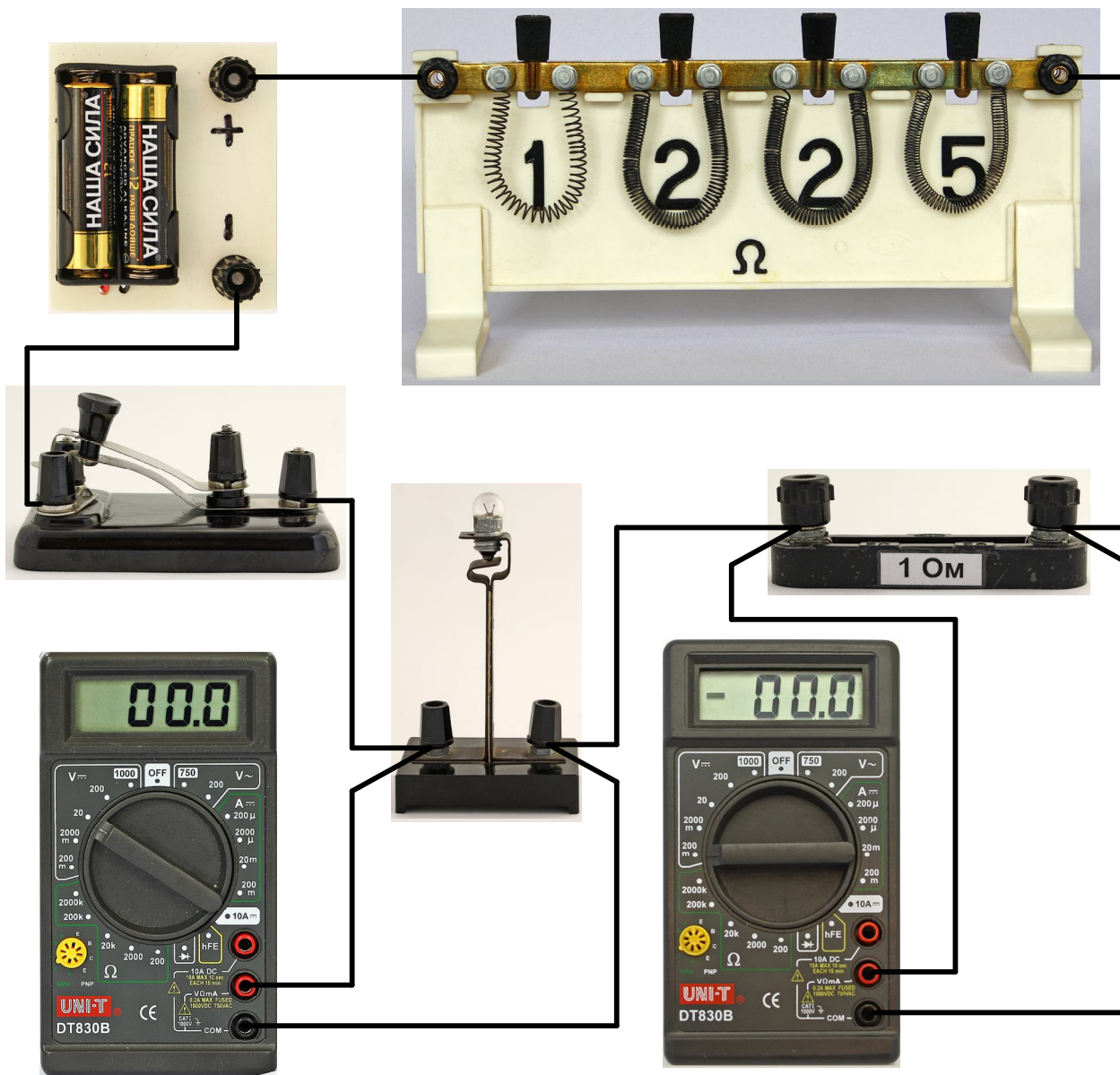


Рис. 4

4. Встановіть на магазині опорів опір 10 Ом.
5. Переведіть перемикач мультиметра в положення  $V \text{ --- } 20 \text{ V}$ , провідники мультиметра приєднайте до затискачів лампи (клеми 2 і 3 на рис.3), і натисніть вимикач SB1. Лампочка повинна слабо засвітитись, а мілівольтметр – показати напругу на лампі. Запишіть значення напруги в зошит.
6. Встановіть на магазині опорів опір 8 Ом і повторіть вимірювання напруги на лампі, як описано в пункті 5. Такі ж вимірювання виконайте для опорів 5 Ом, 2 Ом, 0 Ом.

7. Перемикач мультиметра переведіть в положення  $V \overline{\overline{=}} 200$  мВ. Провідники мультиметра приєднайте до затискачів резистора 1 Ом (клеми 1 і 2 на рис. 3), а перемикач переведіть в положення 200 мВ. Як було зауважено вище, покази мультиметра відповідатимуть силі струму в мА.
8. Опір магазину залишається рівним 0 Ом. Натисніть SB1 і запишіть покази мультиметра в зошит (струм в мА!).
9. Повторіть вимірювання при значеннях опору магазину 2 Ом, 5 Ом, 8 Ом і 10 Ом.
10. Для кожної з п'яти пар значень напруги і сили струму обчисліть опір нитки розжарення  $R$  (формула (6)) та значення виразу  $C$  (формула (5)). Температурний коефіцієнт опору для вольфраму  $\alpha = 0,0048$  град<sup>-1</sup>. Не забудьте перевести мА в А!
11. За графіком на рис. 1 знайдіть температуру нитки розжарення при різних значеннях напруги.
12. За даними обчислень побудуйте графік залежності  $t^{\circ}C = f(U)$ .  
Результати вимірювань і обчислень зручно подати у вигляді таблиці 1.

Табл. 1.

№ n/n	$R_{к}, Ом$	$t_{к}, ^{\circ}C$	$U, В$	$I, А$	$R, Ом$	$C$	$t, ^{\circ}C$
1							
2							
...							
5							

### Контрольні запитання.

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

### Література.

1. Таблицы физических величин : Справочник / под ред. акад. И. К. Кикоина. – М. : Атомиздат, 1976. – 1008 с.



## Рекомендації для вчителя

При підготовці даної роботи треба визначити, яка лампа розжарення буде використовуватись, від якого джерела вона буде живитись. Визначивши напругу і струм в лампі, слід внести відповідні корективи в інструкцію для учнів. Зручно використати низьковольтні автомобільні лампи на 6 В малої потужності, використавши як джерело лабораторний випрямляч. Струм в цих лампах буде вже близько ампера, тому при вимірюванні струму за спадом напруги на опорі в 1 Ом вольтметр треба буде вмикати на межі 2000 мВ і опір повинен бути розрахований на відповідну потужність струму.

Можна також спростити завдання, зменшивши кількість значень напруги, не вимагати побудови графіка.

Кнопка замість звичайного вимикача в роботі використана з метою економії енергії джерела живлення. Можна використати звичайний вимикач, треба тільки слідкувати, щоб після закінчення вимірювань учні розмикали коло.

## Приклад виконання роботи

Записуємо в таблицю значення опору  $R_k$ , температури  $t_k$ , напруги  $U$  і сили струму  $I$ .

Табл. 1.

№ n/n	$R_k$ , Ом	$t_k$ , °C	$U$ , В	$I$ , А	$R$ , Ом	$C$	$t$ , °C
1	3,2	22	1,68	0,126	13,3	4,6	650
2			1,84	0,132	13,9	4,8	700
3			2,2	0,144	15,3	5,3	770
4			2,58	0,156	16,5	5,7	840
5			2,86	0,164	17,4	6,0	900

Приклад обчислення:

$$C_1 = 13,3 \cdot \frac{1 + 0,0048 \cdot 22}{3,2} \approx 4,6.$$

З допомогою електронних таблиць побудуємо графік залежності  $t^\circ C = f(U)$  (рис. 5).

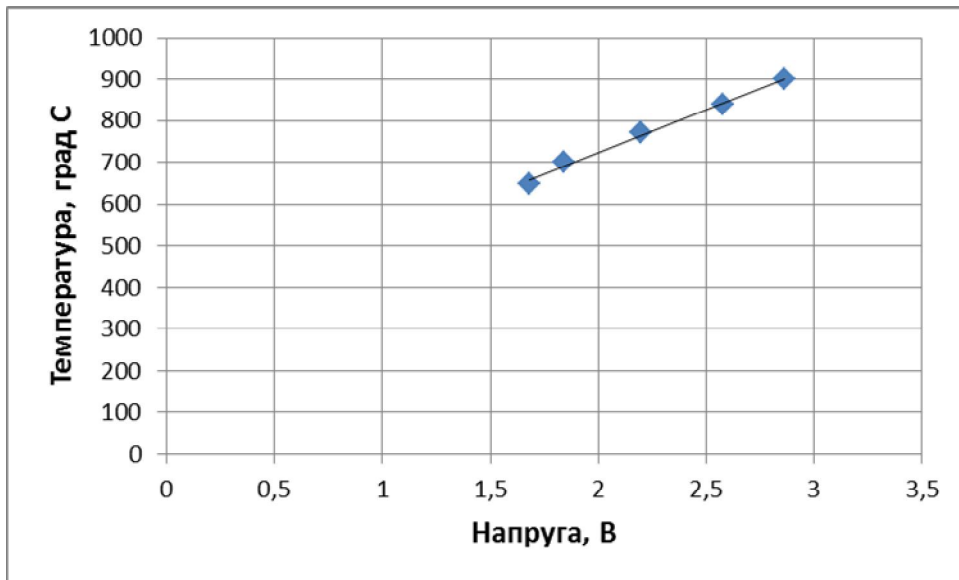


Рис. 5

Далі наведений ще один варіант виконання цієї ж роботи за спрощеним алгоритмом.

### Визначення температури розжарення вольфрамової нитки електричної лампи

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

**Прилади і матеріали:** Лампа розжарення Н10-025-0150 (2,5 В 0,15 А) або інша низьковольтна, мультиметр типу DT830В, джерело живлення (два гальванічні елементи типу АА, з'єднані послідовно), магазин опорів на 10 Ом, термометр (один на групу).

#### Теоретичні відомості

При невисоких температурах залежність опору металевих провідників від температури описується лінійною залежністю

$$R = R_0(1 + \alpha \cdot t), \quad (1)$$

де  $R$  – опір провідника при температурі  $t$  °С;  $R_0$  – його опір при  $0^\circ\text{C}$ ;  $\alpha$  – температурний коефіцієнт опору даного металу, який є характеристикою матеріалу провідника. Для вольфраму  $\alpha = 0,0048$  град<sup>-1</sup>. Будемо вважати, що ця залежність справедлива і при температурі нитки розжарення електричної лампочки.

Звичайно опір нитки лампи вимірюють не при  $0^\circ\text{C}$ , а при кімнатній температурі  $t_k$ :

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

Поділимо рівняння (1) на (2):

$$\frac{R}{R_k} = \frac{1 + \alpha \cdot t}{1 + \alpha \cdot t_k}, \quad (3)$$

звідки

$$t = \frac{R}{R_k} \left( \frac{1}{\alpha} + t_k \right) - \frac{1}{\alpha} \quad (4)$$

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

Можливо обчислення будуть менш громіздкими, якщо спочатку визначити  $R_0$ , а потім знайти  $t$ :

$$R_0 = \frac{R_k}{1 + \alpha \cdot t_k}; \quad t = \frac{R - R_0}{R_0 \cdot \alpha} \quad (5)$$

## Опис установки для вимірювання

Опір нитки лампи при кімнатній температурі  $R_k$  знаходять з допомогою омметра від цифрового мультиметра, кімнатну температуру – термометром.

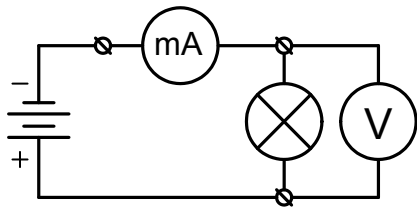


Рис. 2

Опір  $R$  розжареної нитки лампи визначають методом амперметра-вольтметра (рис. 2). Визначивши силу струму  $i$  напругу за законом Ома обчислюють опір нитки розжарення лампи. Принципова електрична схема установки для цих вимірювань зображена на рис. 3. На схемі GB1 – два гальванічні елементи типу АА, з'єднані

послідовно, EL1 – досліджувана лампа розжарення, R2 – магазин опорів на 10 Ом, R1 – резистор опором 1 Ом, SB1 – вимикач – кнопка.

