

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

«Допущено до захисту»

Завідувач кафедри

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

Реєстраційний номер № \_\_\_\_\_

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2019 р.

**ТЕМА МАГІСТЕРСЬКОЇ РОБОТИ**  
**МЕТОДИКА ВИВЧЕННЯ ПОСТІЙНОГО ЕЛЕКТРИЧНОГО СТРУМУ**  
**В СТАРШИХ КЛАСАХ СЕРЕДНЬОЇ ШКОЛИ**

Магістерська робота студента  
фізико-математичного факультету  
групи ФІм-14  
Освітньо-кваліфікаційний рівень  
Другий рівень вищої освіти  
Спеціальність:  
014.08 Середня освіта (Фізика)  
Додаткова спеціальність:  
014.09 Середня освіта (Інформатика)  
Миколук Давид Віталійович  
Керівник: канд. пед. наук, доцент  
кафедри фізики та методики її  
навчання  
Бурак Володимир Іванович

Оцінка:

Національна шкала \_\_\_\_\_

Шкала ECTS \_\_\_\_ Кількість балів \_\_\_\_

Члени комісії

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

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	3
Розділ 1. АНАЛІЗ ТРАДИЦІЙНИХ МЕТОДИК ВИВЧЕННЯ ПОСТІЙНОГО ЕЛЕКТРИЧНОГО СТРУМУ В РІЗНІ РОКИ .....	6
1.1 Аналіз радянської методики вивчення постійного електричного струму в старшій школі.....	6
1.2. Аналіз вітчизняної методики вивчення постійного електричного струму в старших класах середньої школи у 1992-2011 роках.....	7
1.3. Аналіз нової вітчизняної методики вивчення постійного електричного струму в старших класах середньої школи.....	10
Висновок до розділу 1.....	16
Розділ 2. ПРАКТИЧНИЙ ДОРОБОК. НАПРАЦЮВАННЯ МЕТОДИКИ ВИВЧЕННЯ ПОСТІЙНОГО ЕЛЕКТРИЧНОГО СТРУМУ .....	17
2.1 Плани – конспекти різних типів уроків .....	17
2.2. Удосконалення методики проведення лабораторних робіт .....	40
Висновки до розділу 2 .....	64
ВИСНОВКИ .....	66
ВИКОРИСТАНІ ДЖЕРЕЛА.....	67
ДОДАТКИ .....	67

## ВСТУП

Освітнє значення фізики полягає в тому, що фізика формує і розвиває в учнів необхідну суму наукових знань і умінь, необхідних для розуміння явищ і процесів, що відбуваються у навколишньому світі а також є результатом науково – технічної й технологічної діяльності людини.

Одним з головних завдань фізичної освіти є формування в учнів науково-природничої картини світу, оволодіння процесами логічного мислення, мовою фізики, і на основі цього – оволодіння практичними вміннями та навичками для використання навчального обладнання й засобів вимірювання під час проведення навчальних дослідів і експериментів, вміння зробити правильні висновки, а в цілому – підготовка молодої людини до свідомого вибору професії і майбутньої професійної діяльності [8], [9], [10], [6].

Стрімкий розвиток науки і техніки викликає потребу в постійному перегляді навчальних програм, адже навчання повинне бути пов'язаним з життям, готувати учнів до прийняття самостійних виважених рішень у будь-якій сфері професійної чи творчої праці. Не слід забувати і про те, що зміст навчання повинен враховувати вікові особливості учнів, щоб не викликати у них байдужості до знань і відрази до того чи іншого навчального предмету. У цьому розумінні слід зазначити, що переважна більшість підручників з фізики – тих, що використовувалися у минулі роки, і до сучасних різною мірою частково перенасичені малодоступною інформацією. Враховуючи, що навчання має бути цікавим, не слід забувати того, що цікавим може бути лише те, що зрозуміле. А так, як значна частина учнів сьогодні зорієнтована на свою майбутню діяльність, що мало пов'язана з фізикою та технікою, то слід відібрати лише найбільш істотний матеріал, необхідний для загальноосвітньої підготовки.

Вивчення постійного електричного струму обумовлене тим, що він має велике практичне значення в побуті людини: від використання в наших квартирах, зарядження акумуляторів до великих джерел живлення для електронних систем, електродвигунів. Постійний струм низької напруги

використовується в металургії для розплаву та електролізу руд, що є дуже важливим і актуальним для нашого промислового краю.

Важливе місце у курсі фізики відводиться фізичному експерименту. Фізичний експеримент, як відомо, є одним з визначальних способів навчальної діяльності учня. У фізичній науці експеримент є джерелом знань, виступає як важливий висхідний момент у процесі пізнання. Одночасно експеримент – критерій істини отриманих теоретичних знань про природу, він є важливим фактором на завершальному етапі процесу пізнання [8].

Дуже важливе значення мають лабораторні роботи з електричних явищ. Виконаний нами аналіз програм і підручників за три останніх десятиліття показує, що в основному підхід до виконання лабораторних робіт з електричних явищ у шкільному курсі фізики залишився незмінним. Водночас, перелік лабораторних робіт, інструкції до їх виконання змінилися. Так, наприклад, в останнє десятиліття до лабораторних робіт додали теоретичні та експериментальні додаткові творчі завдання. Виникає потреба у такому відпрацюванні окремих лабораторних робіт, яке забезпечує зменшення похибок експерименту.

Тому тема дипломної роботи має назву «**Методика вивчення постійного електричного струму в старшій школі**».

**Об'єкт** – методика вивчення шкільного курсу фізики в старших класах середньої школи.

**Предмет** – методика вивчення постійного електричного струму в старших класах шкільного курсу фізики.

**Мета** роботи – напрацювати плани-конспекти різних типів уроків і удосконалити методику виконання окремих лабораторних робіт, які стосуються постійного електричного струму.

**Завдання:**

1. Проаналізувати програми і методики вивчення постійного електричного струму в старшій школі у різні роки, починаючи з радянських часів.
2. Напрацювати плани-конспекти уроків різного типу з усіх тем розділу

«Постійний електричний струм» з використанням сучасних технологій.

3. Удосконалити методику виконання лабораторних робіт для зменшення похибки експерименту. Удосконалити інструкції до відповідних лабораторних робіт.

**Структура роботи:** вступ, два розділи, висновки, список використаних джерел, додатки.

## Розділ 1. АНАЛІЗ ТРАДИЦІЙНИХ МЕТОДИК ВИВЧЕННЯ ПОСТІЙНОГО ЕЛЕКТРИЧНОГО СТРУМУ В РІЗНІ РОКИ

### 1.1 Аналіз радянської методики вивчення постійного електричного струму в старшій школі

У радянські часи з 1970 року по 1991 рік у старших класах фізику вивчали за єдиними для всього Радянського Союзу підручниками авторів Г.Я. Мякішева, Б.Б. Буховцева [8]. Зміст вивчення фізики у цілому змінювався мало. За підручником Мякішева Г.Я., Буховцева Б.Б. 1990 року, постійний струм вивчався у 10 класі в розділі «Основи електродинаміки» в двох окремих главах: «Закони постійного електричного струму», «Електричний струм у різних середовищах» [5]. До вивчення цих глав входили теми, які перераховані у табл. 1 і табл. 2.

Теми глави «Закони постійного електричного струму». Таблиця 1

Електричний струм. Сила струму.
Умови, необхідні для виникнення електричного струму.
Закон Ома для ділянки кола. Опір.
Електричне коло. Послідовне та паралельне з'єднання провідників.
Зміна сили струму і напруги.
Робота і потужність постійного струму.
Електрорушійна сила.
Закон Ома для замкненого кола.

Теми глави «Електричний струм у різних середовищах». Таблиця 2

Електрична провідність різних речовин.
Електрона провідність металів.
Залежність опору провідника від температури.
Надпровідність
Електричний струм у напівпровідниках.
Електрична провідність напівпровідників при наявності домішок.
Електричний струм через контакт напівпровідників р- та n- типу.
Напівпровідниковий діод.
Транзистори.
Термістори та резистори.
Електричний струм у вакуумі. Діод.
Електронні пучки. Електронно – променева трубка.
Електричний струм у рідинах.
Закон електролізу.

Електричний струм у газах.
Самостійний та несамостійні розряди.
Різні види самостійного розряду і їх технічне застосування.
Плазма.
Технічне застосування законів електродинаміки.

Також за програмою [8] і підручниками передбачено виконання чотирьох лабораторних робіт:

1. «Визначення ЕРС і внутрішнього опору джерела струму».
2. «Визначення питомого опору провідника».
3. «Вивчення послідовного та паралельного з'єднання провідників».
4. «Визначення заряду електрона».

У цілому методика радянських часів надавала учням основні відомості про закони постійного струму і електричний струм у різних середовищах на належному рівні. Певну складність для учнів становили теми, пов'язані з електричним струмом у напівпровідниках. Для вчителів було розроблено методичні посібники, наприклад, за редакцією О.І. Бугайова [2].

## **1.2. Аналіз вітчизняної методики вивчення постійного електричного струму в старших класах середньої школи у 1992-2011 роках**

Починаючи з 1992 року шкільну програму розподілили на три рівні складності: рівень стандарту, академічний та профільний [9], [10], [11].

Загальноосвітня підготовка з фізики відбувається за умов профільного навчання. Зміст фізичної освіти та вимог до засвоєння цього змісту залежать від обраної навчальної програми. На рівні стандарту курс фізики обмежується обов'язковими результатами навчання, тобто мінімально необхідними знаннями, які мають головним чином світоглядне спрямування. На академічному рівні вивчали основи системи фізичних знань, достатніх для продовження навчання за напрямками, де потрібна підготовка з фізики. На рівні профільного (поглибленого) навчання в учнів формуються фундаментальні знання з фізики, оскільки з їх удосконаленням учні здебільшого пов'язують своє майбутнє

професійне зростання.

Рівень стандарту був орієнтований головним чином на світоглядне сприйняття фізичної реальності, розуміння основних закономірностей перебігу фізичних явищ і процесів, загального уявлення про фізичний світ. За цією програмою рекомендували вивчати в загальноосвітніх навчальних закладів суспільно-гуманітарного, художньо-естетичного і спортивного напрямків.

Академічний рівень навчання передбачає більш глибоке засвоєння фізичних теорій та законів, оволодіння навчальним матеріалом, необхідним для широкого застосування у поясненні хімічних, геофізичних, екологічних та інших природних явищ, цілісного уявлення про природничу-наукову картину світу. За цими програмами навчаються учні, для яких фізика є базовим предметом або таким, що тісно пов'язаний із профільними предметами, а також здійснюється загальноосвітня підготовка учнів, які не визначилися щодо напрямку профільної підготовки.

Профільний (поглиблений) рівень передбачає систематизоване вивчення основних фізичних теорій, формування світогляду та наукового стилю мислення учнів на основі фізичної картини світу. Основними профілями навчання, де фізика вивчається на такому рівні, є фізичний, фізико-математичний або фізико-технічний. Проте курс фізики може бути профільним і в інших напрямках профілізації (наприклад, технологічному), якщо фізика в них відіграє роль базового навчального предмета [11].

Аналіз програм різних років [9], [10], [11] показує, що перелік тем з фізики у старшій школі залишався практично незмінним. Порівняльний перелік вивчуваних тем за програмою [11] рівнів стандарт, академічний і профільний представлено в табл. 3.



Перелік тем рівнів стандарт, академічний і профільний. Таблиця 3

Рівень стандарт	Академічний рівень	Профільний рівень
Умови виникнення електричного струму.	Електричний струм. Електричні кола з послідовним та паралельним з'єднанням.	Електричний струм. Електричні кола з послідовним та паралельним з'єднанням. Шунти та додаткові опори.
Електрорушійна сила джерела струму. Закон Ома для повного кола.	Електрорушійна сила джерела струму. Закон Ома для повного кола.	ЕРС. Закон Ома для повного кола. Розгалужені кола. Розрахунок електричних кіл. Правила Кірхгофа.
Робота і потужність електричного струму. Правила безпечного користування електричними приладами.	Робота і потужність електричного кола. Міри та засоби безпеки під час роботи з електричними пристроями.	Робота і потужність електричного кола. Міри та засоби безпеки під час роботи з електричними пристроями.
Електричний струм у різних середовищах.	Електричний струм у металах.	Електричний струм у металах. Термоелектричні явища.
	Електричний струм у рідинах	Електричний струм у рідинах
	Електричний струм у газах. Плазма та її властивості.	Електричний струм у газах. Плазма та її властивості.
Напівпровідники. Власна та домішкова провідність напівпровідників. Напівпровідниковий діод. Застосування напівпровідникових діодів.	Електропровідність надпровідників та її види. Електронно – дірковий перехід і його застосування.	Електропровідність надпровідників та її види. Електронно – дірковий перехід і його застосування.
	Струм у вакуумі та його застосування.	Струм у вакуумі та його застосування.

Фізику за програмою стандарту вивчали, наприклад, за підручником авторів Коршак Є.В., Ляшенко О.І., Савченко В.Ф [14]. За академічною і профільною програмами діяв підручник авторів Бар'яхтар Г. В., Божинова

Ф.Я., Кірюхін М. М., Кірюхіна О. О. [1].

Як видно з таблиці 3, рівень стандарту значно відрізняється від академічного та профільного рівнів. Деякі підручники, наприклад авторів Бар'яхтар Г. В., Божинова Ф.Я., Кірюхін М. М., Кірюхіна О. О., включають себе навчання як і академічного, так і профільного рівнів. Академічний та профільний рівні не значно відрізняються один від одного за переліком тем. У змісті курсу цих рівнів використовується принцип мінімального доповнення: до програми вищого рівня внесли лише ті компоненти змісту, без яких цілісність системи фізичних знань даного розділу порушується. У профільний рівень додалися такі теми як: «Шунти та додаткові опори», «Розгалужені кола. Розрахунок електричних кіл. Правила Кірхгофа» та «Термоелектричні явища».

На рівні стандарт і академічному виконували всього дві лабораторні роботи:

1. «Визначення ЕРС та внутрішнього опору джерела струму».
2. «Дослідження електричного кола з напівпровідниковим діодом».

На профільному рівні виконували чотири лабораторні роботи [11]:

1. «Дослідження послідовного з'єднання провідників».
2. «Дослідження паралельного з'єднання провідників».
3. «Визначення ЕРС та внутрішнього опору джерела струму».
4. «Дослідження електричного кола з напівпровідниковим діодом».

### **1.3. Аналіз нової вітчизняної методики вивчення постійного електричного струму в старших класах середньої школи**

Програми з фізики та астрономії для 10-11 класів закладів загальної середньої освіти затверджені Міністерством освіти і науки України наказом № 1539 від 24.11.2017 року у таких варіантах: 1) «Фізика і астрономія 10-11» (рівень стандарту та профільний рівень), авторського колективу під керівництвом Ляшенка О. І. [7], 2) «Фізика 10-11» (рівень стандарту та профільний рівень), авторського колективу під керівництвом Локтева В. М. [6]. Вибір навчальних програм з фізики та астрономії з двох запропонованих

варіантів здійснюється вчителем та затверджується рішенням педагогічної ради навчального закладу і відображається в освітній програмі закладу освіти і навчальному плані. Програма «Фізика і астрономія 10-11 класи», авторського колективу під керівництвом Ляшенка О. І. поєднує фізичний і астрономічний компоненти, не втрачаючи при цьому своєрідності кожного з цих складників. Враховуючи це, фізичний та астрономічний складники за вибором учителя можуть викладатися інтегровано або як відносно самостійні модулі. У разі вибору цієї програми у навчальному плані, класному журналі і додатку до свідоцтва про здобуття повної загальної середньої освіти зазначається один предмет «Фізика і астрономія». При цьому для держаної підсумкової атестації, як у формі зовнішнього незалежного оцінювання, так і у письмовій формі у закладі освіти учні можуть обирати предмет «фізика».

Ті заклади освіти, що обрали навчальні програми «Фізика. 10-11 класи» авторського колективу під керівництвом В. М. Локтева та в робочих навчальних планах і журналах записують окремі предмети «Фізика» і «Астрономія». Програма орієнтована на формування основних компетентностей у природничих науках і технологіях, а також інших ключових компетентностей (математичної, інформаційно-цифрової, уміння вчитися впродовж життя тощо). Зазначене передбачає приділення головної уваги не запам'ятовуванню певного матеріалу, а глибокому розумінню законів природи та вмінню застосовувати ці закони. Саме тому основну частину уроку слід використовувати для наведення прикладів фізичних явищ у природі та побуті, пояснення фізичної суті явищ, аналізу прикладів їхнього застосування в техніці, медицині, будівництві тощо, розв'язування якісних і кількісних задач. Ланцюжок «спостерігаємо-пояснюємо-застосовуємо» має прослідковуватися під час вивчення будь-якого фізичного явища. Курс фізики 11 класу (як на рівні стандарту, так і на профільному рівні) побудовано таким чином, що під час його опанування цілком природним є розвиток компетентностей, повторення та поглиблення знань, отриманих у попередніх класах: у розділі «Електродинаміка» - повторення законів постійного струму (8 клас), електричного струму в різних середовищах (8 клас) [6], [7].

Порівняльний перелік виучуваних тем за програмою [6] рівнів стандарт і профільний представлено в табл. 4.

*Перелік тем рівнів стандарт і профільний за новою програмою. Таблиця 4*

Рівень стандарт	Профільний рівень
Електричний струм, електричне коло. Постійний струм. Джерела струму	Електричний струм, електричне коло. Постійний струм. Джерела струму
ЕРС. Закон Ома для повного кола. Коротке замикання.	ЕРС. Закон Ома для неоднорідної ділянки кола та повного кола. Коротке замикання.
Визначення електричного опору з послідовним та паралельним з'єднанням провідників. Вимірювання в електричних колах, шунти, та додаткові опори.	Визначення електричного опору з послідовним та паралельним з'єднанням провідників. Вимірювання в електричних колах, шунти, та додаткові опори. Правило Кіргфоха.
Робота і потужність електричного струму, тепла дія струму. Безпека під час застосування електричних пристроїв.	Робота і потужність електричного струму, тепла дія струму. Безпека під час застосування електричних пристроїв.
Порівняльна характеристика різних середовищ, через які може протікати електричний струм (металів, розчинів і розплавів електролітів, газів, плазми, напівпровідників): вільні носії заряду, залежність питомого опору від температури.	Порівняльна характеристика різних середовищ, через які може протікати електричний струм (металів, розчинів і розплавів електролітів, газів, плазми, напівпровідників): вільні носії заряду, залежність питомого опору від температури.
Надпровідність. Електроліз, закони електролізу. Типи самостійного заряду в газах. Застосування електричного струму в різних середовищах.	Надпровідність. Електроліз, закони електролізу. Типи самостійного заряду в газах. Плазма.

Термоелектрона емісія та струм у вакуумі, його застосування. Принцип дії електронно-вакуумних приладів на приладі вакуумного діоду.	Термоелектрона емісія та струм у вакуумі, його застосування. Принцип дії електронно-вакуумних приладів на приладі вакуумного діоду.
Власна й домішкова провідність напівпровідників, електронно-дірковий перехід і його властивості.	Власна й домішкова провідність напівпровідників, електронно-дірковий перехід і його властивості.
Напівпровідниковий діод.	Напівпровідниковий діод, біполярний та польовий транзистор.
Напівпровідникові технології та елементна база сучасної обчислювальної техніки. В.Є. Лашкар'єв – перший дослідник р-п переходу.	Напівпровідникові технології та елементна база сучасної обчислювальної техніки. В.Є. Лашкар'єв – перший дослідник р-п переходу.
	Термоелектричні явища та їх застосування в техніці.

Як можна побачити, у таблиці є тільки рівень стандарт та профільний і відсутній академічний рівень навчання. Пояснюється це тим, що починаючи з 2018-2019 навчального року додається курс «Природничі науки» чи «Природознавство». Це інтегрований курс, що об'єднує фізику, хімію, біологію, географію, астрономію та екологію. Цей курс водиться для шкіл суспільно-гуманітарного напрямку для учнів 10-11 класів, які не будуть складати ЗНО з природничих предметів. У 11 класі фізику вивчають лише за двома рівнями: програма стандарт (раніше ця програма називалась академічною) та профільний рівень.

Аналіз нової програми [6] показує, що перелік основних тем з фізики у старшій школі порівняно з програмами 1992-2010 років залишався практично незмінним, як на рівні стандарту (раніше ця програма називалась академічною), так у профільному рівні.

Порівняльний перелік тем за програмою авторів під керівництвом Ляшенка О.І. [7] поміщений у Додатку 1. Аналіз показує, що перелік тем у цій та проаналізованій вище програми [6] у цілому однаковий. Відмінність полягає у різному найменуванні однотипного матеріалу.

Фізику за програмою академічного рівня вивчають, наприклад, за підручником авторів Бар'яхтар В.Г., Довгий С.О., Божинова Ф.Я., Кірюхіна О.О. [13]. За профільною програми діє підручник авторів Т.М, Засекіна, Д.О. Засекін [12]. За програмою новою програмою у академічному рівні постійний електричний струм вивчається у I розділі «Електродинаміка» частині I в 11 класі за підручник авторів Бар'яхтар В.Г., Довгий С.О., Божинова Ф.Я., Кірюхіна О.О.. За новою програмою йде розподіл на 2 частини: I частина - «Постійний електричний струм» та II частина – «Електромагнетизм». Перша частина включає 9 параграфів, які пов'язані з електричним струмом, а II частина – «Електромагнетизм».

За новою програмою лабораторні роботи перейменували у експериментальні завдання. Перелік експериментальних завдань :

1. Перевірка законів послідовного та паралельного з'єднання провідників.
2. Визначення ЕРС і внутрішнього опору джерела струму.
3. Визначення температурного коефіцієнта опору метала (напівпровідника).

За програмою профільного рівня підручник Т.М, Засекіна, Д.О. Засекін. не має розподілу розділа на частини. Електричний струм та електродинаміка вивчається у великому розділі «Електромагнетизм». Порівняно з рівнем стандарт додалися теми такі як: правило Кіргфоха, закон Ома для однорідної ділянки кола та термоелектричні явища.

Перелік лабораторних робіт:

1. Визначення ЕРС і внутрішнього опору джерела струму.
2. Вимірювання електричного опору за допомогою містка Уїтстона.
3. Визначення температурного коефіцієнта опору метала (напівпровідника).
4. Дослідження неелектричних кіл з нелінійними елементами.

Практика виконання лабораторної роботи «Вимірювання ЕРС і

внутрішнього опору джерела струму» учням середньої школи та студентам педагогічного університету засвідчує про великі похибки опору (понад 20%) при використанні наявних у школі джерел електричного струму, таких як: стандартне джерело струму на 4В і блок живлення на 6В, 2А чи блок живлення з регулювання напруги 4-12 В. Виникає потреба такої методики виконання цієї лабораторної роботи, яка забезпечує значне зменшення похибки вимірювання.

Окремо зазначимо про лабораторну роботу «Дослідження розряду конденсатора та визначення його ємності», яка стосується тільки поглибленої програми. Як показує досвід, виконання аналогічної лабораторної роботи у шкільному курсі фізики чи студента педагогічного університету, потребує подальшого удосконалення для оптимального вибору значень ємності конденсатора і опору резистора, за яких учням і студентам порівняно просто зняти і проаналізувати залежність сили струму від часу при розрядці конденсатора від його ємності та опору резистора.

Проблема вивчення фізики в 11 класі полягає в тому що потрібно запам'ятовувати великі обсяги матеріалу, який в основному є довідковим. І тому щоб покращити вивчення матеріалу з курсу фізики, не поменшуючи роль пам'яті, потрібно більше орієнтуватися на покращення розуміння навчального матеріалу, за допомогою виведення математичних формул, доведення, шляхом пояснення матеріалу за допомогою наочності.

Програма 11 класу (як і 10 класу) перевантажена. Це пов'язано з тим, що починаючи з 2010-2011 навчального року весь матеріал старшої школи, який раніше вивчали протягом трьох навчальних років, почали вивчати за два навчальні роки. Уникнути цього суттєвого недоліку можна тільки при переході до 12-річної середньої школи.

### **Висновок до розділу 1**

1. Проаналізовані програми вивчення постійного електричного струму в старшій школі у різні роки, починаючи з радянських часів і закінчуючи сьогоднішнім.
2. Здійснено аналіз методики вивчення постійного електричного струму в старшій школі, починаючи з радянських часів і до сучасного стану.
3. Відмічені позитивні та негативні сторони традиційної методики навчання постійного електричного струму в старшій школі. Виявлені теми, які потребують модернізації.
4. Зроблено висновок, що лабораторні роботи потребують подальшого удосконалення. Насамперед, це такі лабораторні роботи: «Вимірювання ЕРС і внутрішнього опору джерела струму» за академічною програмою, «Дослідження розрядку конденсатора та визначення його ємності» і «Визначення питомого опору провідника».



## **Розділ 2. ПРАКТИЧНИЙ ДОРОБОК. НАПРАЦЮВАННЯ МЕТОДИКИ ВИВЧЕННЯ ПОСТІЙНОГО ЕЛЕКТРИЧНОГО СТРУМУ**

При напрацюванні планів-конспектів використовував: вчительські матеріали, навчальні посібники, підручник та електронні ресурси [3], [4], [7], [13], [15]. Головну увагу я приділив напрацюванню планів-конспектів уроків різного типу до розділу «Постійний електричний струм». Усього напрацьовано 18 планів-конспектів уроків. Чотири з них наведені нижче в підрозділі 2.1 у основній частині роботи. Інші розміщені у Додатку 2.

Плани-конспекти уроків напрацьовані з дотриманням наступних критеріїв:

- Якісне висвітлення фізичної суті навчального матеріалу;
- Мотивація навчання учнів, що дуже важливо для теперішньої школи;
- Активізація пізнавальної діяльності учнів, у тому числі використання проблемного навчання;
- Залучення ІКТ у навчанні.

### **2.1 Плани-конспекти різних типів уроків**

#### **Урок 1. Електричний струм. Електрична напруга.**

##### **Закон Ома для однорідної ділянки електричного кола**

##### **Мета уроку:**

**Знаннєва:** Поглибити і закріпити знання учнів про умови виникнення електричного струму, сили струму, напругу, опір провідника, закон Ома для однорідної ділянки кола.

**Розвивальна.** Сприяти збагаченню словникового запасу; формуванню пізнавальної самостійності; розвитку спостережливості, уваги, пам'яті, уяви, мислення; виробленню звички до планування своїх дій.