Особливістю цієї схеми є те, що сила струму в лампі не вимірюється амперметром, а визначається за спадом напруги на відомому опорі R1. Якщо опір R1 взяти рівним 1 Ом, то покази вольтметра будуть чисельно рівні силі струму в колі. Опір вольтметра від мультиметра порядку 1 МОм, тому підключення вольтметра до ділянки кола практично не змінює сили струму в колі.

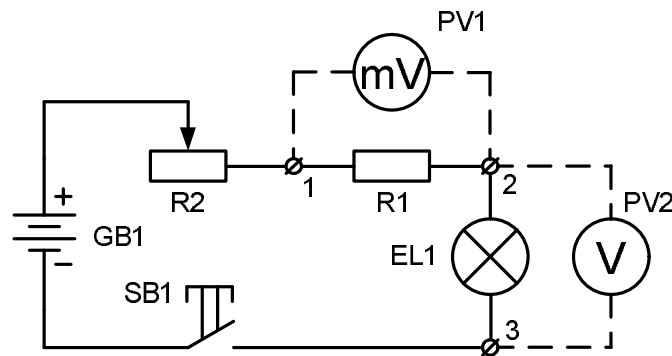


Рис. 3

Опір нитки лампи в розжареному стані дорівнює:

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

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

### Хід роботи

- З допомогою мультиметра виміряйте опір вольфрамової нитки лампи при кімнатній температурі –  $R_k$ . Перемикач мультиметра переведіть в положення  $\Omega$  200 Ом, притисніть провідники мультиметра один до одного і запишіть його покази (наприклад, 0,4 Ом). Це значення слід віднімати від показів мультиметра при вимірюванні опору лампи. Приєднайте провідники мультиметра до затискачів лампи і запишіть результат вимірювання в робочий зошит.

2. За термометром визначте і запишіть кімнатну температуру  $t_k^{\circ}$ .
3. Зберіть електричне коло за схемою рис. 3; мультиметр поки що не підключайте.
4. Встановіть на магазині опорів опір 10 Ом.
5. Переведіть перемикач мультиметра в положення  $V \text{ --- } 20 \text{ В}$ , провідники мультиметра приєднайте до затискачів лампи (клеми 2 і 3 на рис.3), і натисніть вимикач SB1. Лампочка повинна слабо засвітитись, а мілівольтметр – показати напругу на лампі. Запишіть значення напруги в зошит.
6. Встановіть на магазині опорів опір 8 Ом і повторіть вимірювання напруги на лампі, як описано в пункті 5. Такі ж вимірювання виконайте для опорів 5 Ом, 2 Ом, 0 Ом.
7. Перемикач мультиметра переведіть в положення  $V \text{ --- } 200 \text{ мВ}$ . Провідники мультиметра приєднайте до затискачів резистора 1 Ом (клеми 1 і 2 на рис. 3), а перемикач переведіть в положення 200 мВ. Як було зауважено вище, покази мультиметра відповідатимуть силі струму в мА.
8. Опір магазину залишається рівним 0 Ом. Натисніть SB1 і запишіть покази мультиметра в зошит (струм в мА!).
9. Повторіть вимірювання при значеннях опору магазину 2 Ом, 5 Ом, 8 Ом і 10 Ом.
10. Для кожної з п'яти пар значень напруги і сили струму обчисліть опір нитки розжарення  $R$  (формула (6)). Не забудьте перевести мА в А!
11. За формулою (4) (або за формулами (5)) знайдіть температуру нитки розжарення при різних значеннях напруги. Температурний коефіцієнт опору для вольфраму  $\alpha = 0,0048 \text{ град}^{-1}$ .
12. За даними обчислень побудуйте графік залежності  $t^{\circ}\text{C} = f(U)$ .  
Результати вимірювань і обчислень зручно подати у вигляді таблиці 1.

Табл. 1.

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

### Контрольні запитання.

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

## Рекомендації для вчителя

В інструкції пропонується спрощений варіант визначення температури вольфрамової нитки розжарення лампи. Такий підхід дає завищені значення температури, проте він значно простіший, ніж більш точний підхід (див. інструкцію з основного варіанту), який враховує нелінійну залежність опору провідника від температури. Різниця результатів при високих температурах перевищує  $100^{\circ}\text{C}$ . В зв'язку з цим обчислювати похибку вимірювань в даній роботі недоцільно.

Монтажна схема вимірювальної установки наведена в основному варіанті роботи.

### Приклад виконання роботи

Записуємо в таблицю значення опору  $R_k$ , температури  $t_k$ , напруги  $U$  і сили струму  $I$ .

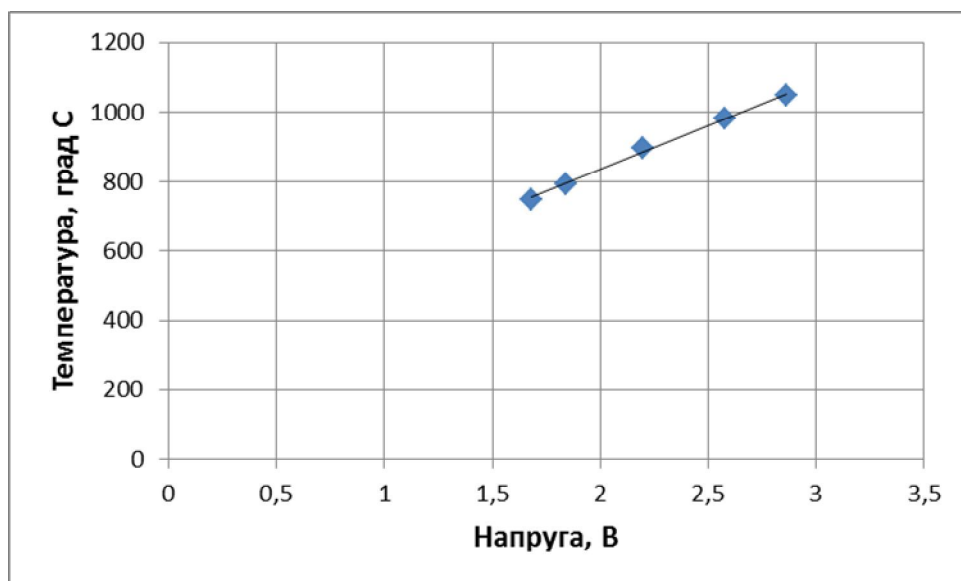
Табл. 1.

№ n/n	$R_k, \text{ Ом}$	$t_k, ^{\circ}\text{C}$	$U, \text{ В}$	$I, \text{ А}$	$R, \text{ Ом}$	$t, ^{\circ}\text{C}$
1	3,2	22	1,68	0,126	13,3	750
2			1,84	0,132	13,9	794
3			2,2	0,144	15,3	895
4			2,58	0,156	16,5	981
5			2,86	0,164	17,4	1046

Приклад обчислення:

$$t_1 = \frac{13,3 - 2,89}{2,89 \cdot 0,0048} \approx 750^{\circ}\text{C}.$$

З допомогою електронних таблиць побудуємо графік залежності  $t^{\circ}\text{C} = f(U)$ .



## Визначення температурного коефіцієнту опору металів

**Мета роботи:** Експериментально показати, що залежність опору металів від температури є лінійною. Визначити термічний коефіцієнт опору міді.

**Обладнання:** Прилад для визначення термічного коефіцієнту опору металу, мультиметр типу DT830В, термометр лабораторний з довгим (15 – 16 см) кінцем для занурення в пробірку, штатив універсальний з тримачем, колба з водою, електроплитка.

### Теоретичні відомості і опис установки.

Залежність опору металевих провідників від температури при невеликих змінах температури можна вважати лінійною:

$$R = R_0 (1 + \alpha \cdot t).$$

$R_0$  – це опір провідника при температурі  $0^\circ\text{C}$ ,  $\alpha$  – температурний коефіцієнт опору:  $\alpha = \frac{R - R_0}{R_0 t}$ . Для визначення температурного коефіцієнта опору

металу треба виміряти значення опору провідника при температурі  $0^\circ\text{C}$  та при температурі  $t^\circ\text{C}$ , більшій  $0^\circ\text{C}$ . Не завжди є можливість виміряти опір провідника при  $0^\circ\text{C}$ , але якщо виміряти опір при різних температурах і побудувати графік залежності  $R(t)$ , то за графіком можна визначити  $R_0$  і обчислити  $\alpha$ .

Прилад для визначення температурного коефіцієнта опору міді (рис. 1) складається з котушки 1, намотаної мідним ізольованим дротом на картонному каркасі. Кінці дроту виведені до затискачів 2, які встановлені на пластмасовій колодці 3. У цій же колодці закріплено скляну пробірку 4, в яку вставлено каркас котушки. Зверху в колодці є отвір 5 для термометра, який вимірює температуру котушки. Опір дроту вимірюється мультиметром типу DT830В. Зовнішній вигляд установки для вимірювань зображено на рис. 2.

### Хід роботи

1. Прилад для визначення термічного коефіцієнту опору міді закріпіть в лапці штативу. На металеву основу штативу поставте електроплитку, а на неї – колбу з водою. Опустіть в колбу з водою пробірку приладу, приєднайте до його затискачів мультиметр і в отвір колодки вставте термометр (рис. 2).

2. Якщо покази термометра не змінюються (так буде, якщо вода мала кімнатну температуру), то увімкніть мультиметр в режимі вимірювання опору (межа 200 Ом), і запишіть покази термометра і мультиметра. Якщо вода мала температуру, що відрізнялась від кімнатної, то доведеться дочекатись встановлення теплової рівноваги, при якій покази практично не змінюються. Після закінчення вимірювань вимкніть мультиметр.



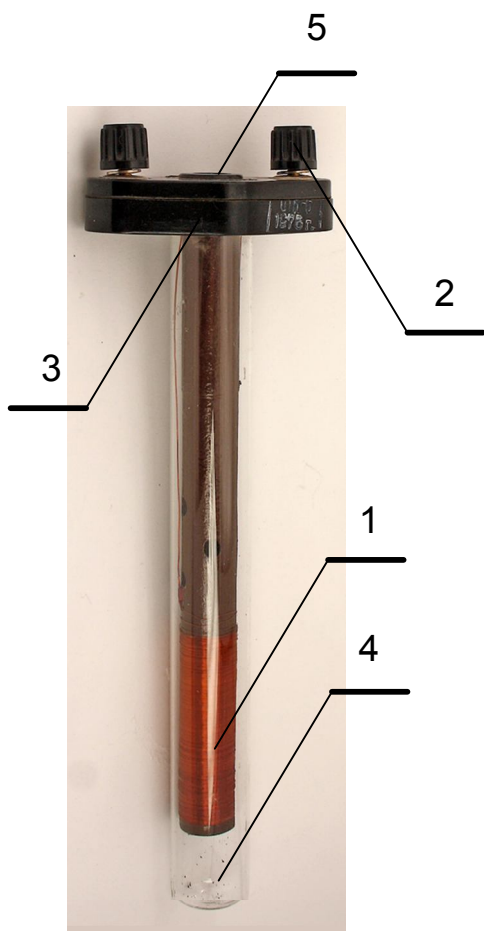


Рис. 1



Рис. 2

3. Увімкніть електроплитку в мережу і нагрівайте воду в колбі до температури  $70^{\circ} - 80^{\circ}\text{C}$  (значення температури уточніть у викладача), після чого плитку вимкніть. За рахунок теплової інерції вода в колбі буде продовжувати нагріватись.

4. Коли температура вже не буде збільшуватись, увімкніть мультиметр і знову запишіть значення температури і опору. Вимкніть мультиметр.

5. Охолодження колби з водою відбувається надто повільно. Для прискорення вимірювань рекомендується наступне. Пробірку з приладом вийміть з колби і закріпіть на штативі. Плитку приберіть в безпечне місце (Обережно! Стережіться опіків.) Колбу з гарячою водою поставте на основу штативу і опустіть в неї пробірку з приладом.

6. З допомогою шприца з трубкою надберіть 40 – 50 мл гарячої води і долийте шприцом в колбу стільки ж холодної води. Дочекайтесь встановлення теплової рівноваги, увімкніть мультиметр і запишіть значення температури і опору дроту.

7. Повторіть пункт 6 три – чотири рази. Ви повинні одержати п'ять – шість пар значень температура – опір.

8. Результати вимірювань зручно оформити у вигляді таблиці, подібної до зображеної нижче:

t, °C	13	48	58	65	78	88	98
R, Ом	81,8	91	94,1	96,5	100,6	103,8	107,8

9. За даними досліду побудуйте графік залежності опору дроту від його температури. По вертикалі відкладайте опір, по горизонталі – температуру. Нанесіть експериментальні точки і проведіть пряму, що найкраще «вписується» в експериментальні точки.

Значну допомогу в побудові графіка дадуть електронні таблиці Microsoft Excel. Відкривши електронні таблиці, в комірки A1 – A7 запишіть значення температури, в комірки B1 – B7 – значення опору. Наведіть курсор на комірку A1, натисніть ліву кнопку миші і, не відпускаючи кнопки, виділіть обидва стовпці. На закладці «Вставка» виберіть «Діаграмми – Точечная – Точечная с маркерами». На листі з'явиться діаграма. На правому полі надпис «Ряд 1» видаліть (клацніть лівою кнопкою миші на надпису і натисніть «Delete»). Наведіть курсор на одну з точок ряду даних, клацніть правою кнопкою миші і виберіть «Добавить линию тренда». Відкриється вікно «Формат линии тренда». Повинна бути обрана лінійна апроксимація. Поставте галочку «Показывать уравнение на диаграмме». Можна також додати «Прогноз» назад приблизно на 15 періодів, тоді лінія тренда перетне вертикальну вісь опору, що дасть можливість визначити  $R_0$ . Щоб програма не додавала від'ємні значення температури, наведіть курсор на будь-яке значення температури і клацніть правою кнопкою миші. Виберіть «Формат оси», на закладці «Параметры оси» виберіть мінімальне значення «Фиксированное» рівне 0. Ще раз натисніть правою кнопкою на температурі і виберіть «Добавить основное линии сетки». Рівняння можна перетягнути нижче і додати назви осей. Для цього наведіть курсор на край діаграми і клацніть лівою кнопкою. Діаграма виділиться і вгорі з'явиться закладка «Работа с диаграммами». Виберіть «Макет» – «Названия осей» – «Название основной горизонтальной оси» – «Название под осью». Аналогічно додайте назву вертикальної вісі.

Приклад одержаного таким чином графіка подано на рис. 3.

10. Продовживши графік до перетину з віссю опору, знайдіть опір  $R_0$  при  $0^\circ\text{C}$ . Якщо ви використовували електронні таблиці, то значення  $R_0$  – це вільний член в рівнянні, наведеному на діаграмі.

11. На прямій виберіть довільну точку (бажано якомога далі від початку осей), визначте для неї значення  $R$  і  $t$ . Це може бути й експериментальна точка, якщо вона лежить на проведеній прямій.

12. За формулою  $\alpha = \frac{R - R_0}{R_0 t}$  обчисліть термічний коефіцієнт опору міді.

13. Для прикладу наведемо обчислення  $\alpha$  з використанням графіка, наведеного на рис. 3.

Залежність опору металевих провідників від температури  $R = R_0(1+at)$  представимо так:  $R = R_0 + R_0 \cdot at$ . Порівняємо з рівнянням на графіку:

$R_0 = 77,018 \text{ Ом}$ ;  $R_0 \cdot \alpha = 0,3046$ ; Одержуємо значення  $\alpha = 0,00395 \text{ град}^{-1} \approx 0,004 \text{ град}^{-1}$ . Порівняємо з табличним значенням:  $\alpha = 0,0043 \text{ град}^{-1}$ . Одержане в досліді значення термічного коефіцієнта опору міді добре узгоджується з табличними даними.

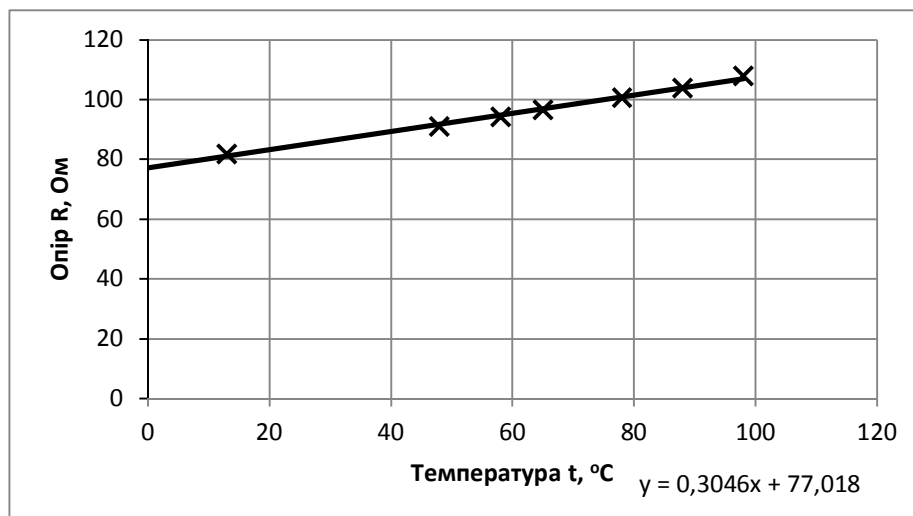


Рис. 3. Залежність опору мідного провідника від температури

14. Обчисліть похибку вимірювання  $\alpha$ .

Відносна похибка вимірювання складається з суми похибок: похибки різниці  $R - R_0$ , похибки опору  $R_0$  і похибки температури  $t$  :

$$E = \frac{\Delta\alpha}{\alpha} = \frac{\Delta R + \Delta R_0}{R - R_0} + \frac{\Delta R}{R_0} + \frac{\Delta t}{t_0}.$$

Основний вклад в похибку вносить доданок  $\frac{\Delta R + \Delta R_0}{R - R_0}$ . Будемо вважати, що

похибка результату визначається ним. Абсолютна похибка  $\Delta R_0$  визначається за графіком як похибка при визначенні точки перетину графіка з віссю  $R$ . На наш погляд, вона не перевищувала 1 мм (див рис. 3), отже  $\Delta R_0 \approx 2,5 \text{ Ом}$ . Будемо також вважати, що похибка  $\Delta R$  суттєво менша  $\Delta R_0$ . Для значень  $R = 107 \text{ Ом}$  і  $R_0 = 77 \text{ Ом}$  :

$$E = \frac{2,5}{107 - 77} = \frac{2,5}{30} = 0,0833 \approx 0,08, \text{ або } 8\%$$

Отже, похибка  $\Delta\alpha = 0,08 \cdot \alpha$ .  $\Delta\alpha = 0,08 \cdot 0,00395 = 0,000316 \approx 0,0003 \text{ (град}^{-1}\text{)}$ .  
Кінцевий результат:  $\alpha = (0,0040 \pm 0,0003) \text{ град}^{-1}$ .

### Контрольні запитання

1. Що називають термічним коефіцієнтом опору? В яких одиницях він вимірюється?
2. Як залежить опір металевих провідників від температури?
3. Який вигляд має графік залежності опору металевих провідників від температури?
4. Чому в даній роботі дані вимірювань визначались при охолодженні провідника, а не при його нагріванні?

## Рекомендації для вчителя.

Змінювати температуру води, в якій перебуває пробірка з котушкою, можна, нагріваючи колбу з водою на електроплитці. Проте швидке нагрівання приводить до значних похибок під час вимірювання температури і опору дроту, залежність  $R(t)$  не буде лінійною. Інерційність рідинних термометрів вимагає певного часу для встановлення теплової рівноваги. Тому нагрівання повинно бути досить повільним. Доводиться увесь час періодично вмикати – вимикати електроплитку.

Краще буде нагріти воду в колбі до  $70^{\circ} - 80^{\circ}\text{C}$ , виключити нагрівник і стежити за зміною температури. За рахунок теплової інерції нагрівника температура ще буде збільшуватись, потім підвищення температури припиниться. Вчителю треба заздалегідь експериментально визначити температуру, при якій треба вимкнути нагрівник, щоб після вимикання електроплитки вода в колбі не закипіла.

Через 2 – 3 хвилини по тому можна почати записувати значення опору і температури. Не слід вимагати обов'язково визначити опір при певних значеннях температури ( $80^{\circ}\text{C}$ ,  $70^{\circ}\text{C}$  і т. д.). Важливо, щоб вимірювання температури і опору були одночасними! (Наприклад:  $78^{\circ}\text{C} - 100,6 \text{ Ом}$ ;  $65^{\circ}\text{C} - 96,5 \text{ Ом}$  і т. д.)

До речі, перше вимірювання слід виконати для кімнатної температури: умова теплової рівноваги, напевне, буде виконана.

Вимірювання за такою схемою вимагає надто багато часу, значно більше уроку, навіть якщо прибрати плитку (підняти затискач з пробіркою, зняти колбу, переставити плитку, поставити колбу на попереднє місце і опустити пробірку в колбу. Цю процедуру слід виконувати вкрай обережно: плитка і колба нагріті до високої температури!). Тому в роботі описаний варіант із заміною води, який був перевірений практично і дав змогу за розумний період часу одержати всі експериментальні дані.

Ще один варіант виконання коректних вимірювань – виготовити з бляшанок високий (11 – 12 см) калориметр (можна скористатись маленьким термосом). Між бляшанками корисно буде вставити поясок з поролону і ззовні більшу бляшанку теж обгорнути поролоном (див. рис. 4). В калориметр налийте воду, опустіть в нього пробірку з котушкою і термометром та почекайте 2 – 3 хвилини, поки покази термометра перестануть змінюватись. Запишіть значення опору і температуру, потім замініть воду в калориметрі теплою (щоб не розбирати установку, шприцом з трубочкою відберіть частину води з калориметра і додайте стільки ж гарячої). Зручно використовувати шприц великого об'єму: 20 мл. Знову дочекайтесь теплової рівноваги і запишіть значення температури і опору. Такі вимірювання виконайте для 6 – 7 пар значень температура – опір в інтервалі від кімнатної до  $70^{\circ} - 80^{\circ}\text{C}$ .

Якщо є лід, то можна виконати вимірювання опору  $R_0$  при температурі  $0^{\circ}\text{C}$ , проте це не обов'язково: графік залежності  $R(t)$  дасть можливість визначити  $R_0$ .



Рис. 4

## Дослідження корисної потужності та к.к.д. джерела струму

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

**Прилади і матеріали:** Батарея з двох гальванічних елементів чи акумуляторів типорозміру АА, мультиметр типу DT830В, два магазина опорів по 10 Ом, додаткові опори на колодках з затискачами 1 Ом, 14 Ом, два по 10 Ом і один 20 Ом, вимикач, з'єднувальні провідники.