**Виховна.** Виховувати уважність, зібраність, спостережливість.

**Тип уроку:** урок засвоєння нових знань.

**Наочність і обладнання:** навчальна презентація, комп'ютер, підручник, амперметр, вольтметр, джерело струму, резистор, з'єднувальні проводи, лампочки.

#### **Хід уроку**

#### **I. ОРГАНІЗАЦІЙНИЙ ЕТАП (1 хв)**

#### **II. АКТУАЛІЗАЦІЯ ОПОРНИХ ЗНАНЬ ТА ВМІНЬ (4 хв)**

Що таке електричний струм?

За яких умов він виникає?

Які фізичні величини його характеризують?

### III. ВИВЧЕННЯ НОВОГО МАТЕРІАЛУ (25 хв)

#### 1. Електричний струм

**Електричний струм – це напрямлений (упорядкований) рух частинок, які мають електричний заряд.**

**Умови існування електричного струму:**

- 1) наявність вільних заряджених частинок – носіїв струму;
- 2) наявність електричного поля, дія якого створює та підтримує напрямлений рух вільних заряджених частинок.

#### *Проблемні питання*

- Що «відповідає» за створення електричного поля?

**Джерела струму – пристрої, які перетворюють різні види енергії на електричну енергію.**

У джерелах електричного струму виконується *робота з розділення різнойменних електричних зарядів*, у результаті чого на одному полюсі джерела накопичується позитивний заряд, а на другому – негативний; у такий спосіб створюється електричне поле (акумулятори, гальванічні елементи, електромеханічні генератори, сонячні батареї).

**Дії електричного струму:**

*Теплова* (нагрівання провідника).

*Хімічна* (хімічне розкладання речовини).

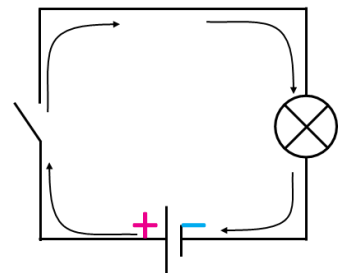
*Магнітна* (набуття магнітних властивостей).

*Світлова* (електрична енергія частково перетворюється на енергію світла).

#### 2. Електричне коло

Найпростіше електричне коло являє собою з'єднані провідниками в певному порядку джерело струму, споживач електричної енергії, замикальний (розмикальний) пристрій.

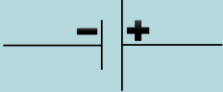

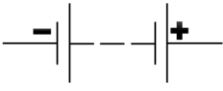
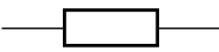

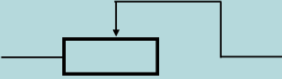
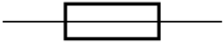



**Електрична схема – це креслення, на якому умовними позначеннями показано, з яких елементів складається електричне коло і яким чином ці елементи з'єднані між собою.**



*За напрямком струму в колі прийнято напрямком, у якому рухаються позитивно заряджені частинки, тобто напрямком від позитивного полюса джерела струму до негативного.*

*Якщо носіями струму є негативно заряджені частинки (наприклад, електрони), то напрям електричного струму протилежний до напрямку їх руху в електричному колі.*

### Умовні позначення деяких елементів електричного кола

	Акумулятор		Електричний дзвінок
	Батарея акумуляторів		Резистор
	Ключ		Реостат
	Запобіжник		З'єднання проводів
	Лампа розжарювання		Затискачі для під'єднання ділянки кола

### 3. Сила струму

Сила струму в провіднику – це скалярна фізична величина, яка характеризує електричний струм і чисельно дорівнює заряду, що проходить через поперечний переріз провідника за одиницю часу.

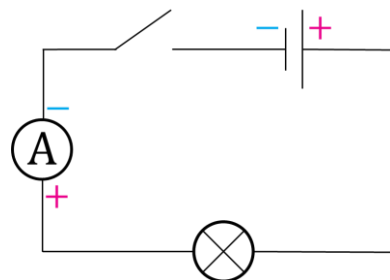
$$I = \frac{q}{t}$$

Одиниця сили струму в СІ – ампер:  $[I] = 1 \text{ А}$

1 А дорівнює силі струму, який, проходячи в двох паралельних провідниках нескінченної довжини та нехтовно малої площі перерізу, розташованих у вакуумі на відстані 1 м один від одного, викликав би на кожній ділянці провідників завдовжки 1 м силу взаємодії  $2 \cdot 10^{-7} \text{ Н}$ .

Детальніше це буде розглянуто в розділі «Магнітне поле».

Прилад для вимірювання сили струму – **амперметр**. Амперметр вмикають в коло послідовно зі споживачем, в якому вимірюють силу струму.



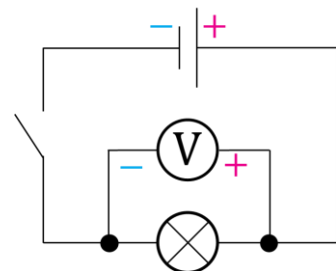
### 4. Електрична напруга

Електрична напруга на ділянці кола – це скалярна фізична величина, яка характеризує електричне поле на ділянці кола і чисельно дорівнює роботі електричного поля з переміщення по цій ділянці одиничного позитивного заряду.

$$U = \frac{A}{q}$$

Одиниця напруги в СІ – вольт:  $[U] = 1 \text{ В}$

1 В – це така напруга на ділянці кола, за якої електричне поле виконує роботу 1 Дж, переміщуючи по цій ділянці заряд 1 Кл.



$$1 \text{ В} = 1 \frac{\text{Дж}}{\text{Кл}}$$

Прилад для вимірювання напруги – **вольтметр**. Вольтметр приєднують до електричного кола *паралельно ділянці*, на якій вимірюють напругу.

### 5. Закон Ома для однорідної ділянки кола:

Сила струму в ділянці кола прямо пропорційна напрузі на кінцях ділянки та обернено пропорційна опорю цієї ділянки.

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

#### Питомий опір деяких речовин при температурі 20 °С

Речовина	$\rho, \frac{\text{Ом} \cdot \text{мм}^2}{\text{м}}$	$\rho, \text{Ом} \cdot \text{м}$	Речовина	$\rho, \frac{\text{Ом} \cdot \text{мм}^2}{\text{м}}$	$\rho, \text{Ом} \cdot \text{м}$
Срібло	0,016	$1,6 \cdot 10^{-8}$	Манганін (сплав)	0,43	$4,3 \cdot 10^{-7}$
Мідь	0,017	$1,7 \cdot 10^{-8}$	Константан (сплав)	0,50	$5,0 \cdot 10^{-7}$
Золото	0,024	$2,4 \cdot 10^{-8}$	Ртуть	0,96	$9,6 \cdot 10^{-7}$
Алюміній	0,028	$2,8 \cdot 10^{-8}$	Ніхром (сплав)	1,1	$1,1 \cdot 10^{-6}$
Вольфрам	0,055	$5,5 \cdot 10^{-8}$	Фехраль (сплав)	1,3	$1,3 \cdot 10^{-6}$
Залізо	0,10	$1,0 \cdot 10^{-7}$	Графіт	13	$1,3 \cdot 10^{-5}$
Свинець	0,21	$2,1 \cdot 10^{-7}$	Фарфор	$1,0 \cdot 10^{19}$	$1,0 \cdot 10^{13}$
Нікелін (сплав)	0,42	$4,2 \cdot 10^{-7}$	Ебоніт	$1,0 \cdot 10^{20}$	$1,0 \cdot 10^{14}$

### 6. Електричний опір

**Електричний опір – фізична величина, яка характеризує властивість провідника протидіяти електричному струму.**

Одиниця опорю в СІ – **ом**:  $[R] = \text{Ом}$

1 Ом – це опір такого провідника, в якому тече струм силою 1 А за напруги на кінцях провідника 1 В.

$$1 \text{ Ом} = 1 \frac{\text{В}}{\text{А}}$$

**Опір циліндричного провідника:**

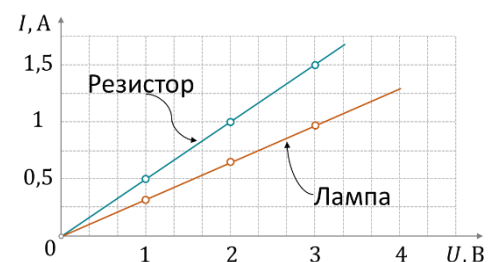
$$R = \rho \frac{l}{S}$$

$\rho$  – питомий опір речовини, з якої виготовлений провідник;  $l$  – довжина провідника;  $S$  – площа поперечного перерізу провідника.

**Питомий опір речовини – фізична величина, яка характеризує електричні властивості речовини та чисельно дорівнює опорю виготовленого з неї провідника довжиною 1 м і з площею поперечного перерізу 1 м<sup>2</sup>.**

Одиниця питомого опорю в СІ – **ом-метр**:  $[\rho] = \text{Ом} \cdot \text{м}$

Питомий опір істотно залежить від температури.



#### IV. ЗАКРІПЛЕННЯ НОВИХ ЗНАНЬ І ВМІНЬ (12 хв)

1. Визначте силу струму в провіднику, якщо напруга на його кінцях 60 В, а опір провідника 20 Ом.

**Дано:**

$$U = 60 \text{ В}$$

$$R = 20 \text{ Ом}$$

$$I - ?$$

**Розв'язання**

$$I = \frac{U}{R} \quad [I] = \frac{\text{В}}{\text{Ом}} = \frac{\text{В}}{\frac{\text{В}}{\text{А}}} = \text{А} \quad I = \frac{60}{20} = 3 \text{ (А)}$$

**Відповідь:**  $I = 3 \text{ А}$ .

2. Який заряд пройде через поперечний переріз провідника за 5 хв, якщо сила струму в провіднику 0,5 А?

**Дано:**

$$t = 5 \text{ хв} = 300 \text{ с}$$

$$I = 0,5 \text{ А}$$

$$q - ?$$

**Розв'язання**

$$I = \frac{q}{t} \Rightarrow q = It$$

$$[q] = \text{А} \cdot \text{с} = \text{Кл} \quad q = 0,5 \cdot 300 = 150 \text{ (Кл)}$$

**Відповідь:**  $q = 150 \text{ Кл}$ .

3. Обмотка реостата з опором 84 Ом виготовлена з нікелінового дроту з площею поперечного перерізу  $1 \text{ мм}^2$ . Знайдіть довжину дроту.

**Дано:**

$$R = 84 \text{ Ом}$$

$$S = 1 \text{ мм}^2$$

$$= 1 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2$$

$$\rho = 4,2 \cdot 10^{-7} \text{ Ом} \cdot \text{м}$$

$$l - ?$$

**Розв'язання**

$$R = \rho \frac{l}{S} \Rightarrow l = \frac{RS}{\rho}$$

$$[l] = \frac{\text{Ом} \cdot \text{м}^2}{\text{Ом} \cdot \text{м}} = \text{м} \quad l = \frac{84 \cdot 1 \cdot 10^{-6}}{4,2 \cdot 10^{-7}} = 200 \text{ (м)}$$

**Відповідь:**  $l = 200 \text{ м}$ .

4. Як зміниться сила струму на ділянці кола, якщо напругу на ділянці збільшити в два рази, а опір ділянки зменшити в 1,5 разу?

**Дано:**

$$U_2 = 2U_1$$

$$R_1 = 1,5R_2$$

$$\frac{I_1}{I_2} - ?$$

**Розв'язання**

$$I_1 = \frac{U_1}{R_1} \quad I_2 = \frac{U_2}{R_2}$$

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{\frac{U_1}{R_1}}{\frac{U_2}{R_2}} = \frac{U_1 R_2}{R_1 U_2} = \frac{U_1 R_2}{1,5 R_2 \cdot 2 U_1} = \frac{1}{3}$$

**Відповідь:**  $\frac{I_1}{I_2} = \frac{1}{3}$ ; сила струму збільшиться в 3 рази.

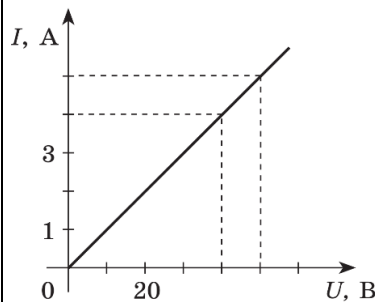
5. На рисунку подана вольт-амперна характеристика провідника. Визначте його опір.

**Дано:**

$$U = 40 \text{ В}$$

$$I = 4 \text{ А}$$

$$R - ?$$

**Розв'язання**

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

$$[R] = \frac{\text{В}}{\text{А}} = \text{Ом}$$

$$R = \frac{40}{4} = 10 \text{ (Ом)}$$

**Відповідь:**  $R = 10 \text{ Ом}$ .

6. Знайдіть діаметр ніхромового дроту довжиною 20 м, якщо його опір 5 Ом.

**Дано:**

$$l = 20 \text{ м}$$

$$R = 5 \text{ Ом}$$

$$\rho = 1,1 \cdot 10^{-6} \text{ Ом} \cdot \text{м}$$

$$d - ?$$

**Розв'язання**

$$R = \rho \frac{l}{S} = \frac{4\rho l}{\pi d^2} \quad d = \sqrt{\frac{4\rho l}{\pi R}}$$

$$[d] = \sqrt{\frac{\text{Ом} \cdot \text{м} \cdot \text{м}}{\text{Ом}}} = \text{м}$$

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot 1,1 \cdot 10^{-6} \cdot 20}{3,14 \cdot 5}} \approx 2,4 \cdot 10^{-3} \text{ (м)}$$

**Відповідь:**  $d \approx 2,4 \text{ мм}$ .

7. Визначте опір мідного дроту масою 300 г і довжиною 340 м.