### Теоретичні відомості

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

$$I = \frac{\mathcal{E}}{R + r} \quad (1)$$

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

Повна робота струму:

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

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

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

Поділивши (2) на  $t$ , одержимо:

$$P = I^2 R + I^2 r = P_{\kappa} + P_i. \quad (3)$$

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

З (1) одержимо:

$$I(R + r) = \mathcal{E};$$

тепер (3) можна подати у виді:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

### Опис схеми для вимірювання

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



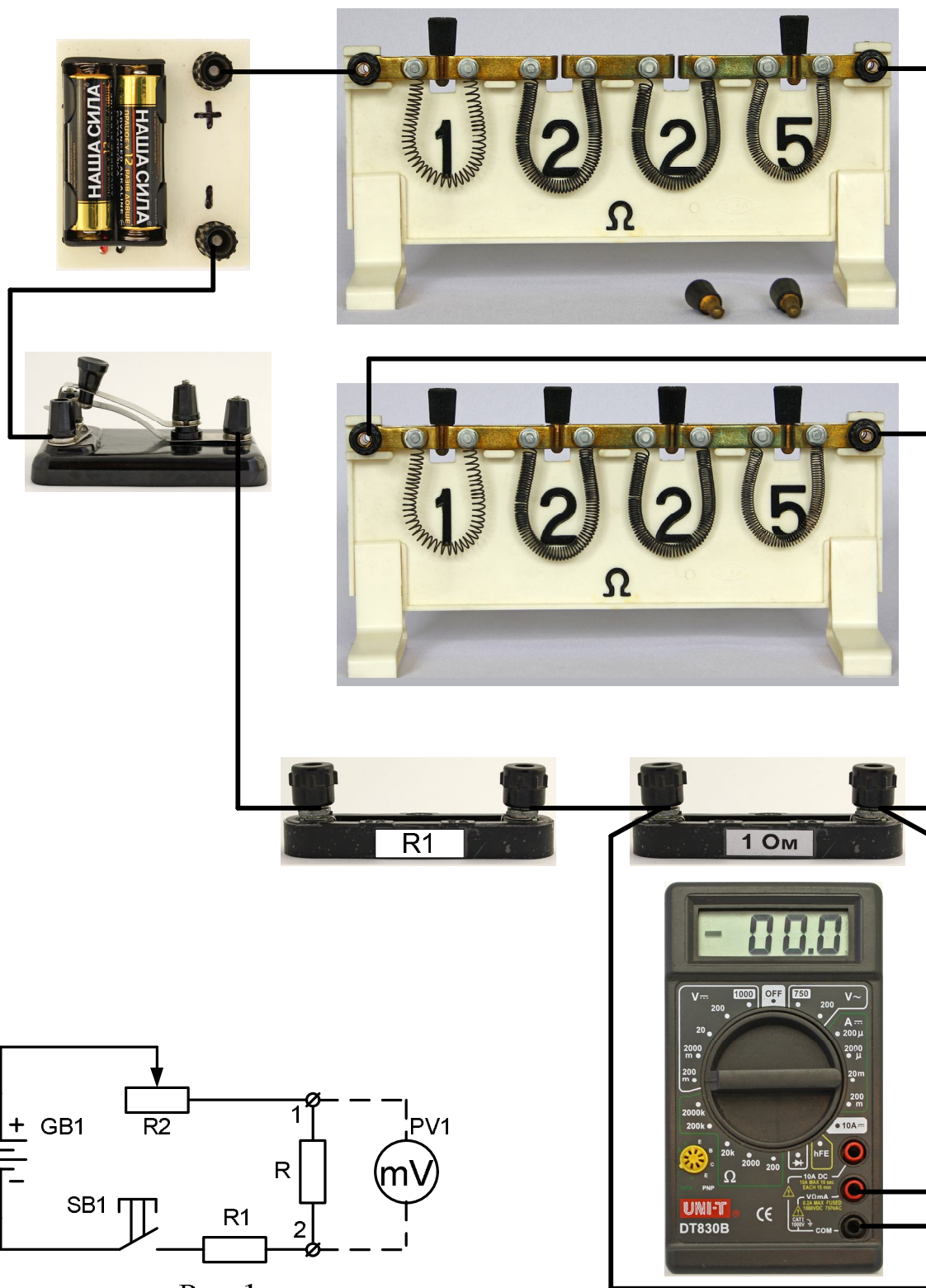


Рис. 1

Рис. 2

Як джерело струму використовується батарея з двох з'єднаних послідовно гальванічних елементів чи акумуляторів типорозміру АА. Гальванічні елементи і акумулятори мають дуже малий внутрішній опір, порівняний з опором з'єднувальних провідників. Оскільки необхідно дослідити роботу джерела струму при опорах навантаження як більших, так і менших внутрішнього опору, то в схему включено додатковий опір  $R_1$ , який штучно



збільшує опір гальванічного елемента. Значення опору  $R_1$  вибране таким чином, щоб сума опорів  $R_1$  і  $R$  становила певне ціле число Ом. В даній установці ця сума дорівнює 15 Ом. Магазини опорів разом з додатковими опорами дозволять вмикати в коло опори 2, 4, 7, 10, 15, 20, 30, 40, 60 Ом.

### Хід роботи

1. Зберіть коло за схемою рис. 1, 2. На схемі  $R_2$  – це два послідовно з'єднаних магазина опорів по 10 Ом.
2. Уточніть у викладача і запишіть в робочий зошит значення внутрішнього опору:  $r=15$  Ом.
3. Встановіть на магазині опорів опір 2 Ом. До затискачів 1 і 2 (див. рис. 1) приєднайте мультиметр, переключивши його в режим вимірювання напруги постійного струму  $V \text{ ---}$  (межа вимірювання – 200 мВ).
4. Натисніть кнопку  $SBI$  і запишіть значення струму при навантаженні 2 Ом.
5. Встановіть на магазині опір 4 Ом, знову натисніть  $SBI$  і запишіть значення сили струму для опору 4 Ом.
6. Пункт 5 повторіть для значень опорів 7, 10, 15 і 20 Ом.
7. Увімкніть послідовно з магазинами опір 10 Ом і визначте струм при загальному опорі 30 Ом. Те ж зробіть ще для одного опору 10 Ом і для опору 20 Ом. Запишіть значення струму для опорів 40 Ом і 60 Ом.
8. Обчисліть для кожного значення опору навантаження  $R$  корисну потужність  $P_{кор}$  і к.к.д.  $\eta$ :

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

9. Результати вимірювань і обчислень зручно подати у виді таблиці 1.

Табл. 1

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

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

### Контрольні запитання

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

### Рекомендації для вчителя.

Основною, на наш погляд, проблемою при виконанні цієї роботи буде необхідність знати значення опорів, які вмикаються в коло. Вона легко вирішується при наявності магазину опорів типу Р-33 (рис. 3).



Рис. 3

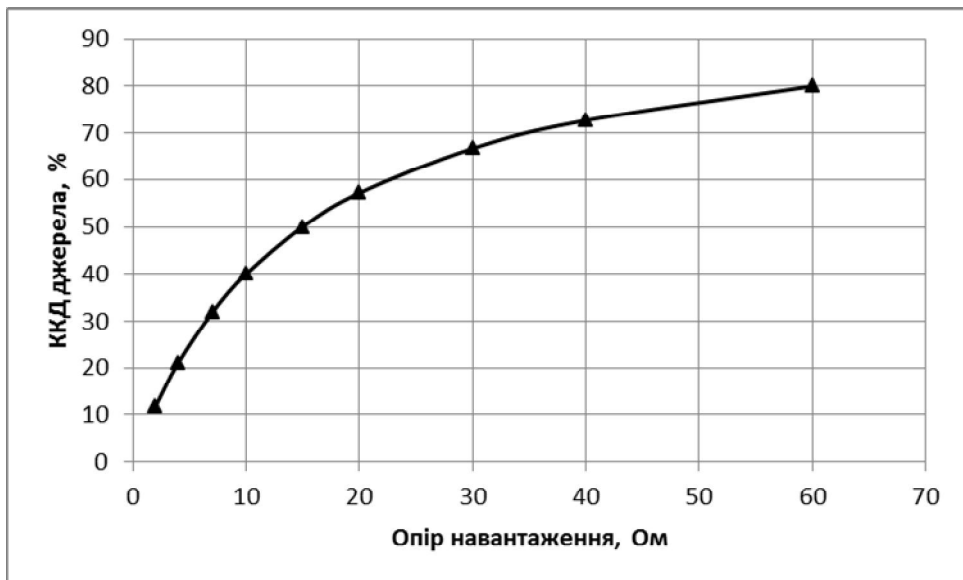
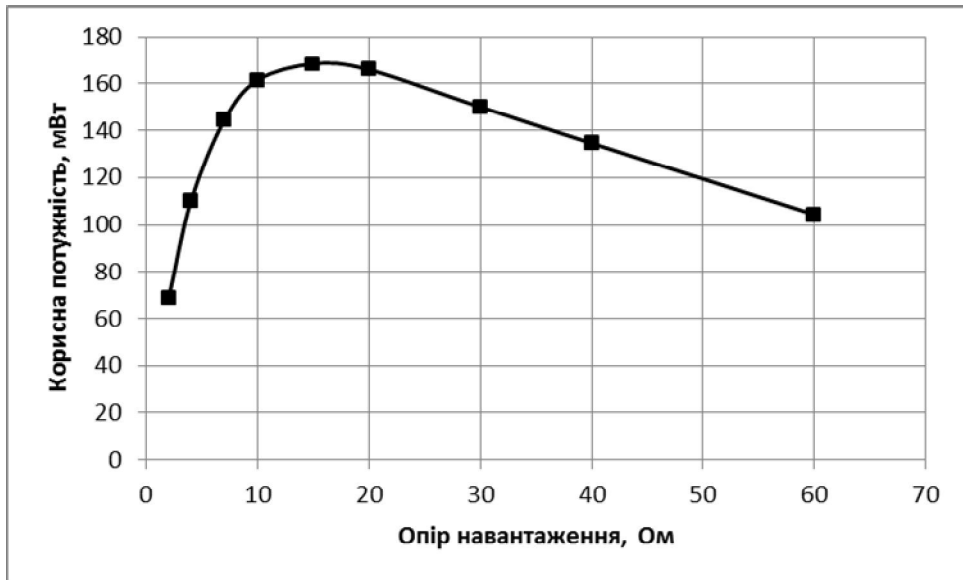
Якщо такого магазину немає, то доведеться використовувати лабораторні магазини опорів по 10 Ом і додаткові опори, які треба виготовити самостійно. В цьому випадку вимірювання будуть менш оперативними. Значення «внутрішнього опору», рівне 15 Ом вибране з умови використання джерела з е.р.с. 3,2 В. При цьому опорі зручно використовувати межу 200 мВ мультиметра для вимірювання напруги на опорі 1 Ом. Для джерела з іншою е.р.с. опір треба розрахувати так, щоб струм при найменшому опорі навантаження не перевищував 200 мА.

Приклад таблиці, складеної за результатами вимірювань і обчислень, подано нижче (табл. 2). Нижче зображено графіки залежності корисної потужності та к.к.д. від опору навантаження.

Табл. 2

$R,$ $\text{Ом}$	$I,$ $\cdot 10^{-3} \text{ A}$	$P_{\text{кор}},$ $\cdot 10^{-3} \text{ Вт}$	$\eta,$ $\%$
2	185,3	68,67218	11,76471
4	166	110,224	21,05263
7	143,6	144,3467	31,81818
10	127,1	161,5441	40
15	106	168,54	50

20	91,1	165,9842	57,14286
30	70,7	149,9547	66,66667
40	58	134,56	72,72727
60	41,7	104,3334	80



## Дослідження залежності опору напівпровідників від температури

**Мета роботи:** Дослідити залежність опору термістора від температури.

**Прилади і матеріали:** Термістор (типу ММТ-4 або аналогічний), закріплений в спеціальному пристосуванні, мультиметр типу DT830B, термометр лабораторний з довгим (10 см) кінцем, штатив універсальний з тримачем, колба або калориметр, холодна і гаряча вода.

### Теоретичні відомості

Всі речовини за своїми електрофізичними властивостями можна розділити на три великих класи: провідники, напівпровідники і діелектрики. Груба класифікація здійснюється за значенням питомого опору: провідники мають питомий опір в межах  $10^{-6} \div 10^{-4}$  Ом·см; напівпровідники –  $10^4 \div 10^{10}$  Ом·см; діелектрики – більше, ніж  $10^{10}$  Ом·см. Проте значення питомого опору не може служити однозначним критерієм належності даного матеріалу до якогось класу. Є велика кількість інших, більш суттєвих ознак. Наприклад, у металів зі збільшенням температури питомий опір зростає:

$$\rho = \rho_0 (1 + \alpha t^{\circ}), \quad (1)$$

а в напівпровідників – зменшується. При температурах, близьких до кімнатної, опір напівпровідників змінюється за законом

$$\rho = \rho_0 e^{\frac{E_g}{2kT}}, \quad (2)$$

де  $\rho_0$  і  $E_g$  – деякі сталі, характерні для кожного напівпровідника. При дуже низьких температурах напівпровідники поведуть себе, як діелектрики. Крім того провідність напівпровідників значною мірою залежить від наявності домішок, від освітлення та наявності електромагнітних полів.

**Отже, напівпровідники – це такі матеріали, що при кімнатній температурі мають опір в межах  $10^4 \div 10^{10}$  Ом·см, який в значній мірі залежить від структури речовини, виду та кількості домішки і від зовнішніх умов: температури, освітлення, опромінення ядреними частинками, електричного і магнітного полів.**

До напівпровідників належить велика кількість найрізноманітніших речовин. Крім простих речовин, таких як кремній, германій, бор, фосфор, сірка, миш'як, сурма, селен, телур, до напівпровідників належить значна кількість з'єднань, наприклад GaAs, InSb, CdS, CdSe, ZnS, PbS та інші.

Один з найпоширеніших напівпровідникових матеріалів – кремній – являє собою кристал з ковалентним зв'язком. При температурі, близькій до  $0$  К, в такому кристалі відсутні носії заряду і він буде діелектриком. При підвищенні

температури за рахунок теплових флуктуацій окремі зв'язки будуть рватися і з'явиться пара носіїв: *електрон* і *вакантне місце з позитивним зарядом*, яке дістало назву "*дірка*".

Концентрація електронів і дірок буде однаковою; провідність, в рівній мірі електронна і діркова, називається *власною провідністю*.

При наявності в напівпровіднику сторонньої домішки виникає *домішкова провідність*. Якщо в кремній (елемент четвертої групи) ввести домішку фосфору (елемент п'ятої групи), то чотири з п'яти валентних електронів атома фосфору будуть здійснювати парно електронні зв'язки в ґратці кремнію, а п'ятий електрон внаслідок теплових коливань стає вільним електроном провідності. В такому напівпровіднику буде переважати електронна провідність; його називають *напівпровідником n-типу*, а домішку такого виду – *донорною* домішкою.

Якщо в кремній ввести домішку бору (елемент третьої групи), то в ґратці кремнію для парно електронного зв'язку не вистачатиме одного електрона. Цей електрон захоплюється від сусіднього атома кремнію, внаслідок чого утворюється дірка. В такому напівпровіднику переважає діркова провідність, його називають *напівпровідником p-типу*, а домішку – *акцепторною*.

В даній роботі ставиться завдання дослідити залежність опору напівпровідника від температури і на основі одержаних експериментальних даних побудувати графік залежності  $R(t)$ .

### Опис установки

Досліджуваний термістор ММТ-4 вміщений в пробірку, що закріплена в колодці з затискачами, до яких виведені провідники від термістора (рис. 1). В колодці є отвір для термометра, яким вимірюють температуру термістора. Для виконання вимірювань колодку розбирають і видаляють пробірку. Колодку термістора закріплюють в штативі, а сам термістор опускають в колбу чи калориметр з холодною водою. З омметром від мультиметра термістор з'єднують провідниками. В другому штативі закріплюють термометр, теж занурений у воду (рис. 2). Заздалегідь нагрівають до температури 80 – 90 °С воду для заміни, на кінчик шприца об'ємом 20 мл надівають відрізок хлорвінілової трубки довжиною біля 15 см.

### Хід роботи

1. Зберіть установку за рис. 2. Вода в колбі повинна бути холодною або мати кімнатну температуру.

2. В зошиті заготуйте таблицю для запису результатів:

Табл. 1

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

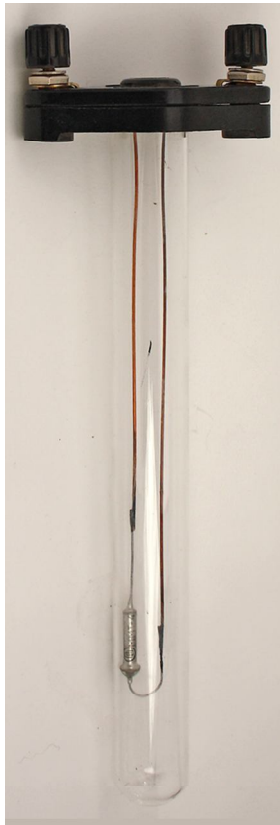


Рис. 1

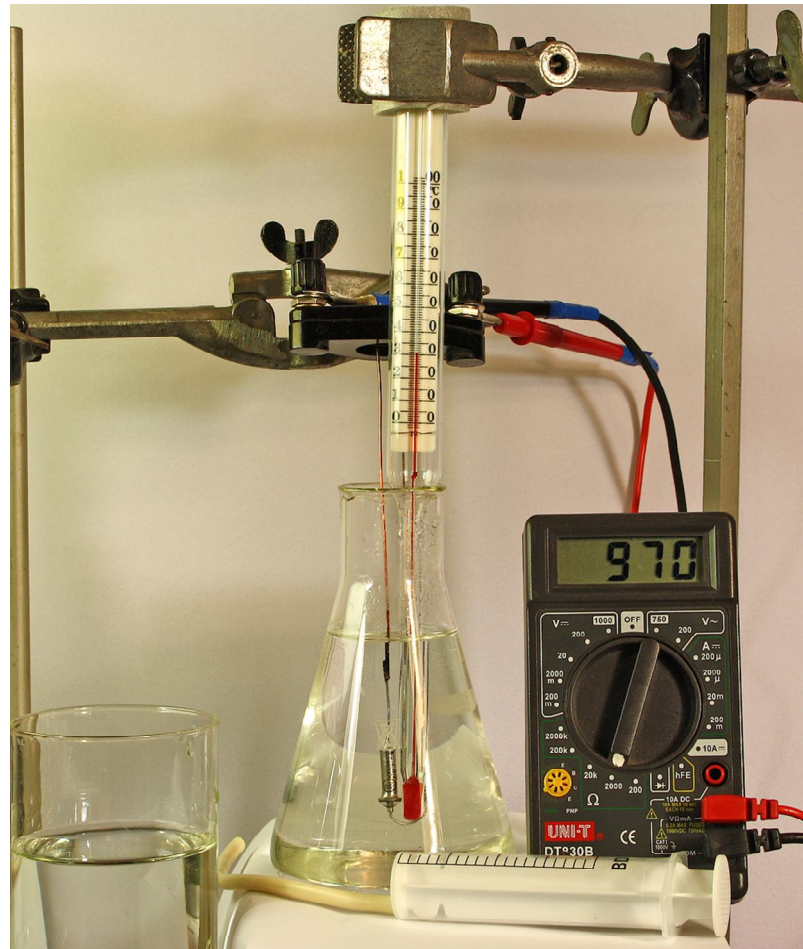


Рис. 2

3. Якщо покази термометра не змінюються, то увімкніть мультиметр в режимі вимірювання опору. Виберіть межу для вимірювання опору термістора, яка забезпечує найбільшу точність. Для ММТ-4 це межа 2000 Ом. Запишіть в таблицю значення температури і опору термістора. Якщо вода мала температуру, що відрізнялась від кімнатної, то доведеться дочекатись встановлення теплової рівноваги, при якій покази практично не змінюються.

4. З допомогою шприца з трубкою надберіть 40 – 50 мл холодної води і долийте шприцом в колбу стільки ж гарячої. Набираючи і випускаючи воду шприцом в колбі, перемішайте холодну і гарячу воду. Дочекайтесь встановлення теплової рівноваги, і запишіть значення температури і опору термістора. При встановленні теплової рівноваги покази термометра і мультиметра практично не змінюватимуться.

5. Повторіть пункт 4 вісім – дев'ять раз. За даними досліду побудуйте графік залежності опору термістора від його температури. По вертикалі відкладайте опір, по горизонталі – температуру. Нанесіть експериментальні точки і проведіть криву, що найкраще «вписується» в експериментальні точки.

Електронні таблиці Excel значно полегшать вашу роботу.

8. Зробіть висновок про характер залежності  $R(t)$ .

## Контрольні запитання

1. За якими ознаками речовини поділяють на провідники, напівпровідники та ізолятори?
2. Поясніть, чим обумовлена провідність металів, електролітів і напівпровідників?
3. Чому при нагріванні опір напівпровідників зменшується?
4. Які практичні застосування термісторів?
5. Як, користуючись термістором, омметром і побудованим графіком, виміряти невідому температуру води в склянці?

### Рекомендації для вчителя.

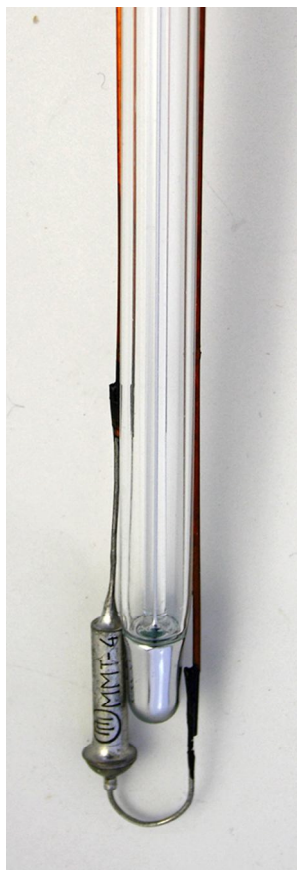


Рис. 3

Рекомендації до даної роботи значною мірою повторюють те, про що йшла мова в зауваженнях до роботи по визначенню температурного коефіцієнту опору металів. Окрім них, додамо наступне.

Термометр, яким визначають температуру термістора, повинен бути таким, щоб його кулька перебувала безпосередньо біля термістора (рис. 3).

Перше вимірювання температури і опору виконайте при кімнатній температурі (можна в повітрі). Термістор разом з термометром занурюють у воду для забезпечення гарного теплового контакту термістора і термометра. Краще, якщо замість колби використовуватиметься калориметр, в який зразу наливають гарячу воду, замінюючи її поступово холодною.

В крамницях радіотоварів можна придбати термістори, розміри яких близько 1 мм (рис. 4). Їх градування теж можна виконувати прямо у воді.

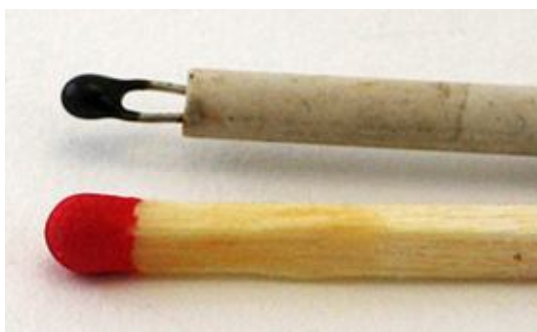


Рис. 4

На рис. 5 наведений графік залежності опору термістора від температури, побудований за експериментальними даними таблиці 2.

Табл. 2

$t^{\circ}\text{C}$	21,6	31	35	35,5	41	49	60	70	80	85
$R, \text{ Ом}$	1207	959	863	858	745	614	476	383	315	287



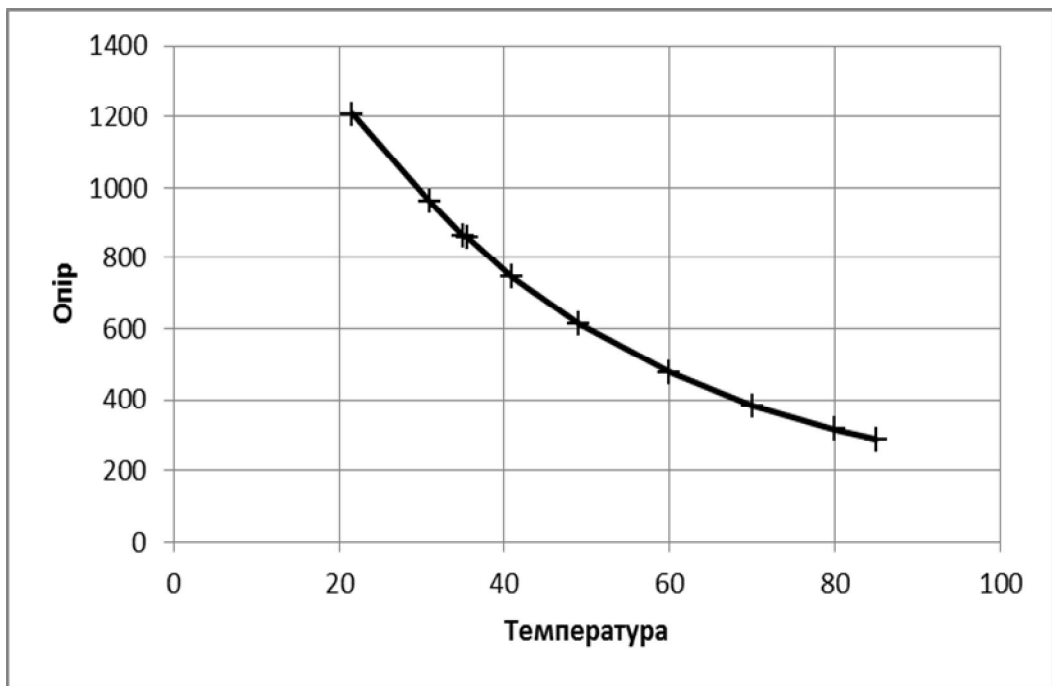


Рис. 5

## Дослідження напівпровідникового діода

**Мета роботи:** Дослідити залежність струму через діод від прикладеної до нього напруги і побудувати вольт амперну характеристику діода.