**Дано:**

$$m = 300 \text{ г} = 0,3 \text{ кг}$$

$$l = 340 \text{ м}$$

$$\rho = 1,7 \cdot 10^{-8} \text{ Ом} \cdot \text{м}$$

$$\rho' = 8900 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$

$$R - ?$$

**Розв'язання**

$$\begin{cases} R = \rho \frac{l}{S} \\ m = \rho' V = \rho' l S \end{cases}$$

Помножимо перше рівняння на друге:

$$R \cdot m = \rho \frac{l}{S} \cdot \rho' l S$$

$$Rm = \rho \rho' l^2 \Rightarrow R = \frac{\rho \rho' l^2}{m}$$

$$[R] = \frac{\text{Ом} \cdot \text{м} \cdot \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \cdot \text{м}^2}{\text{кг}} = \text{Ом}$$

$$R = \frac{1,7 \cdot 10^{-8} \cdot 8900 \cdot 340^2}{0,3} \approx 58,3 \text{ (Ом)}$$

**Відповідь:**  $R \approx 58,3 \text{ Ом}$ .

## V. ПІДБИТТЯ ПІДСУМКІВ УРОКУ (2 хв)

**Бесіда за питаннями**

1. Що таке електричний струм? Якими є умови його виникнення та існування?
2. Які пристрої називають джерелами електричного струму? Наведіть приклади.
3. Відтворіть, як позначають на електричних схемах гальванічний елемент; резистор; реостат; амперметр; вольтметр; ключ. Для чого призначені ці пристрої?
4. Що прийнято за напрямок струму в колі?
5. Дайте характеристики фізичних величин: сила струму в колі; напруга на ділянці кола; опір провідника; питомий опір.
6. Сформулюйте закон Ома для ділянки кола.

**VI. ДОМАШНЄ ЗАВДАННЯ (1 хв)**

Опрацювати § 1, Вправа № 1 (2, 3)

**Урок 2. Послідовне і паралельне з'єднання провідників.****Додаткові опори і шунти****Мета уроку:**

**Знання:** Закріпити і поглибити знання учнів про закономірності, що існують у колах з послідовним і паралельним з'єднаннями провідників; ознайомити учнів з методами розширення меж вимірювання амперметра та вольтметра; формувати вміння обчислювати параметри простих комбінованих з'єднань.

**Розвивальна.** Розвивати вміння узагальнювати і систематизувати знання; розвивати необхідність постійного самовдосконалення і самоосвіти.

**Виховна.** Виховувати уважність, зібраність, спостережливість.

**Тип уроку:** комбінований.

**Наочність і обладнання:** навчальна презентація, комп'ютер, підручник, амперметр, вольтметр, шунти, додаткові опори, джерело струму, резистор, з'єднувальні проводи.

**Хід уроку****I. ОРГАНІЗАЦІЙНИЙ ЕТАП (5 хв)**

1. Провести бесіду за матеріалом § 1

**Бесіда за питаннями**

1. Що таке електричний струм? Якими є умови його виникнення та існування?
2. Які пристрої називають джерелами електричного струму? Наведіть приклади.
3. Відтворіть, як позначають на електричних схемах гальванічний елемент; резистор; реостат; амперметр; вольтметр; ключ. Для чого призначені ці пристрої?
4. Що прийнято за напрямок струму в колі?

5. Дайте характеристики фізичних величин: сила струму в колі; напруга на ділянці кола; опір провідника; питомий опір.

6. Сформулюйте закон Ома для ділянки кола.

2. Перевірити виконання вправи № 1: завдання 2, 3.

## II. АКТУАЛІЗАЦІЯ ОПОРНИХ ЗНАТЬ ТА ВМІНЬ (3 хв)

Які види з'єднань провідників ви знаєте? Які основні властивості цих з'єднань?

## III. ВИВЧЕННЯ НОВОГО МАТЕРІАЛУ (20 хв)

### 1. Послідовне з'єднання провідників

Послідовне з'єднання провідників – це таке з'єднання, яке не містить розгалужень (провідники розташовані послідовно один за одним).

**Властивості послідовного з'єднання провідників:**

1) Сила струму в усіх провідниках однакова і дорівнює загальній силі струму в ділянці кола:

$$I_1 = I_2 = I$$

Це виводять із закону збереження електричного заряду: заряд, який проходить через поперечний переріз будь-якого провідника за деякий час  $t$ , буде однаковим:  $q_1 = q_2 = q$ .

$$\frac{q_1}{t} = \frac{q_2}{t} = \frac{q}{t} \quad I = \frac{q}{t} \quad \Rightarrow \quad I_1 = I_2 = I$$

2) Загальна напруга на послідовно з'єднаних провідниках дорівнює сумі напруг на кожному з цих провідників:

$$U = U_1 + U_2$$

Виведення: для переміщення заряду  $q$  через обидва провідники має бути виконана робота:

$$A = A_1 + A_2. \quad \frac{A}{q} = \frac{A_1}{q} + \frac{A_2}{q} \quad U = \frac{A}{q} \quad \Rightarrow \quad U = U_1 + U_2$$

3) Загальний опір провідників дорівнює сумі опорів цих провідників:

$$R = R_1 + R_2$$

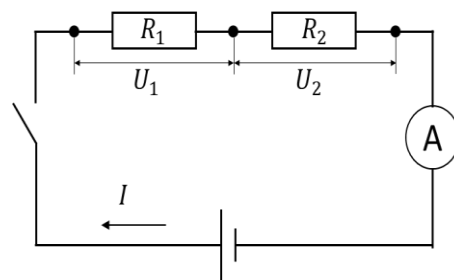
Виведення:  $U = U_1 + U_2 \quad IR = I_1 R_1 + I_2 R_2$

$$I_1 = I_2 = I \quad IR = IR_1 + IR_2 \quad \Rightarrow \quad R = R_1 + R_2$$

**n послідовно з'єднаних провідників:**

$$\begin{aligned} I &= I_1 = I_2 = \dots = I_n \\ U &= U_1 + U_2 + \dots + U_n \\ R &= R_1 + R_2 + \dots + R_n \end{aligned}$$

Ці три закономірності для послідовно з'єднаних провідників підтверджені





експериментально.

Загальний опір послідовно з'єднаних однакових провідників опором  $R_0$  кожен дорівнює:  $R = nR_0$ , де  $n$  – кількість провідників.

## 2. Паралельне з'єднання провідників

Паралельне з'єднання провідників – це таке з'єднання, при якому для проходження струму є два чи більше шляхів – віток, а всі ці вітки мають одну пару спільних точок – вузлів.

**Властивості паралельного з'єднання провідників:**

1) *Загальна напруга на ділянці кола та напруга на кожному із провідників є однаковими:*

$$U = U_1 = U_2$$

Виведення: якщо ділянка кола не містить джерела струму, то напруга на ділянці дорівнює різниці потенціалів на кінцях цієї ділянки.

$$U_{12} = \varphi_A - \varphi_B \quad U_1 = \varphi_A - \varphi_B \quad U_2 = \varphi_A - \varphi_B \quad U = U_1 = U_2$$

2) *Сила струму в нерозгалуженій частині кола дорівнює сумі сил струмів у відгалуженнях (окремих вітках):*

$$I = I_1 + I_2$$

Виведення: заряд у вузловій точці не накопичується (за законом збереження електричного заряду), тому заряд  $q$ , який надійшов у вузол за деякий час  $t$ , дорівнює сумі зарядів, які вийшли із цього вузла за той самий час:  $q = q_1 + q_2$ .

$$\frac{q}{t} = \frac{q_1}{t} + \frac{q_2}{t} \quad I = \frac{q}{t} \quad \Rightarrow \quad I = I_1 + I_2$$

3) *Величина, обернена до загального опору розгалуженої ділянки кола, дорівнює сумі величин, кожна з яких обернена до опору відповідної вітки цього розгалуження:*

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$$

Виведення:

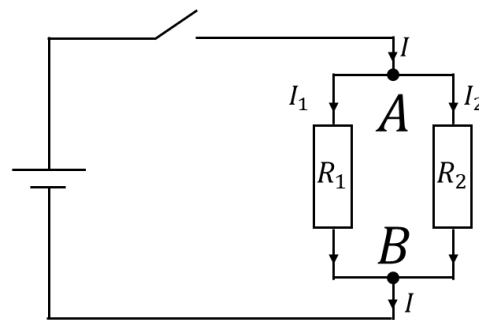
$$U_1 = U_2 = U \quad I = I_1 + I_2 \quad \frac{U}{R} = \frac{U_1}{R_1} + \frac{U_2}{R_2} \quad \Rightarrow \quad \frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$$

*Для  $n$  паралельно з'єднаних провідників:*

$$U = U_1 = U_2 = \dots = U_n \quad I = I_1 + I_2 + \dots + I_n \quad \frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_n}$$

Ці закономірності підтвердженні експериментально.

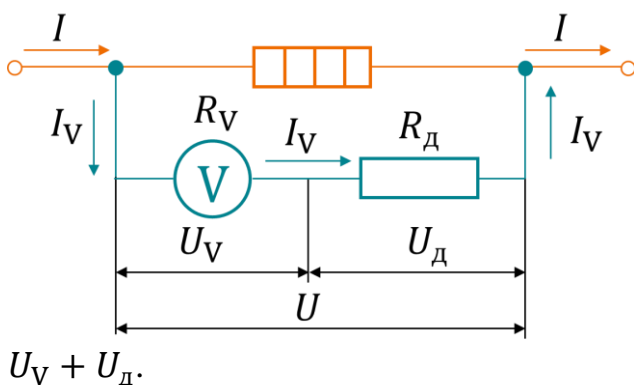
Загальний опір паралельно з'єднаних однакових провідників опором  $R_0$  кожен дорівнює:  $R = \frac{R_0}{n}$ , де  $n$  – кількість провідників.



### 3. Додаткові опори і шунти

#### Проблемне питання: як збільшити межу вимірювання вольтметра?

Треба послідовно з вольтметром підключити додатковий резистор (додатковий опір).



Додатковий опір – резистор, який послідовно приєднують до вольтметра з метою збільшити верхню межу вимірювання вольтметра.

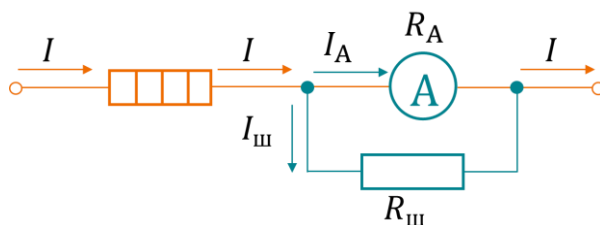
У разі застосування додаткового опору напруга розподілиться між вольтметром і додатковим опором:  $U =$

Дізнаймося, який додатковий опір необхідно приєднати послідовно з вольтметром, щоб збільшити верхню межу вимірювання вольтметра в  $n$  разів:

$$\begin{aligned} U &= nU_V & U &= U_V + U_D \\ nU_V &= U_V + U_D & \Rightarrow & U_D = U_V(n - 1) \\ I_D R_D &= I_V R_V(n - 1) & I_D &= I_V & \Rightarrow & R_D = R_V(n - 1) \end{aligned}$$

#### Проблемне питання: як збільшити межу вимірювання амперметра?

Треба паралельно до амперметра підключити резистор (шунт).



Шунт – резистор, який паралельно приєднують до амперметра з метою збільшити верхню межу вимірювання амперметра.

У разі застосування шунта струм, який тече в колі, розділяється на дві частини: одна частина йде на амперметр, друга – на шунт:  $I = I_A + I_{ш}$ .

Дізнаймося, який шунт необхідно приєднати паралельно амперметру, щоб збільшити верхню межу вимірювання амперметра в  $n$  разів:

$$\begin{aligned} I &= nI_A & I &= I_A + I_{ш} \\ nI_A &= I_A + I_{ш} & \Rightarrow & I_{ш} = I_A(n - 1) \\ \frac{U_{ш}}{R_{ш}} &= \frac{U_A}{R_A}(n - 1) & U_{ш} &= U_A & \Rightarrow & \frac{1}{R_{ш}} = \frac{(n - 1)}{R_A} & \Rightarrow & R_{ш} = \frac{R_A}{(n - 1)} \end{aligned}$$

### IV. ЗАКРІПЛЕННЯ НОВИХ ЗНАНЬ І ВМІНЬ (15 хв)

1. Ділянка кола складається з трьох провідників, опори яких становлять 1 Ом, 2 Ом і 3 Ом. Накресліть електричні схеми провідників, якщо вони з'єднані: а) послідовно; б) паралельно; в) два паралельно з'єднаних провідника – послідовно з третім. Знайдіть загальний опір у цих випадках.