**Прилади і матеріали:** Напівпровідниковий германієвий діод (типу Д7), джерело постійного струму з е.р.с. 3 – 4,5 В, два мультиметри типу DT830В, додаткові опори 1 Ом і 1 кОм, реостат на 100 – 200 Ом, вимикач, з'єднувальні провідники.

### Теоретичні відомості

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

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

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

Залежність сили струму від напруги називають вольт амперною характеристикою діода (ВАХ). В даній роботі потрібно зняти статичну вольт амперну характеристику діода.

### Опис установки для вимірювання.

Для зняття ВАХ використовується схема, зображена на рис. 1. За цією схемою вимірюється прямий струм діоду. Для вимірювання зворотного струму слід змінити полярність джерела і замість міліамперметра увімкнути в коло мікроамперметр. Крім того, при використанні звичайних електро-вимірювальних приладів магнітоелектричної системи схему доводиться дещо змінювати – рис. 2. Це пояснюється тим, що лабораторний аналоговий

вольтметр має опір того ж порядку, що й зворотній опір діода, тому при увімкненні вольтметра за схемою 1 мікроамперметр буде реєструвати струм через вольтметр.

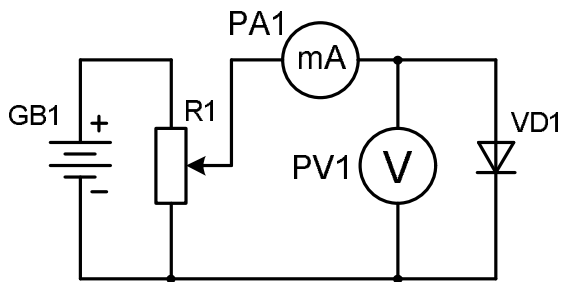


Рис. 1

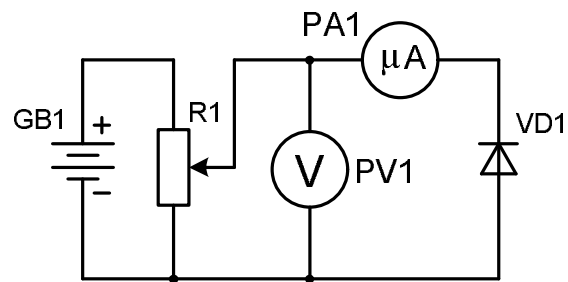


Рис. 2

Використання для вимірювань цифрових мультиметрів дає можливість використати одну схему вимірювань, подібну схемі рис. 1. Крім того, замість амперметра в коло вмикається резистор R2, а сила струму визначається за падінням напруги на опорі цього резистора (рис. 3). При значенні опору R2, рівному 1 Ом, покази мілівольтметра дорівнюватимуть силі струму в мА. Для вимірювання зворотного струму, який дорівнює одиницям чи десяткам мкА, в коло вмикають резистор R3, опір якого дорівнює 1 кОм. Тепер покази мілівольтметра дорівнюватимуть силі струму в мкА. Для зміни напрямку струму через діод його треба увімкнути за схемою рис. 4.

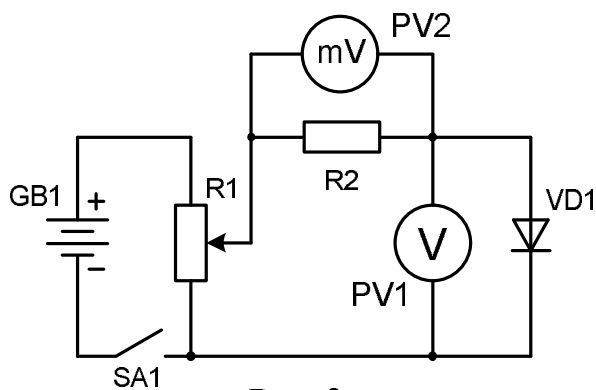


Рис. 3

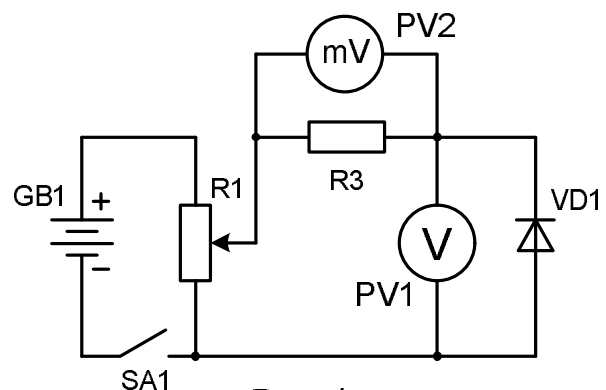


Рис. 4

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

Монтажну схему установки для зняття ВАХ за схемою рис. 3 показано на рис. 5.

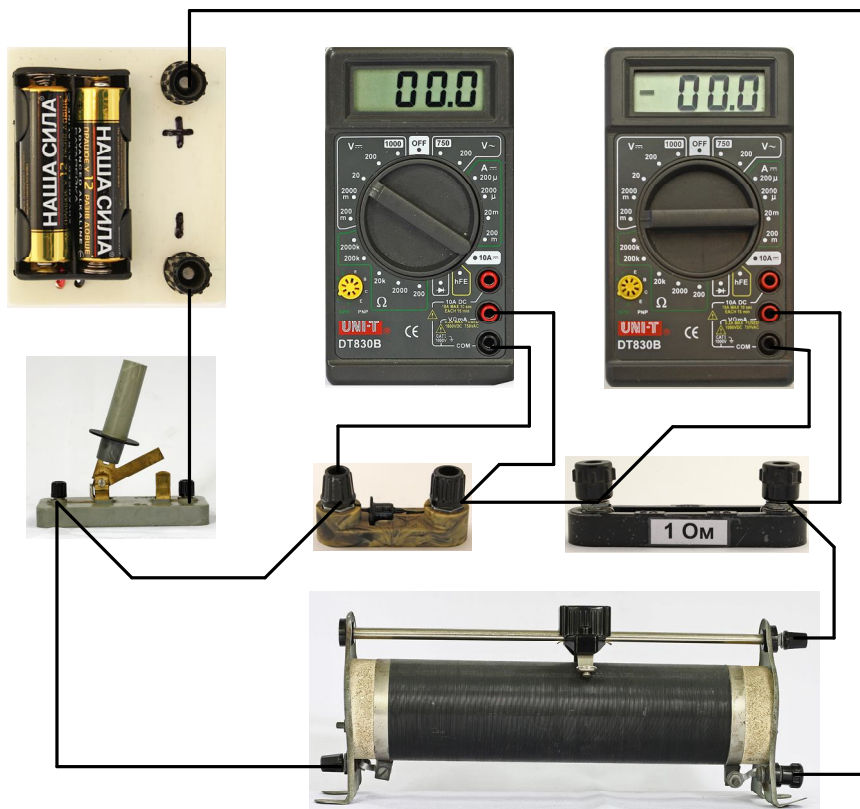


Рис. 5

### Хід роботи

1. Зберіть електричне коло за схемою рис 5. Положення повзунка реостата – крайнє ліворуч. Реостат, увімкнений так, як зображено на схемі, називають потенціометром. Після перевірки кола вчителем замкніть вимикач SA1 та увімкніть мультиметри. Мультиметр PV1 вимірює пряму напругу на діоді від 0 до 0,5 В, тому межу вимірювання краще вибрати рівною 2 В (2000 мВ); мультиметр PV2 вимірює напругу на опорі 1 Ом, тобто струм, межа вимірювання – 200 мВ.

2. Обережно починайте пересувати повзунок реостата, слідкуючи за показами вольтметра PV1. Намагайтесь виставити напругу приблизно 0,01 – 0,02 В. При напрузі 0,01 – 0,015 В струму не буде. Запишіть значення напруги і сили струму, навіть якщо струм дорівнює нулю.

3. Збільште напругу до 0,03 В – повинен з'явитись малий струм. Запишіть значення струму і напруги. (Нагадаємо, що покази мілівольметра відповідають струму в мА).

4. Встановіть напругу рівною приблизно 0,07 В, потім – 0,12 В, 0,20 В, 0,25 В, 0,3 В, 0,35 В, 0,4 В. Запишіть значення сили струму і напруги.

**Будьте уважні!** Струм через діод не повинен бути значно більшим 200 мА. Тому при досягненні струму більш, ніж 200 мА (при цьому цифри на індикаторі погаснуть і висвітлиться 1), слід припинити вимірювання і розімкнути перемикач SA1. Вимкніть також мультиметри.

5. Замініть опір R2 1 Ом на опір R3 1 кОм, діод увімкніть в зворотному напрямі, як показано на схемі рис. 4. Реостат знову переведіть в положення, при якому напруга на діоді дорівнюватиме нулю.

6. Після перевірки кола вчителем, увімкніть мультиметри (PV1 на межі 20 В, PV2 на межі 200 мВ) і замкніть вимикач SA1.

7. Встановіть реостатом напругу 0,05 В і запишіть значення струму і напруги (покази мілівольтметра відповідають струму в мкА!). Повторіть вимірювання для напруг 0,1, 0,15, 0,2, 0,5, 1,0 1,5, 2, 2,5, 3 В. Не намагайтесь точно встановити напругу; замість 1,5 В підійде будь-яке близьке значення, наприклад, 1,43 В.

8. Дані вимірювань подайте у вигляді двох таблиць: одна – для прямого струму, друга – для зворотного.

#### Прямий струм

U, В	0										
I, мА	0										

#### Зворотний струм (значення від'ємні)

U, В	0										
I, мкА	0										

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

10. Як додаткове завдання зніміть ВАХ кремнієвого діода (типу Д226).

11. Зробіть висновки.

### Контрольні запитання

1. Назвіть основні властивості напівпровідників.
2. Як одержують напівпровідник n – типу? p – типу?
3. Як утворюється р-n – перехід і які його властивості?
4. Як обчислити опір діода при різних напругах?
5. Проаналізуйте одержані ВАХ. Чим відрізняються ВАХ германієвого і кремнієвого діодів?

### Рекомендації для вчителя.

Вибір германієвого діода для досліджень пояснюється тим, що він починає пропускати струм при прямій напрузі близько 0,1 – 0,15 В, тоді як кремнієвий діод відкривається лише при напрузі близько 0,4 В. Крім того, германієвий діод має значно більший зворотний струм, що спрощує вимірювання.

При виконанні роботи звичайно не виникає якихось проблем. Нижче наведено дані виконання роботи на прикладі діода Д7Ж.

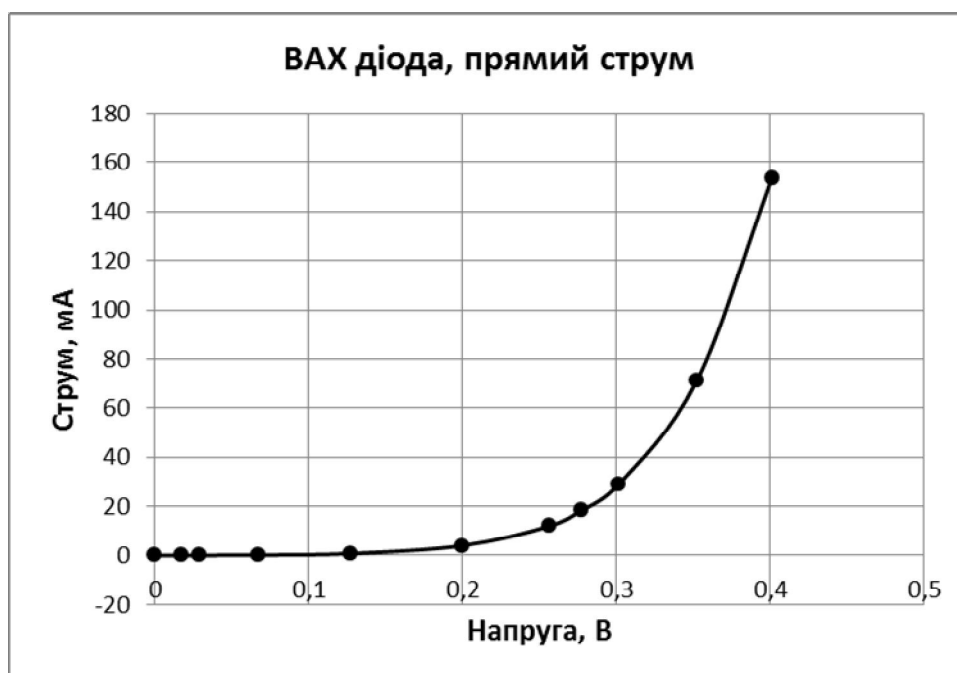
#### Прямий струм

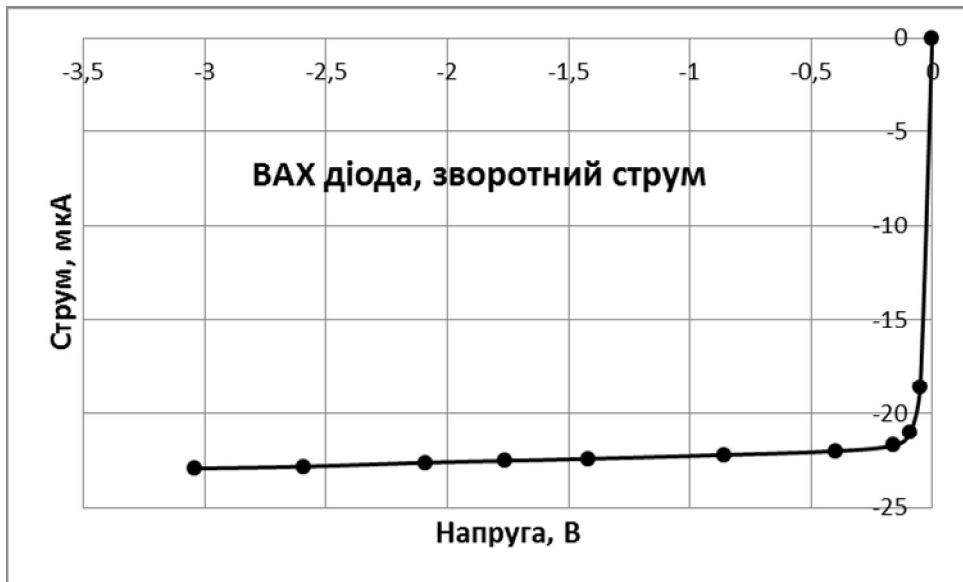
U, В	0	0,017	0,029	0,067	0,127	0,20	0,256	0,301	0,352	0,401
I, мА	0	0	0,1	0,2	0,8	4,1	12	28,7	70,9	153,6

#### Зворотний струм (значення від'ємні)

U, В	0	-0,05	-0,09	-0,16	-0,40	-0,86	-1,42	-1,76	-2,09	-2,59	-3,04
I, мкА	0	-18,6	-21	-21,7	-22	-22,2	-22,4	-22,5	-22,6	-22,8	-22,9

За даними таблиць, використовуючи Excel, будуюмо графіки.





## Моделювання радіоактивного розпаду

**Мета роботи:** перевірити математичну залежність, що описує закон радіоактивного розпаду і побудувати графік розпаду.

**Прилади і матеріали:** монети, дві пластикові банки, рознос.

### Теоретичні відомості.

Природна радіоактивність являє собою процес самовільного перетворення атомних ядер, що супроводжується вилітанням різних частинок та випромінюванням. Випромінювання  $\gamma$ -променів супроводжує, як правило, процеси  $\alpha$ - та  $\beta$ -розпаду. Випромінюючи  $\gamma$ -фотони, збуджене ядро переходить в основний стан.

Під час  $\alpha$ -розпаду ядро втрачає чотири нуклони; його масове число зменшується на чотири одиниці, а заряд – на дві. Під час  $\beta$ -розпаду масове число залишається незмінним, а заряд збільшується на одиницю. Як і  $\alpha$ , так і  $\beta$ -розпад описуються одним і тим же статистичним законом, який називають *законом радіоактивного розпаду*.

Оскільки природна активність – це самовільний процес, то розпад кожного ядра є випадковою подією, що має певну імовірність. Число ядер  $dN$ , що розпалися за проміжок часу  $dt$ , пропорційне  $dt$  і числу наявних ядер, які ще не розпалися:

$$dN = -\lambda N dt \quad (1)$$

Знак "мінус" з'являється в зв'язку з тим, що число ядер, які не розпалися, зменшується в процесі розпаду. Стала розпаду  $\lambda$  являє собою відносне зменшення числа ядер в одиницю часу. Інтегруючи рівняння (17.1) з початковою умовою  $N = N_0$  при  $t = 0$ , одержимо *закон радіоактивного розпаду*:

$$N = N_0 e^{-\lambda t} \quad (2)$$

В рівнянні (2)  $N_0$ - це число радіоактивних ядер в початковий момент часу, а  $N$ - число ядер, що *не розпалися* за час  $t$ .

Крім сталої розпаду радіоактивний розпад можна характеризувати *періодом піврозпаду  $T$* .

*Період піврозпаду – це час, протягом якого число наявних радіоактивних ядер зменшується вдвічі.*

Якщо час  $t_1 = T$ , то число ядер, що залишилися, дорівнює  $N_1 = \frac{N_0}{2}$ ; через два періоди  $t_2 = 2T$ :  $N_2 = \frac{N_1}{2} = \frac{N_0}{4}$ ; через три періоди  $t_3 = 3T$ :  $N_3 = \frac{N_2}{2} = \frac{N_0}{8}$  і т.д.



Перепишемо вирази для  $N_1, N_2, N_3$  наступним чином:  $N_1 = \frac{N_0}{2}$  ;  $N_2 = \frac{N_0}{2^2}$  ;  
 $N_3 = \frac{N_0}{2^3}$  .

Легко бачити закономірність, яку можна подати в загальному виді:  
 $N_k = \frac{N_0}{2^k}$  , де  $k = \frac{t_k}{T}$  . Для довільного моменту часу  $t$ :

$$N = \frac{N_0}{2^{\frac{t}{T}}} \quad \text{або} \quad N = N_0 \cdot 2^{-\frac{t}{T}} \quad (3)$$

(3)- це ще одна форма запису закону радіоактивного розпаду.  
 Вираз (3) можна одержати також і з рівняння (2).

Якщо  $t = T$  , то  $N = \frac{N_0}{2}$  :  $\frac{N_0}{2} = N_0 e^{-\lambda T}$  ; скоротивши на  $N_0$ ,  
 матимемо:  $\frac{1}{2} = e^{-\lambda T}$  , або  $2 = e^{\lambda T}$  .

Прологарифмуємо цей вираз:  $\ln 2 = \lambda T$  , звідки:

$$\lambda = \frac{\ln 2}{T} \quad (4)$$

Вираз (4) дає зв'язок між сталою радіоактивного розпаду і періодом  
 піврозпаду. Підставимо (4) в (2):  $N = N_0 e^{-\frac{\ln 2}{T} t}$  ; після перетворень одержимо:  
 $N = N_0 2^{-\frac{t}{T}}$  , що співпадає з виразом (3).

Число ядер, що *розпались* за час  $t$ , дорівнює:

$$N' = N_0 - N = N_0 - N_0 2^{-\frac{t}{T}} = N_0 (1 - 2^{-\frac{t}{T}}) \quad (5)$$

Закон радіоактивного розпаду передбачає число ядер, які не розпались за  
 час  $t$ ; але він не вказує, які саме ядра розпадутся за цей час. Цей закон є  
 статистичним законом; точно він виконується лише у випадку величезної  
 кількості ядер.

Імовірність розпаду кожного з радіоактивних ядер за час  $T$  дорівнює  $1/2$ .  
 Процес радіоактивного розпаду можна моделювати підкиданням монет, при  
 якому з імовірністю  $1/2$  випадає герб чи цифра ("орел" чи "решка"). Нехай,  
 якщо випаде "орел", то ядро вціліло, а якщо "решка" - то розпалось. Кожне  
 кидання монет відповідає для ядра протіканню проміжку часу, що дорівнює  
 періоду піврозпаду.

### Хід роботи.

1. Відрахуйте 128 монет ( $N_0=128$ ), перемішайте їх у банці і висипте на рознос.
2. Підрахуйте число монет, що "не розпались" ("орел"), і складіть їх знову в банку. В іншу банку складіть монети, що "розпалися".
3. Перемішайте в банці монети, що "не розпались", і знову висипте їх на рознос. Повторіть п.2.
4. Пункт 3 повторюйте до тих пір, поки всі монети "розпадутся".
5. Кількість монет, що "не розпалися" при черговому киданні, і кількість монет, що "розпались" за  $n$  кидань, занесіть в таблицю 1. Врахуйте, що кількість монет, які «розпались» за два кидання дорівнює сумі монет, які «розпались» за перше і друге кидання і т. д.
6. Повторіть серію кидань ще двічі, щоразу починаючи з  $N_0=128$ . Результати дослідів занесіть в таблиці 2 і 3, що аналогічні табл.1.
7. Побудуйте графік залежності  $N(n)$ . Всі серії зобразіть на одному рисунку, використавши різнокольорові ручки. На цьому ж рисунку зобразіть теоретичну залежність  $N = N_0 2^{-n}$ .
8. Зробіть висновок.

### Контрольні запитання

1. Який склад атома і атомного ядра?
2. Що являють собою  $\alpha$ ,  $\beta$  - частинки та  $\gamma$  - промені?
3. Які способи реєстрації іонізуючих випромінювань ви знаєте?
4. Який фізичний зміст сталої розпаду  $\lambda$ ?
5. Що називають періодом піврозпаду  $T$ ?
6. Який зв'язок між величинами  $\lambda$  і  $T$ ?
5. Який елемент слід вважати більш радіоактивним: з періодом піврозпаду 1 доба чи 1 година? Чому?

Табл. 1

Кількість кидань $n$	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Кількість монет, що "не розпались", $N$	128										
Кількість монет, що "розпались", $N'$	0										

### Рекомендації для вчителя

Наведемо приклад заповненої таблиці (часто учні заповнюють її невірно).

Кількість кидань $n$	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Кількість монет, що "не розпались", $N$	128	65	26	17	6	4	1	1	0		
Кількість монет, що "розпались", $N'$	0	63	102	111	122	124	127	127	128		

В нижні клітки треба заносити кількість монет, що «розпалися» за два, три і т. д. кидань. Сума чисел в сусідніх по вертикалі кліточках повинна бути рівна 128.

**Вивчення дозиметра і складання радіологічної карти місцевості**

**Мета роботи:** Ознайомитись з принципом роботи дозиметра МКС-05 «ТЕРРА-П». Дослідити радіаційний фон на території школи та поверхневу забрудненість деяких об'єктів бета-радіонуклідами.