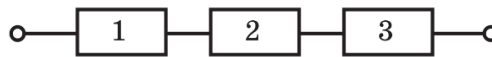
**Дано:**

$R_1 = 1 \text{ Ом}$

$R_2 = 2 \text{ Ом}$

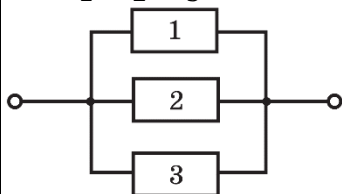
$R_3 = 3 \text{ Ом}$

$R = ?$

**Розв'язання**а)  $R_1, R_2, R_3$  з'єднані послідовно:

$$R = R_1 + R_2 + R_3 \quad [R] = \text{Ом} + \text{Ом} + \text{Ом} = \text{Ом}$$

$$R = 1 + 2 + 3 = 6 \text{ (Ом)}$$

б)  $R_1, R_2, R_3$  з'єднані паралельно:

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$$

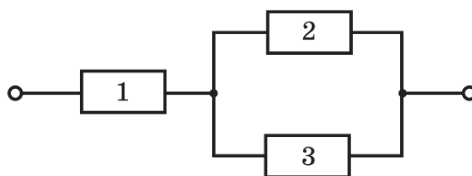
$$\frac{1}{R} = \frac{R_2 R_3 + R_1 R_3 + R_1 R_2}{R_1 R_2 R_3}$$

$$R = \frac{R_1 R_2 R_3}{R_2 R_3 + R_1 R_3 + R_1 R_2}$$

$$[R] = \frac{\text{Ом} \cdot \text{Ом} \cdot \text{Ом}}{\text{Ом} \cdot \text{Ом} + \text{Ом} \cdot \text{Ом} + \text{Ом} \cdot \text{Ом}} = \text{Ом}$$

$$R = \frac{1 \cdot 2 \cdot 3}{2 \cdot 3 + 1 \cdot 3 + 1 \cdot 2} \approx 0,55 \text{ (Ом)}$$

в) Мішане з'єднання:

 $R_2, R_3$  з'єднані паралельно:

$$\frac{1}{R_{23}} = \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$$

$$R_{23} = \frac{R_2 R_3}{R_2 + R_3}$$

$$[R_{23}] = \frac{\text{Ом} \cdot \text{Ом}}{\text{Ом} + \text{Ом}} = \text{Ом} \quad R_{23} = \frac{2 \cdot 3}{2 + 3} = 1,2 \text{ (Ом)}$$

 $R_1, R_{23}$  з'єднані послідовно:

$$R = R_1 + R_{23} \quad [R] = \text{Ом} + \text{Ом} = \text{Ом}$$

$$R = 1 + 1,2 = 2,2 \text{ (Ом)}$$

**Відповідь:**  $R = 15 \text{ Ом}$ .

2. Всі резистори, з яких складається ділянка електричного кола, мають однаковий опір 1 Ом. Задача а: амперметр показує 2 А. задача б: вольтметр показує – 12 В. Знайдіть напругу й силу струму в кожному з резисторів, а також загальну силу струму й напругу, підведену до всієї ділянки, в обох задачах.

**а) Дано:**

$R_1 = R_2 = R_3 = R_4 = 1 \text{ Ом}$

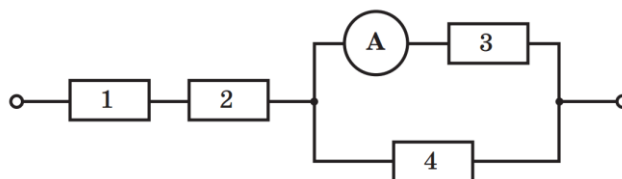
$I_3 = 2 \text{ А}$

$I - ? \quad I_1 - ? \quad I_2 - ?$

$I_3 - ? \quad I_4 - ?$

$U - ? \quad U_1 - ? \quad U_2 - ?$

$U_3 - ? \quad U_4 - ?$

**Розв'язання**

$$I_3 = 2 \text{ А} \quad U_3 = I_3 \cdot R_3 \quad [U_3] = \text{А} \cdot \text{Ом} = \text{А} \cdot \frac{\text{В}}{\text{А}} = \text{В}$$

$$U_3 = 2 \cdot 1 = 2 \text{ (В)} \quad U_3 = U_4 = U_{34} = 2 \text{ В}$$

$$I_4 = \frac{U_4}{R_4} \quad [I_4] = \frac{\text{В}}{\text{Ом}} = \frac{\text{В}}{\frac{\text{В}}{\text{А}}} = \text{А} \quad I_4 = \frac{2}{1} = 2 \text{ (А)}$$

$$I_{34} = I_3 + I_4 \quad [I_{34}] = \text{А} + \text{А} = \text{А} \quad I_{34} = 2 + 2 = 4 \text{ (А)}$$

$$I_{34} = I_1 = I_2 = I = 4 \text{ А}$$

$$U_1 = I_1 \cdot R_1 \quad [U_1] = \text{А} \cdot \text{Ом} = \text{А} \cdot \frac{\text{В}}{\text{А}} = \text{В}$$

$$U_1 = 4 \cdot 1 = 4 \text{ (В)}$$

$$U_2 = I_2 \cdot R_2 \quad [U_2] = \text{А} \cdot \text{Ом} = \text{А} \cdot \frac{\text{В}}{\text{А}} = \text{В}$$

$$U_2 = 4 \cdot 1 = 4 \text{ (В)}$$

$$U = U_1 + U_2 + U_{34} \quad [U] = \text{В} + \text{В} + \text{В} = \text{В}$$

$$U = 4 + 4 + 2 = 10 \text{ (В)}$$

**Відповідь:**  $U_1 = U_2 = 4 \text{ В}; U_3 = U_4 = 2 \text{ В};$   
 $I_1 = I_2 = 4 \text{ А}; I_3 = I_4 = 2 \text{ А}; I = 4 \text{ А}; U = 10 \text{ В}.$

**б) Дано:**

$$R_1 = R_2 = R_3 = R_4 = 1 \text{ Ом}$$

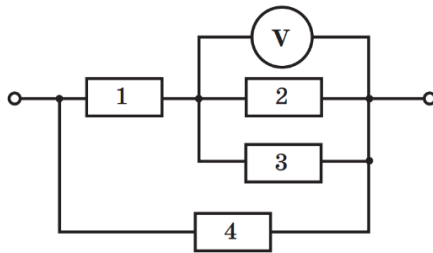
$$I - ? \quad I_1 - ? \quad I_2 - ?$$

$$I_3 - ? \quad I_4 - ?$$

$$U - ? \quad U_1 - ? \quad U_2 - ?$$

$$U_3 - ? \quad U_4 - ?$$

**Розв'язання**



$$U_2 = U_3 = U_{23} = 12 \text{ В}$$

$$I_2 = \frac{U_2}{R_2}$$

$$[I_2] = \frac{\text{В}}{\text{Ом}} = \frac{\text{В}}{\frac{\text{В}}{\text{А}}} = \text{А}$$

$$I_2 = \frac{12}{1} = 12 \text{ (А)}$$

$$I_3 = \frac{U_3}{R_3} \quad [I_3] = \frac{\text{В}}{\text{Ом}} = \frac{\text{В}}{\frac{\text{В}}{\text{А}}} = \text{А} \quad I_3 = \frac{12}{1} = 12 \text{ (А)}$$

$$I_{23} = I_2 + I_3 \quad [I_{23}] = \text{А} + \text{А} = \text{А}$$

$$I_{23} = 12 + 12 = 24 \text{ (А)} \quad I_{23} = I_1 = 24 \text{ А}$$

$$U_1 = I_1 \cdot R_1 \quad [U_1] = \text{А} \cdot \text{Ом} = \text{А} \cdot \frac{\text{В}}{\text{А}} = \text{В}$$

$$U_1 = 24 \cdot 1 = 24 \text{ (В)}$$

$$U_{123} = U_1 + U_{23} \quad [U_{123}] = \text{В} + \text{В} = \text{В}$$

$$U_{123} = 24 + 12 = 36 \text{ (В)}$$

$$U_{123} = U_4 = U = 36 \text{ В}$$

$$I_4 = \frac{U_4}{R_4} \quad [I_4] = \frac{\text{В}}{\text{Ом}} = \frac{\text{В}}{\frac{\text{В}}{\text{А}}} = \text{А} \quad I_4 = \frac{36}{1} = 36 \text{ (А)}$$

$$I = I_{123} + I_4 \quad [I] = \text{А} + \text{А} = \text{А} \quad I = 24 + 36 = 60 \text{ (А)}$$

**Відповідь:**  $U_1 = 24 \text{ В}; U_2 = U_3 = 12 \text{ В}; U_4 = 36 \text{ В};$   
 $I_1 = 24 \text{ А}; I_2 = I_3 = 12 \text{ А}; I_4 = 36 \text{ А}; I = 60 \text{ А};$   
 $U = 36 \text{ В}.$

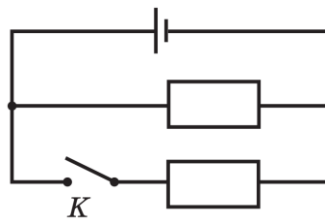
3. Два однакові резистори увімкнені в електричне коло, як показано на рисунку. Як зміниться загальна сила струму в колі, якщо замкнути ключ  $K$ ?

**Дано:**

$$R_1 = R_2 = R_0$$

$$\frac{I_{\text{заг 1}}}{I_{\text{заг 2}}} = ?$$

**Розв'язання**



$$I_{\text{заг 1}} = \frac{U}{R_{\text{заг 1}}} = \frac{U}{R_0}$$

$$\frac{1}{R_{\text{заг 2}}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} = \frac{2}{R_0}$$

$$R_{\text{заг 2}} = \frac{R_0}{2}$$

$$I_{\text{заг 2}} = \frac{U}{R_{\text{заг 2}}} = \frac{2U}{R_0}$$

$$\frac{I_{\text{заг 1}}}{I_{\text{заг 2}}} = \frac{\frac{U}{R_0}}{\frac{2U}{R_0}} = \frac{1}{2}$$

**Відповідь:** загальна сила струму в колі, якщо замкнути ключ  $K$  збільшиться в 2 рази

## V. ПІДБИТТЯ ПІДСУМКІВ УРОКУ (2 хв)

### Бесіда за питаннями

1. Яке з'єднання провідників називають послідовним?
2. Які співвідношення справджуються для послідовного з'єднання провідників? Доведіть їх.
3. Яке з'єднання провідників називають паралельним?
4. Які співвідношення справджуються для паралельного з'єднання провідників? Доведіть їх.
5. Як можна збільшити верхню межу вимірювання вольтметра?
6. У якому випадку і як шунтують амперметри?

## VI. ДОМАШНЄ ЗАВДАННЯ

Опрацювати § 2, Вправа № 2 (4, 5)

### Урок 3. Розв'язування задач з теми: «Послідовне і паралельне з'єднання провідників. Шунти і додаткові опори»

#### Мета уроку:

**Знання.** Закріпити знання за темою «Електричний струм. Послідовне і паралельне з'єднання провідників. Шунти і додаткові опори», продовжити формувати навички та вміння розв'язувати фізичні задачі, застосовуючи отримані знання.

**Розвивальна.** Розвивати уміння правильно розподіляти час; самостійність у навчанні; вміння самостійно застосовувати правила, закони.

**Виховна.** Виховання дисципліни, чесності, відповідальності.

**Тип уроку:** урок застосування знань, умінь, навичок: розв'язування задач.

**Наочність і обладнання:** навчальна презентація, комп'ютер, підручник.

#### Хід уроку

### I. ОРГАНІЗАЦІЙНИЙ ЕТАП (4 хв)

1. Провести бесіду за матеріалом § 2

### II. АКТУАЛІЗАЦІЯ ОПОРНИХ ЗНАНЬ ТА ВМІНЬ (5 хв)

#### Бесіда за питаннями

1. Яке з'єднання провідників називають послідовним?
2. Які співвідношення справджуються для послідовного з'єднання провідників? Доведіть їх.
3. Яке з'єднання провідників називають паралельним?
4. Які співвідношення справджуються для паралельного з'єднання провідників? Доведіть їх.
5. Як можна збільшити верхню межу вимірювання вольтметра?
6. У якому випадку і як шунтують амперметри?

2. Перевірити виконання вправи № 2: завдання 4, 5.

### III. РОЗВ'ЯЗУВАННЯ ЗАДАЧ (30 хв)

1. Загальний опір двох провідників при послідовному з'єднанні 25 Ом, а при паралельному 6 Ом. Знайдіть опір кожного провідника.

**Дано:**

$$R_{\text{пос}} = 25 \text{ Ом}$$

$$R_{\text{пар}} = 6 \text{ Ом}$$

$$R_1 = ?$$

$$R_2 = ?$$

**Розв'язання**

$$\begin{cases} R_{\text{пос}} = R_1 + R_2 \\ R_{\text{пар}} = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} \end{cases} \quad R_1 = R_{\text{пос}} - R_2$$

$$R_{\text{пар}} = \frac{R_2 (R_{\text{пос}} - R_2)}{R_{\text{пос}} - R_2 + R_2} \quad R_{\text{пар}} R_{\text{пос}} = R_2 R_{\text{пос}} - R_2^2$$

$$R_2^2 - R_2 R_{\text{пос}} + R_{\text{пар}} R_{\text{пос}} = 0$$

$$R_2^2 - 25 R_2 + 150 = 0$$

$$D = 625 - 4 \cdot 150 = 5^2$$

$$R_2' = \frac{25 + 5}{2} = 15 \text{ (Ом)} \quad R_2'' = \frac{25 - 5}{2} = 10 \text{ (Ом)}$$

$$R'_1 = 25 - 15 = 10 \text{ (Ом)} \quad R''_1 = 25 - 10 = 15 \text{ (Ом)}$$

**Відповідь:** 10 Ом і 15 Ом.

2. Який додатковий опір необхідно підключити до вольтметра, щоб розширити межі вимірювання від 50 В до 500 В? Опір вольтметра 1000 Ом.

**Дано:**

$$U_V = 50 \text{ В}$$

$$U = 500 \text{ В}$$

$$R_V = 1000 \text{ Ом}$$

$$R_d - ?$$

**Розв'язання**

$$U = nU_V \quad n = \frac{U}{U_V}$$

$$R_d = R_V(n - 1) = R_V \left( \frac{U}{U_V} - 1 \right)$$

$$R_d = \text{Ом} \cdot \frac{\text{В}}{\text{В}} = \text{Ом}$$

$$R_d = 1000 \cdot \left( \frac{500}{50} - 1 \right) = 9000 \text{ (Ом)}$$

**Відповідь:**  $R_d = 9 \text{ кОм}$ .

3. Межу вимірювання міліамперметра, власний опір якого 9 Ом, необхідно розширити від 1 мА до 10 мА. Знайдіть опір шунта.

**Дано:**

$$R_A = 9 \text{ Ом}$$

$$I_A = 1 \text{ мА}$$

$$= 1 \cdot 10^{-3} \text{ А}$$

$$I = 10 \text{ мА}$$

$$= 10 \cdot 10^{-3} \text{ А}$$

$$R_{ш} - ?$$

**Розв'язання**

$$I = nI_A \quad \Rightarrow \quad n = \frac{I}{I_A}$$

$$R_{ш} = \frac{R_A}{(n - 1)} = \frac{R_A}{\left( \frac{I}{I_A} - 1 \right)}$$

$$[R_{ш}] = \frac{\text{Ом}}{\frac{\text{А}}{\text{А}}} = \text{Ом}$$

$$R_{ш} = \frac{9}{\left( \frac{10 \cdot 10^{-3}}{1 \cdot 10^{-3}} - 1 \right)} = 1 \text{ (Ом)}$$

**Відповідь:**  $R_{ш} = 1 \text{ Ом}$ .

#### IV. ПІДБИТТЯ ПІДСУМКІВ УРОКУ (5 хв)

#### V. ДОМАШНЄ ЗАВДАННЯ (1 хв)

Повторити § 2, Вправа № 2 (6, 7)

#### Додаткові задачі

1. Всі резистори, з яких складається ділянка електричного кола, мають однаковий опір 1 Ом. Амперметр показує 2 А (задача а), вольтметр – 12 В (задача б). Знайдіть напругу й силу струму в кожному з резисторів, а також загальну силу струму й напругу, підведену до всієї ділянки.

**а) Дано:**

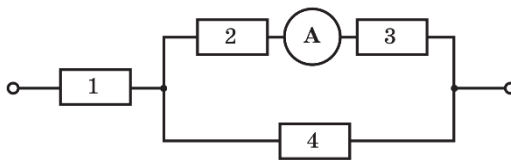
$$R_1 = R_2 = R_3 = R_4 = 1 \text{ Ом}$$

$$I - ? \quad I_1 - ? \quad I_2 - ?$$

$$I_3 - ? \quad I_4 - ?$$

$$U - ? \quad U_1 - ? \quad U_2 - ?$$

$$U_3 - ? \quad U_4 - ?$$



**Розв'язання**

$$I_2 = I_3 = I_{23} = 2 \text{ А}$$

$$U_2 = I_2 \cdot R_2$$

$$[U_2] = A \cdot \text{Ом} = A \cdot \frac{\text{В}}{\text{А}} = \text{В} \quad U_2 = 2 \cdot 1 = 2 \text{ (В)}$$

$$U_3 = I_3 \cdot R_3 \quad [U_3] = A \cdot \text{Ом} = A \cdot \frac{\text{В}}{\text{А}} = \text{В}$$

$$U_3 = 2 \cdot 1 = 2 \text{ (В)}$$

$$U_{23} = U_2 + U_3 \quad [U_{23}] = 2 + 2 = 4 \text{ (В)}$$

$$U_{23} = U_4 = U_{234} = 4 \text{ В}$$

$$I_4 = \frac{U_4}{R_4} \quad [I_4] = \frac{\text{В}}{\text{Ом}} = \frac{\text{В}}{\frac{\text{В}}{\text{А}}} = \text{А} \quad I_4 = \frac{4}{1} = 4 \text{ (А)}$$

$$I_{234} = I_{23} + I_4 \quad [I_{234}] = A + A = A$$

$$I_{234} = 2 + 4 = 6 \text{ (А)} \quad I_{234} = I_1 = I = 6 \text{ А}$$

$$U_1 = I_1 \cdot R_1 \quad [U_1] = A \cdot \text{Ом} = A \cdot \frac{\text{В}}{\text{А}} = \text{В}$$

$$U_1 = 6 \cdot 1 = 6 \text{ (В)}$$

$$U = U_1 + U_{234} \quad [U] = \text{В} + \text{В} = \text{В}$$

$$U = 4 + 6 = 10 \text{ (В)}$$

**Відповідь:**  $U_1 = 6 \text{ В}; U_2 = U_3 = 2 \text{ В}; U_4 = 4 \text{ В};$   
 $I_1 = 6 \text{ А}; I_2 = I_3 = 2 \text{ А}; I_4 = 4 \text{ А}; I = 6 \text{ А}; U = 10 \text{ В}.$

**б) Дано:**

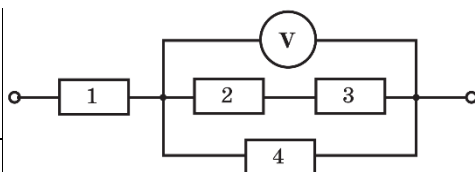
$$R_1 = R_2 = R_3 = R_4 = 1 \text{ Ом}$$

$$I - ? \quad I_1 - ? \quad I_2 - ?$$

$$I_3 - ? \quad I_4 - ?$$

$$U - ? \quad U_1 - ? \quad U_2 - ?$$

$$U_3 - ? \quad U_4 - ?$$



**Розв'язання**

$$U_{23} = U_4 = U_{234} = 12 \text{ В}$$

$$I_4 = \frac{U_4}{R_4} \quad [I_4] = \frac{\text{В}}{\text{Ом}} = \frac{\text{В}}{\frac{\text{В}}{\text{А}}} = \text{А} \quad I_4 = \frac{12}{1} = 12 \text{ (А)}$$

$$R_{23} = R_2 + R_3 \quad [R_{23}] = \text{Ом} + \text{Ом} = \text{Ом}$$

$$R_{23} = 1 + 1 = 2 \text{ (Ом)}$$

$$I_{23} = \frac{U_{23}}{R_{23}} \quad [I_{23}] = \frac{\text{В}}{\text{Ом}} = \frac{\text{В}}{\frac{\text{В}}{\text{А}}} = \text{А} \quad I_{23} = \frac{12}{2} = 6 \text{ (А)}$$

$$I_{23} = I_2 = I_3 = 6 \text{ А}$$

$$U_2 = I_2 \cdot R_2 \quad [U_2] = A \cdot \text{Ом} = A \cdot \frac{\text{В}}{\text{А}} = \text{В}$$



$$U_2 = 6 \cdot 1 = 6 \text{ (В)}$$

$$U_3 = I_3 \cdot R_3 \quad [U_3] = \text{А} \cdot \text{Ом} = \text{А} \cdot \frac{\text{В}}{\text{А}} = \text{В}$$

$$U_3 = 6 \cdot 1 = 6 \text{ (В)}$$

$$I_{234} = I_{23} + I_4 \quad [I_{234}] = \text{А} + \text{А} = \text{А}$$

$$I_{234} = 6 + 12 = 18 \text{ (А)} \quad I_{234} = I_1 = I = 18 \text{ А}$$

$$U_1 = I_1 \cdot R_1 \quad [U_1] = \text{А} \cdot \text{Ом} = \text{А} \cdot \frac{\text{В}}{\text{А}} = \text{В}$$

$$U_1 = 18 \cdot 1 = 18 \text{ (В)}$$

$$U = U_1 + U_{234} \quad [U] = \text{В} + \text{В} = \text{В}$$

$$U = 18 + 12 = 30 \text{ (В)}$$

**Відповідь:**  $U_1 = 18 \text{ В}; U_2 = U_3 = 6 \text{ В}; U_4 = 12 \text{ В};$   
 $I_1 = 18 \text{ А}; I_2 = I_3 = 6 \text{ А}; I_4 = 12 \text{ А}; I = 18 \text{ А}; U$   
 $= 30 \text{ В}.$

2. У скільки разів зміняться покази амперметра, якщо одна з лампочок у колі, наведеному на рисунку, перегорить? Опір кожної лампи 5 Ом, опір кожного резистора 10 Ом.

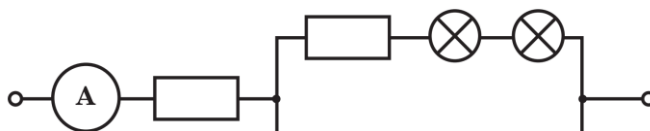
**Дано:**

$$R_{\text{л}} = 5 \text{ Ом}$$

$$R_{\text{р}} = 10 \text{ Ом}$$

$$\frac{I_{\text{заг 1}}}{I_{\text{заг 2}}} - ?$$

**Розв'язання**



$$\frac{1}{R_{\text{паралельне 1}}} = \frac{1}{R_{\text{р}} + 2R_{\text{л}}} + \frac{1}{2R_{\text{р}}} = \frac{2R_{\text{р}} + R_{\text{р}} + 2R_{\text{л}}}{2R_{\text{р}}(R_{\text{р}} + 2R_{\text{л}})}$$

$$R_{\text{паралельне 1}} = \frac{2R_{\text{р}}(R_{\text{р}} + 2R_{\text{л}})}{3R_{\text{р}} + 2R_{\text{л}}}$$

$$R_{\text{заг 1}} = R_{\text{р}} + \frac{2R_{\text{р}}(R_{\text{р}} + 2R_{\text{л}})}{3R_{\text{р}} + 2R_{\text{л}}} = \frac{R_{\text{р}}(5R_{\text{р}} + 6R_{\text{л}})}{3R_{\text{р}} + 2R_{\text{л}}}$$

$$R_{\text{заг 2}} = R_{\text{р}} + 2R_{\text{р}} = 3R_{\text{р}}$$

$$I_{\text{заг 1}} = \frac{U}{R_{\text{заг 1}}} \quad I_{\text{заг 2}} = \frac{U}{R_{\text{заг 2}}}$$

$$\frac{I_{\text{заг 1}}}{I_{\text{заг 2}}} = \frac{R_{\text{заг 2}}}{R_{\text{заг 1}}} = \frac{3R_p}{R_p(5R_p + 6R_L)} = \frac{3(3R_p + 2R_L)}{5R_p + 6R_L}$$

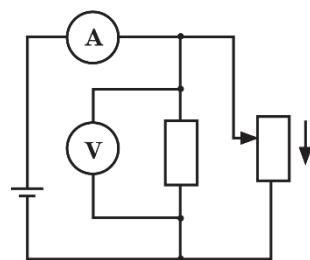
$$\left[ \frac{I_{\text{заг 1}}}{I_{\text{заг 2}}} \right] = \frac{0\text{М} + 0\text{М}}{0\text{М} + 0\text{М}} = 0\text{М}$$

$$\frac{I_{\text{заг 1}}}{I_{\text{заг 2}}} = \frac{3 \cdot (3 \cdot 10 + 2 \cdot 5)}{5 \cdot 10 + 6 \cdot 5} = \frac{120}{80} = 1,5$$

**Відповідь:** загальна сила струму в колі, зменшиться в 1,5 рази.

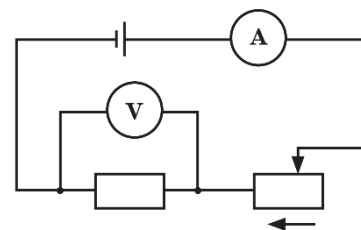
3. Як зміняться покази амперметра й вольтметра в електричному колі, схема якого наведена на рисунку, якщо переміщати повзунок реостата у напрямку стрілки?

Покази амперметра збільшаться; покази вольтметра не зміняться.



4. Як зміняться покази амперметра й вольтметра в електричному колі, схема якого наведена на рисунку, якщо переміщати повзунок реостата у напрямку стрілки?

Покази амперметра й вольтметра збільшаться.



5. У скільки разів зміниться верхня межа вимірювання вольтметра, що має власний опір 2 кОм, якщо до нього приєднати додатковий опір 18 кОм?

**Дано:**

$$R_V = 2 \text{ кОм}$$

$$= 2 \cdot 10^3 \text{ Ом}$$

$$R_d = 18 \text{ кОм}$$

$$= 18 \cdot 10^3 \text{ Ом}$$

$n = ?$

**Розв'язання**

$$R_d = R_V(n - 1) \Rightarrow n = \frac{R_d}{R_V} + 1$$

$$[n] = \frac{0\text{М}}{0\text{М}} = 1 \quad n = \frac{18 \cdot 10^3}{2 \cdot 10^3} + 1 = 10$$

**Відповідь:**  $n = 10$ .

6. За допомогою амперметра з опором 0,9 Ом, розрахованого на вимірювання максимальної сили струму 10 А, необхідно вимірювати струми силою до 100 А. Якої довжини знадобиться залізний дріт перерізом 0,28 мм<sup>2</sup> для виготовлення шунта?