**Прилади і матеріали:** Дозиметр – радіометр МКС-05 «ТЕРРА-П».

**Теоретичні відомості.**

Природна радіоактивність являє собою процес самовільного перетворення атомних ядер, що супроводжується вилітанням різних частинок та випромінюванням. Випромінювання  $\gamma$ -променів супроводжує, як правило, процеси  $\alpha$  – та  $\beta$  – розпаду. Випромінюючи  $\gamma$ -фотони, збуджене ядро переходить в основний стан.

Нагадаємо, що  $\alpha$  – частинки – це ядра атома гелію  ${}^4_2\text{He}$  з енергією 4 – 9 МеВ,  $\beta$  – частинки – це швидкі електрони,  $\gamma$  – випромінювання – це електромагнітне випромінювання з довжиною хвилі менше  $10^{-10}$  м.

Під час  $\alpha$  – розпаду ядро втрачає чотири нуклони; його масове число зменшується на чотири одиниці, а заряд – на дві. Під час  $\beta$  – розпаду масове число залишається незмінним, а заряд збільшується на одиницю. Як і  $\alpha$ , так і  $\beta$  – розпад описуються одним і тим же статистичним законом, який називають **законом радіоактивного розпаду**.

Оскільки природна активність – це самовільний процес, то розпад кожного ядра є випадковою подією, що має певну імовірність. Число ядер  $dN$ , що розпалися за проміжок часу  $dt$ , пропорційне  $dt$  і числу наявних ядер, які ще не розпалися:

$$dN = -\lambda N dt \quad (1)$$

Знак "мінус" з'являється в зв'язку з тим, що число ядер, які не розпалися, зменшується в процесі розпаду. Стала розпаду  $\lambda$  являє собою відносне зменшення числа ядер в одиницю часу. Інтегруючи рівняння (1) з початковою умовою  $N = N_0$  при  $t = 0$ , одержимо **закон радіоактивного розпаду**:

$$N = N_0 e^{-\lambda t} \quad (2)$$

В рівнянні (2)  $N_0$  – це число радіоактивних ядер в початковий момент часу, а  $N$  – число ядер, що **не розпалися** за час  $t$ .

Крім сталої розпаду радіоактивний розпад можна характеризувати **періодом піврозпаду  $T$** .

**Період піврозпаду – це час, протягом якого число наявних радіоактивних ядер зменшується вдвічі.**

Якщо в (2) час  $t = T$ , то  $N = \frac{N_0}{2}$ :  $\frac{N_0}{2} = N_0 e^{-\lambda T}$ ; скоротивши на  $N_0$ , матимемо:  $\frac{1}{2} = e^{-\lambda T}$  або  $2 = e^{\lambda T}$ .

Прологарифмуємо цей вираз:  $\ln 2 = \lambda T$ , звідки:

$$\lambda = \frac{\ln 2}{T} \quad (3)$$

Підставимо вираз (3) в (2):

$$N = N_0 \cdot 2^{-\frac{\ln 2}{T} t}$$

Одержимо:

$$N = N_0 \cdot 2^{-\frac{t}{T}} \quad (4)$$

(4)- це ще одна форма запису закону радіоактивного розпаду.

Число ядер, що *розпались* за час  $t$ , дорівнює:

$$N' = N_0 - N = N_0 - N_0 2^{-\frac{t}{T}} = N_0 (1 - 2^{-\frac{t}{T}}) \quad (5)$$

Закон радіоактивного розпаду передбачає число ядер, які не розпались за час  $t$ ; але він не вказує, які саме ядра розпадутся за цей час. Цей закон є статистичним законом; точно він виконується лише у випадку величезної кількості ядер. Імовірність розпаду кожного з радіоактивних ядер за час  $T$  дорівнює  $1/2$ .

Розглянемо 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).  
 $1 \text{ Бк} = 1 \text{ розпад за секунду}$ .  $1 \text{ Ки} = 3,7 \cdot 10^{10} \text{ Бк}$ .

**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:

$$1 \text{ Р} = 2,58 \cdot 10^{-4} \text{ Кл/кг}, 1 \text{ Кл/кг} = 3,876 \cdot 10^3 \text{ Р}.$$

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 Зв – еквівалентна доза будь-якого виду іонізуючого випромінювання, поглинутого 1 кг біологічної тканини, яка спричинить такий же ефект, як і поглинута доза фотонного випромінювання в 1 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:  $1 \text{ Зв} = 1 \text{ Гр} = 100 \text{ рад} = 100 \text{ бер}$ .

В даній роботі використовується дозиметр-радіометр МКС-05 «ТЕРРА-П» (рис. 1), який дає можливість виміряти потужність еквівалентної дози та еквівалентну дозу гамма-випромінювання а також оцінити забруднення поверхні бета-радіонуклідами. Із-за значної похибки вимірювань (25 %) дозиметр може використовуватись лише як навчальний прилад.



Рис. 1

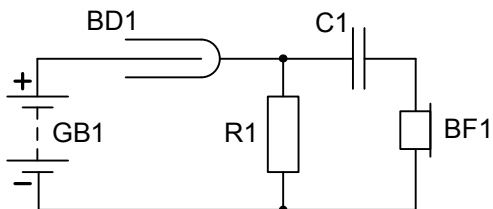


Рис. 2

В дозиметрі використаний газорозрядний лічильник Гейгера-Мюллера, спрощена схема якого зображена на рис. 2. Дія лічильника ґрунтується на явищі іонізації, яку здійснює частинка, пролітаючи через газ у лічильній трубці. Трубка лічильника (типу СТС-5) виготовлена з тонкої металевої фольги і заповнена сумішшю газів (неон, аргон, хлор або бром) під тиском порядку 100 мм рт. ст. Вздовж вісі трубки натягнута тонка металева дротина, яка є анодом, а сама трубка – катодом. Напруга між електродами лічильника дорівнює приблизно 500 В.

Поява іонізуючої частинки в трубці лічильника викличе появу короткочасного газового розряду. Імпульс струму, що виникає при цьому в зовнішньому електричному колі, приведе до появи в телефоні короткочасного звукового сигналу. В дозиметрі імпульси струму реєструються перерахунковим пристроєм і результат виводиться на цифровий індикатор.

Кнопки управління роботою дозиметра ПОРІГ і РЕЖИМ розташовані зліва і справа над цифровим індикатором (див. рис. 1). На зворотній частині дозиметра видно кришки відсіку живлення і вікна детектора. На рис. 3 зображено дозиметр зі знятими кришками.

Для увімкнення дозиметра треба короткочасно натиснути кнопку РЕЖИМ. Дозиметр вмикається в режимі вимірювання потужності

еквівалентної дози (ПЕД), 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.



Рис. 3

Після завершення інтервалу вимірювання на індикаторі висвічується результат вимірювання гамма-фону.

Наступне короткочасне натискання на кнопку РЕЖИМ переводить дозиметр в режим вимірювання еквівалентної дози. На індикаторі висвічується одиниця вимірювання еквівалентної дози « $\text{mSv}$ » (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).



## Хід роботи.

### 1. Вимірювання природного радіаційного фону

1. Ознайомтесь з дозиметром МКС-05 «ТЕРРА-П». Увімкніть дозиметр, короткочасно натиснувши кнопку «РЕЖИМ». Простежте за зміною індикації при повторних натисканнях кнопки. Вимкніть дозиметр.

2. Отримайте від учителя план виконання вимірювань. Підійдіть до об'єкта, який необхідно обстежити.

3. Короткочасно натисніть кнопку «РЕЖИМ». Дозиметр повинен увімкнутися і на цифровому індикаторі з'явиться символ  $\mu\text{Sv/h}$ . Короткочасні звукові сигнали супроводжуватимуть зареєстровані гамма-кванти, а цифри індикатора будуть блимати.

4. Зорієнтуйте дозиметр метрологічною міткою «+» (див. рис. 1) у напрямку об'єкта, що обстежується. Приблизно через хвилину цифри на індикаторі перестануть блимати. Запишіть покази індикатора.

5. Через 1 – 2 хвилини повторіть запис. Якщо результати відрізняються, то повторіть ще один – два рази вимірювання з інтервалом у дві хвилини.

6. 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.

7. Виконайте вимірювання потужності еквівалентної дози гамма-фону в усіх запланованих місцях. Вимкніть дозиметр. Складіть звіт по роботі, зробіть висновок.

### 2. Оцінка поверхневої забрудненості об'єкту бета-радіонуклідами

1. Увімкніть дозиметр, короткочасно натиснувши кнопку «РЕЖИМ». Розташуйте дозиметр так, щоб метрологічна мітка «+» була якомога ближче до досліджуваної поверхні. Виконайте два – три вимірювання гамма-фону.

2. Зніміть кришку-фільтр (див. рис. 3) і розташуйте дозиметр вікном детектора поблизу досліджуваної поверхні. При відкритій кришці дозиметр реєструє як гамма, так і бета-випромінювання.

3. Виконайте з інтервалом у дві хвилини два – три вимірювання зі знятою кришкою. Запишіть результати вимірювань, закрийте кришку і вимкніть дозиметр.

4. 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.

5. Закінчивши роботу, не забувайте вимикати живлення дозиметра. Якщо індикатор дозиметра не увімкнений, то це ще не свідчить про вимкнення джерела живлення! Короткочасно натисніть кнопку «РЕЖИМ», щоб увімкнути індикатор, а потім натисніть і утримуйте протягом 4 секунд кнопку «РЕЖИМ».

## Контрольні запитання

1. Який склад атома і атомного ядра?
2. Що являють собою  $\alpha$ ,  $\beta$  - частинки та  $\gamma$  - промені?
3. Які способи реєстрації іонізуючих випромінювань ви знаєте?
4. Який фізичний зміст сталої розпаду  $\lambda$ ?
5. Що називають активністю радіонукліда?
6. Що називають періодом піврозпаду  $T$ ?
7. Який зв'язок між величинами  $\lambda$  і  $T$ ?
8. Який елемент слід вважати більш радіоактивним: з періодом піврозпаду 1 доба чи 1 година? Чому?
9. Сформулюйте закон радіоактивного розпаду.
10. В чому різниця між поглинутою і еквівалентною дозами іонізуючого випромінювання?
11. Як обчислити еквівалентну дозу за результатами вимірювання потужності еквівалентної дози?

## Рекомендована література

1. Божинова Ф. Я. Фізика. 11 клас. Академічний рівень: Зошит для лабораторних робіт і фізичного практикуму / Ф. Я. Божинова, С. В. Каплун, О. О. Кірюхіна. – Х. : Видавництво «Ранок», 2011. – 80 с. : іл. + додаток (32 с.).
2. Практикум з фізики в середній школі : Дидакт. матеріал : Посібник для вчителя [Пер. з рос.] / Л. І. Анциферов, В. О. Буров, Ю. І. Дік та ін. ; За ред. В. О. Бутова, Ю. І. Діка. – К. : Рад. школа, 1990. – 176 с.
3. Физический практикум для классов с углубленным изучением физики : Дидакт. материал : 9 – 11 кл. / Ю. И. Дик, О. Ф. Кабардин, В. А. Орлов и др.; Под ред. Ю. И. Дика, О. Ф. Кабардина. – М. : Просвещение, 1993. – 208 с.
4. Засекіна Т. М. Фізика : підруч. для 11 кл. загальноосвіт. навч. закл. : (академічний рівень, профільний рівень) / Т. М. Засекіна, Д. О. Засекін. – Харків : Сіція, 2012. – 336 с.

## Зміст

№ п/п	№ за прогр.	Назва роботи	Стор
1	0	Вимірювання сили струму, напруги та опору (вивчення мультиметра)	3
2	1	Дослідження процесу розрядження конденсатора та визначення його ємності.	8
3	2	Визначення питомого опору провідника	13
4	4	Визначення температури розжарення вольфрамової нитки електричної лампи	18
5	5	Визначення температурного коефіцієнту опору металів	29
6	7	Дослідження корисної потужності та к.к.д. джерела струму	35
7	11	Дослідження залежності опору напівпровідників від температури	41
8	10	Дослідження напівпровідникового діода	47
9	26	Моделювання радіоактивного розпаду	53
10	27	Вивчення дозиметра і складання радіологічної карти місцевості	57