**Дано:**

$$R_A = 0,9 \text{ Ом}$$

$$I_A = 10 \text{ А}$$

$$I = 100 \text{ А}$$

$$S = 0,28 \text{ мм}^2$$

$$= 0,28 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2$$

**Розв'язання**

$$I = nI_A \Rightarrow n = \frac{I}{I_A}$$

$$R_{\text{ш}} = \frac{R_A}{(n - 1)} = \frac{R_A}{\left(\frac{I}{I_A} - 1\right)} \quad R_{\text{ш}} = \rho \frac{l}{S}$$

$$\rho = 1 \cdot 10^{-7} \text{ Ом} \cdot \text{м}$$

$l - ?$

$$\rho \frac{l}{S} = \frac{R_A}{\left(\frac{I}{I_A} - 1\right)} \Rightarrow l = \frac{R_A S}{\rho \left(\frac{I}{I_A} - 1\right)}$$

$$[l] = \frac{\text{Ом} \cdot \text{м}^2}{\text{Ом} \cdot \text{м} \cdot \frac{\text{А}}{\text{А}}} = \text{м}$$

$$l = \frac{0,9 \cdot 0,28 \cdot 10^{-6}}{1 \cdot 10^{-7} \cdot \left(\frac{100}{10} - 1\right)} = 0,28 \text{ (м)}$$

**Відповідь:**  $l = 0,28 \text{ м}$ .

7. У мережу з напругою 36 В увімкнули два послідовно з'єднані провідники. Сила струму склала 0,9 А. Коли ці самі провідники з'єднали паралельно, сила струму збільшилася до 4,8 А. Знайдіть опір кожного провідника.

**Дано:**

$$U = 36 \text{ В}$$

$$I_{\text{пос}} = 0,9 \text{ А}$$

$$I_{\text{пар}} = 4,8 \text{ А}$$

$$R_1 - ?$$

$$R_2 - ?$$

**Розв'язання**

$$\begin{cases} \frac{U}{I_{\text{пос}}} = R_1 + R_2 \\ \frac{U}{I_{\text{пар}}} = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} \end{cases}$$

$$R_1 = \frac{U}{I_{\text{пос}}} - R_2$$

$$\frac{U}{I_{\text{пар}}} = \frac{R_2 \left(\frac{U}{I_{\text{пос}}} - R_2\right)}{\frac{U}{I_{\text{пос}}} - R_2 + R_2}$$

$$\frac{U^2}{I_{\text{пар}} I_{\text{пос}}} = R_2 \frac{U}{I_{\text{пос}}} - R_2^2$$

$$R_2^2 - \frac{U}{I_{\text{пос}}} R_2 + \frac{U^2}{I_{\text{пар}} I_{\text{пос}}} = 0$$

$$R_2^2 - \frac{36}{0,9} R_2 + \frac{36^2}{4,8 \cdot 0,9} = 0$$

$$R_2^2 - 40 R_2 + 300 = 0$$

$$D = 1600 - 4 \cdot 300 = 20^2$$

$$R_2' = \frac{40 + 20}{2} = 30 \text{ (Ом)} \quad R_2'' = \frac{40 - 20}{2} = 10 \text{ (Ом)}$$

$$R_1' = \frac{36}{0,9} - 30 = 10 \text{ (Ом)} \quad R_1'' = \frac{36}{0,9} - 10 = 30 \text{ (Ом)}$$

**Відповідь:** 10 Ом і 30 Ом.

## Урок 17. Розв'язування задач. Підготовка до контрольної роботи з розділу «Електричний струм»

**Мета уроку:**

**Знання.** Узагальнити знання з теми «Електродинаміка. Частина 1. Електричний струм».

**Розвивальна.** Розвивати вміння правильно розподіляти час; самостійність у навчанні; вміння самостійно застосовувати правила, закони.

**Виховна.** Виховання дисципліни, чесності, відповідальності.

**Тип уроку:** урок повторення, узагальнення та систематизації знань.

**Наочність і обладнання:** навчальна презентація, комп'ютер, підручник.

### Хід уроку

#### I. ОРГАНІЗАЦІЙНИЙ ЕТАП

#### II. АКТУАЛІЗАЦІЯ ОПОРНИХ ЗНАТЬ ТА ВМІНЬ

Узагальнити та систематизувати знання учнів на основі аналізу відповідних таблиць і схем, поданих у рубриці «Підбиваємо підсумки розділу I “Електродинаміка”, частина 1 “Електричний струм”» підручника.

#### III. РОЗВ'ЯЗУВАННЯ ЗАДАЧ

1. Якою має бути площа поперечного перерізу мідного провідника завдовжки 2 м, щоб при проходженні в ньому струму силою 150 А напруга на його кінцях становила 6 В?

**Дано:**

$$l = 2 \text{ м}$$

$$I = 150 \text{ А}$$

$$U = 6 \text{ В}$$

$$\rho = 1,7 \cdot 10^{-8} \text{ Ом} \cdot \text{м}$$

$$S = ?$$

**Розв'язання**

$$R = \rho \frac{l}{S} \quad R = \frac{U}{I} \quad \frac{\rho l}{S} = \frac{U}{I} \quad \Rightarrow \quad S = \frac{\rho l I}{U}$$

$$[S] = \frac{\text{Ом} \cdot \text{м} \cdot \text{м} \cdot \text{А}}{\text{В}} = \frac{\frac{\text{В}}{\text{А}} \cdot \text{м}^2 \cdot \text{А}}{\text{В}} = \text{м}^2$$

$$S = \frac{1,7 \cdot 10^{-8} \cdot 2 \cdot 150}{6} = 0,85 \cdot 10^{-6} \text{ (м}^2\text{)}$$

**Відповідь:**  $S = 0,85 \text{ мм}^2$ .

2. Залізна дротина довжиною 10 м та площею поперечного перерізу  $0,5 \text{ мм}^2$  підключена до джерела з напругою 12 В. Обчисліть роботу, яку виконує струм за 1 хвилину.

**Дано:**

$$l = 10 \text{ м}$$

$$S = 0,5 \text{ мм}^2$$

$$= 5 \cdot 10^{-7} \text{ м}^2$$

$$\rho = 1 \cdot 10^{-7} \text{ Ом} \cdot \text{м}$$

$$U = 12 \text{ В}$$

$$t = 1 \text{ хв} = 60 \text{ с}$$

$$A = ?$$

**Розв'язання**

$$A = UIt \quad I = \frac{U}{R} \quad R = \rho \frac{l}{S}$$

$$A = U \frac{U}{\rho \frac{l}{S}} t = \frac{U^2 St}{\rho l}$$

$$[A] = \frac{\text{В}^2 \cdot \text{м}^2 \cdot \text{с}}{\text{Ом} \cdot \text{м} \cdot \text{м}} = \frac{\text{В}^2 \cdot \text{с}}{\frac{\text{В}}{\text{А}}} = \text{В} \cdot \text{А} \cdot \text{с} = \text{Дж}$$

$$A = \frac{12^2 \cdot 5 \cdot 10^{-7} \cdot 60}{1 \cdot 10^{-7} \cdot 10} = 4320 \text{ (Дж)}$$

**Відповідь:**  $A = 4320 \text{ Дж}$ .

3. При температурі  $10^\circ\text{C}$  опір залізного дроту дорівнює  $13,7 \text{ Ом}$ . Визначте, при якій температурі опір дроту становитиме  $18,2 \text{ Ом}$ .

**Дано:**

$$t_1 = 10^\circ\text{C}$$

$$R_1 = 13,7 \text{ Ом}$$

$$R_2 = 18,2 \text{ Ом}$$

$$\alpha = 6,5 \cdot 10^{-3} \text{ K}^{-1}$$

$$t_2 = ?$$

**Розв'язання**

$$R_1 = R_0(1 + \alpha t_1) \quad R_2 = R_0(1 + \alpha t_2)$$

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{1 + \alpha t_1}{1 + \alpha t_2} \quad R_1(1 + \alpha t_2) = R_2(1 + \alpha t_1)$$

$$t_2 = \frac{1}{\alpha} \left( \frac{R_2(1 + \alpha t_1)}{R_1} - 1 \right)$$

$$[t_2] = \frac{1}{\text{K}^{-1}} \cdot \left( \frac{\text{Ом} \cdot \text{K}^{-1} \cdot ^\circ\text{C}}{\text{Ом}} \right) = ^\circ\text{C}$$

$$t_2 = \frac{1}{6,5 \cdot 10^{-3}} \cdot \left( \frac{18,2 \cdot (1 + 6,5 \cdot 10^{-3} \cdot 10)}{13,7} - 1 \right)$$

$$\approx 64 \text{ (}^\circ\text{C)}$$

**Відповідь:**  $t_2 \approx 64^\circ\text{C}$ .

4. У процесі сріблення 10 ложок протягом 5 год через розчин солі срібла пропускали струм силою 2 А. Площа поверхні кожної ложки  $50 \text{ см}^2$ . Визначте товщину шару срібла.

**Дано:**

$$N = 10$$

$$t = 5 \text{ год}$$

$$= 1,8 \cdot 10^4 \text{ с}$$

$$I = 2 \text{ А}$$

$$S = 50 \text{ см}^2$$

$$= 5 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2$$

$$k = 1,12 \cdot 10^{-6} \frac{\text{Кг}}{\text{Кл}}$$

$$\rho = 10,5 \cdot 10^3 \frac{\text{Кг}}{\text{м}^3}$$

$$h = ?$$

**Розв'язання**

$$m = kIt \quad m = \rho ShN$$

$$kIt = \rho ShN \quad \Rightarrow \quad h = \frac{kIt}{\rho SN}$$

$$[h] = \frac{\frac{\text{Кг}}{\text{Кл}} \cdot \text{А} \cdot \text{с}}{\frac{\text{Кг}}{\text{м}^3} \cdot \text{м}^2} = \frac{\text{Кг}}{\text{А} \cdot \text{с}} \cdot \text{А} \cdot \text{с} \cdot \text{м} = \text{м}$$

$$h = \frac{1,12 \cdot 10^{-6} \cdot 2 \cdot 1,8 \cdot 10^4}{10,5 \cdot 10^3 \cdot 5 \cdot 10^{-3} \cdot 10} = 76,8 \cdot 10^{-6} \text{ (м)}$$

**Відповідь:**  $h = 76,8 \text{ мкм}$ .

5. Відстань між катодом та анодом діода дорівнює  $1 \text{ см}$ . Скільки часу рухається електрон від катода до анода, якщо анодна напруга становить  $440 \text{ В}$ ? Вважати, що рух рівноприскорений.

**Дано:**

$$d = 1 \text{ см} = 1 \cdot 10^{-2} \text{ м}$$

$$U = 440 \text{ В}$$

$$e = -1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$$

$$m_e = 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ кг}$$

$$t - ?$$

**Розв'язання**

$$A_{\text{ВИХ}} = |e|U \quad E_k = \frac{m_e v^2}{2}$$

$$A_{\text{ВИХ}} = E_k$$

$$|e|U = \frac{m_e v^2}{2} \quad \Rightarrow \quad v = \sqrt{\frac{2|e|U}{m_e}}$$

$$F = m_e a \quad a = \frac{v - v_0}{t} = \frac{v}{t} \quad (v_0 = 0) \quad \Rightarrow \quad F = m_e \frac{v}{t}$$

$$F = |e|E \quad E = \frac{U}{d} \quad \Rightarrow \quad F = |e| \frac{U}{d}$$

$$m_e \frac{v}{t} = |e| \frac{U}{d}$$

$$t = \frac{m_e v d}{|e|U} = \frac{m_e d}{|e|U} \cdot \sqrt{\frac{2|e|U}{m_e}} = d \sqrt{\frac{2m_e}{|e|U}}$$

$$[t] = \text{м} \cdot \sqrt{\frac{\text{кг}}{\text{Кл} \cdot \text{В}}} = \text{м} \cdot \sqrt{\frac{\text{кг}}{\text{Дж}}} = \text{м} \cdot \sqrt{\frac{\text{кг}}{\text{Н} \cdot \text{м}}}$$

$$= \text{м} \cdot \sqrt{\frac{\text{кг}}{\text{кг} \cdot \frac{\text{м}}{\text{с}^2} \cdot \text{м}}} = \text{с}$$

$$t = 1 \cdot 10^{-2} \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot 9,1 \cdot 10^{-31}}{1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 440}} \approx 1,6 \cdot 10^{-9} \text{ (с)}$$

**Відповідь:**  $t \approx 1,6 \text{ нс}$ .

6. Знайдіть значення сили струму, яку показує амперметр (дивись рисунок), якщо  $R_1 = 4 \text{ Ом}$ ,  $R_2 = 6 \text{ Ом}$ ,  $R_3 = 3 \text{ Ом}$ ,  $R_4 = 6 \text{ Ом}$ , ЕРС джерела струму  $12 \text{ В}$ , а внутрішній опір  $1,6 \text{ Ом}$ .

**Дано:**

$$R_1 = 4 \text{ Ом}$$

$$R_2 = 6 \text{ Ом}$$

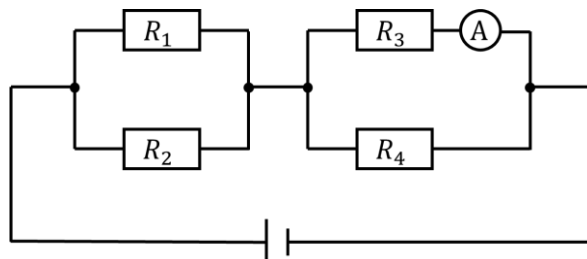
$$R_3 = 3 \text{ Ом}$$

$$R_4 = 6 \text{ Ом}$$

$$\varepsilon = 12 \text{ В}$$

$$r = 1,6 \text{ Ом}$$

$$I_3 - ?$$

**Розв'язання**

$$R_{12} = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} \quad [R_{12}] = \frac{\text{Ом} \cdot \text{Ом}}{\text{Ом} + \text{Ом}} = \text{Ом}$$

$$R_{12} = \frac{4 \cdot 6}{4 + 6} = 2,4 \text{ (Ом)}$$

$$R_{34} = \frac{R_3 R_4}{R_3 + R_4} \quad [R_{34}] = \frac{0_{\text{М}} \cdot 0_{\text{М}}}{0_{\text{М}} + 0_{\text{М}}} = 0_{\text{М}}$$

$$R_{34} = \frac{3 \cdot 6}{3 + 6} = 2 \text{ (ОМ)}$$

$$R = R_{12} + R_{34} \quad [R] = 0_{\text{М}} + 0_{\text{М}} = 0_{\text{М}}$$

$$R = 2,4 + 2 = 4,4 \text{ (ОМ)}$$

$$I = \frac{\varepsilon}{R + r} \quad [I] = \frac{B}{0_{\text{М}} + 0_{\text{М}}} = \frac{B}{\frac{B}{A}} = A$$

$$I = \frac{12}{4,4 + 1,6} = 2 \text{ (А)} \quad I = I_{12} = I_{34} = 2 \text{ А}$$

$$U_{34} = I_{34} R_{34} \quad [U_{34}] = A \cdot 0_{\text{М}} = A \cdot \frac{B}{A} = B$$

$$U_{34} = 2 \cdot 2 = 4 \text{ (В)} \quad U_{34} = U_3 = U_4 = 4 \text{ В}$$

$$I_3 = \frac{U_3}{R_3} \quad [I_3] = \frac{B}{0_{\text{М}}} = \frac{B}{\frac{B}{A}} = A \quad I_3 = \frac{4}{3} \approx 1,33 \text{ (А)}$$

**Відповідь:**  $I_3 \approx 1,33 \text{ А}$ .

#### IV. ПІДБИТТЯ ПІДСУМКІВ УРОКУ

#### V. ДОМАШНЄ ЗАВДАННЯ

Повторити § 1–9.

Виконати завдання рубрики «Завдання для самоперевірки до розділу «Електричний струм» (підготуватися до контрольної роботи).

## 2.2. Удосконалення методики проведення лабораторних робіт

### Лабораторна робота № 1 Визначення питомого опору провідника

**Мета:** визначити питомий опір провідника (дротини) і встановити з якого він матеріалу.

**Обладнання:** дротина-провідник з матеріалу з великим питомим опором, прикріплена на дерев'яній планці; мультиметр (омметр); амперметр шкільний; вольтметр шкільний (мультиметр); джерело струму ВС-6; вимикач; реостат шкільний; лінійка; мікрометр; з'єднувальні провідники.

#### Теоретичні відомості

Залежність електричного опору провідника від його речовини і геометричних розмірів описується формулами:

$$R = \rho \frac{L}{S}, \quad S = \frac{\pi d^2}{4}, \quad (1)$$

де:  $R$  – опір провідника;  $\rho$  – питомий електричний опір речовини провідника;

$L$  – довжина провідника;  $d$  – його діаметр;  $S$  – площа поперечного перерізу провідника.

З формул (1) легко виразити питомий електричний опір:

$$\rho = \frac{R S}{L}, \quad \rho = \frac{\pi R \cdot d^2}{4 L}. \quad (2)$$

Електричний опір провідника  $R$  просто визначити двома методами: 1) омметром (мультиметром); 2) виміряти силу струму  $I$ , що протікає через провідник, і напругу  $U$  на його кінцях; та розрахувати  $R$  із закону Ома

$$R = \frac{U}{I}. \quad (3)$$

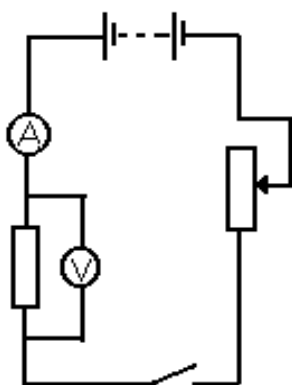


Рис.1.

#### Хід роботи

1. Виміряйте довжину дротини  $L$  лінійкою, а діаметр  $d$  – мікрометром у 3-4 місцях. Якщо результати вимірювань діаметра дротини різні, то обчисліть середнє значення діаметра.

2. Виміряйте електричний опір провідника (дротини) мультиметром (омметром), урахувавши попередньо власний опір мультиметра. Розрахуйте за формулою (2) питомий електричний опір провідника. Результати занесіть до табл.1.



Таблиця 1.

$L$ , м	$d_{\text{СЕР}}$ , м	$R$ , Ом	$\rho$ , Ом м
2,17	$0,37 \cdot 10^{-3}$	23,5	$1,16 \cdot 10^{-6}$

- Складіть електричне коло за схемою на *рис. 1*. Змінюючи положення повзунка реостата, підберіть силу струму в діапазоні (0,1 – 0,5) А (щоб не перегрівати провідник і не перевантажувати джерело струму), наприклад: 0,3 А; 0,4 А; 0,5 А.
- Виміряйте силу струму  $I$  і напругу  $U$  на досліджуваному провіднику. Обчисліть значення опору провідника в кожному з дослідів і знайдіть його середнє значення.

Результати вимірювань і обчислень занесіть до табл.2.

- Обчисліть середнє значення питомого електричного опору провідника.

Таблиця 2.

№ досліду	$L$ , м	$d_{\text{СЕР}}$ , м	$I$ , А	$U$ , В	$R$ , Ом	$R_{\text{СЕР}}$ , Ом	$\rho_{\text{СЕР}}$ , Ом·м
1	2,17	$0,37 \cdot 10^{-3}$	0,1	3,0	30	31,6	$1,56 \cdot 10^{-6}$
2			0,15	5,2	34,7		
3			0,2	6	30		

Для обчислень

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

- За довідниковими даними визначте матеріал провідника і запишіть його питомий електричний опір  $\rho_{\text{дов}}$ . Порівняйте отримані експериментально значення (з табл.1 і табл.2) з довідниковим. Який з дослідів виявився точнішим і чому? Для більш точного досліду знайдіть абсолютну ( $\Delta\rho$ ) і відносну ( $\varepsilon_\rho$ ) похибки по відношенню до довідникового значення:

$$\Delta\rho = |\rho_{\text{дов}} - \rho_{\text{експ}}| \quad \varepsilon_{\rho} = \frac{\Delta\rho}{\rho_{\text{дов}}} \cdot 100\%$$

Заповніть табл.3.

Таблиця 3.

$\rho_{\text{дов}}, \text{ Ом м}$	$\Delta\rho, \text{ Ом м}$	$\varepsilon_{\rho}, \%$	матеріал провідника
$1.13 \cdot 10^{-6}$	$0.03 \cdot 10^{-6}$	2.7	ніхром

Для обчислень

.....

.....

.....

.....

### Додаткові завдання

1. Знайдіть похибку визначення питомого електричного опору в досліді 1 (див. табл.1).

Згідно формули (2) легко знайти відносну похибку  $\varepsilon_{\rho}$  визначення питомого електричного опору (похибкою округлення величини  $\pi$  нехтуємо):

$$\varepsilon_{\rho} = \varepsilon_R + \varepsilon_L + 2\varepsilon_d = \frac{\Delta R}{R} + \frac{\Delta L}{L} + \frac{2\Delta d}{d}, \quad (4)$$

де :  $\varepsilon_R, \varepsilon_L, \varepsilon_d$  – відносні похибки визначення  $R, L, d$  (у долях від одиниці);

$\Delta R, \Delta L, \Delta d$  – абсолютні похибки зазначених величин.

У досліді 1 (див. табл.1) абсолютні похибки  $\Delta R, \Delta L, \Delta d$  є інструментальними похибками і їх знаходять на основі ціни поділки вимірювальних приладів. Визначте інструментальні похибки вимірювальних приладів і відносні похибки та занесіть їх у табл.4.

Таблиця 4.

Абсолютні похибки	$\Delta L, \text{ м}$	$\Delta d, \text{ м}$	$\Delta R, \text{ Ом}$	$\Delta\rho, \text{ В}$
	$10^{-3}$	$0,01 \cdot 10^{-3}$	0,1	$0,07 \cdot 10^{-6}$
Відносні	$\varepsilon_L$	$\varepsilon_d$	$\varepsilon_R$	$\varepsilon_{\rho}$

похибки	0,005	0,027	0,004	0,063
---------	-------	-------	-------	-------

Обчисліть за формулою (4) відносну похибку вимірювання питомого опору провідника  $\varepsilon_\rho$ .

Розрахуйте абсолютну похибку  $\Delta\rho$  :

оскільки  $\varepsilon_\rho = \frac{\Delta\rho}{\rho}$  (у долях від 1), то  $\Delta\rho = \varepsilon_\rho \rho$  . (5)

Результати занесіть у табл.4.

Для обчислень

.....

.....

.....

.....

2. Знайдіть похибку визначення питомого електричного опору в досліді 2 (див. табл.2) для вимірювання з середнім значенням сили струму.

Спочатку за даними табл.2 знайдіть абсолютну похибку  $\Delta R_{сеп}$  і занесіть її в табл.5.

Таблиця 5.

№ досліду	$R$ , Ом	$R_{сеп}$ , Ом	$\Delta R$ , Ом	$\Delta R_{сеп}$ , Ом
1	30	31,6	1,6	2,1
2	34,7		3,1	
3	30		1,6	

Для обчислень

.....

.....

.....

Оскільки електричний опір знаходять за формулою (3), то легко отримати вираз для відносної інструментальної похибки опору  $\varepsilon_{R_{\text{ІНСТР}}}$  :

$$\varepsilon_{R_{\text{ІНСТР}}} = \varepsilon_{U_{\text{ІНСТР}}} + \varepsilon_{I_{\text{ІНСТР}}} = \frac{\Delta U_{\text{ІНСТР}}}{U} + \frac{\Delta I_{\text{ІНСТР}}}{I}, \tag{6}$$

де:  $\varepsilon_{U_{\text{ІНСТР}}}$  ,  $\varepsilon_{I_{\text{ІНСТР}}}$  – відносні інструментальні похибки визначення  $U$  та  $I$  (у долях від 1);

$\Delta U_{\text{ІНСТР}}$  ,  $\Delta I_{\text{ІНСТР}}$  – абсолютні інструментальні похибки визначення зазначених величин.

Послідовність розрахунку інструментальних похибок наступна.

Якщо клас точності приладу невідомий, то  $\Delta U_{\text{ІНСТР}}$  та  $\Delta I_{\text{ІНСТР}}$  визначають як половину ціни поділки вимірювальних приладів.

Якщо відомий клас точності приладу, то він указує відносну похибку  $\varepsilon_{U_{\text{ІНСТР}}}$  ,  $\varepsilon_{I_{\text{ІНСТР}}}$  .

З неї розраховують абсолютні інструментальні похибки  $\Delta U_{\text{ІНСТР}}$  та  $\Delta I_{\text{ІНСТР}}$  для середніх значень  $U$  та  $I$ .

Знайдіть усі вказані похибки і занесіть їх у табл.6. Розрахуйте абсолютну інструментальну похибку  $\Delta R_{\text{ІНСТР}}$  :  $\Delta R_{\text{ІНСТР}} = \varepsilon_{R_{\text{ІНСТР}}} \cdot R_{\text{СЕР}}$  (7)

Таблиця 6

$\Delta U_{\text{ІНСТР}}$ , В	$\varepsilon_{U_{\text{ІНСТР}}}$	$\Delta I_{\text{ІНСТ.}}$ , А	$\varepsilon_{I_{\text{ІНСТР}}}$	$\varepsilon_{R_{\text{ІНСТР}}}$	$\Delta R_{\text{ІНСТР}}$ , Ом

Для обчислень

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

З теорії похибок сумарну знайдіть абсолютну похибку  $\Delta R_{\Sigma}$  для електричного опору:

$$\Delta R_{\Sigma} = \sqrt{(\Delta R_{\text{інстр}}^2 + \Delta R_{\text{сер}}^2)} . \tag{8}$$

Розрахуйте значення сумарної відносної похибки для електричного опору:

$$\mathcal{E}_{R_{\Sigma}} = \frac{\Delta R_{\Sigma}}{R_{\text{сер}}} . \tag{9}$$

За лівою стороною виразу (4) знайдіть сумарну відносну похибку для питомого електричного опору  $\mathcal{E}_{\rho_{\Sigma}}$  , а з неї – сумарну абсолютну похибку для питомого електричного опору  $\Delta \rho_{\Sigma}$  .

Результати занесіть у табл.7.

Таблиця 7.

$\Delta R_{\Sigma}$ , Ом	$\mathcal{E}_{R_{\Sigma}}$	$\mathcal{E}_{\rho_{\Sigma}}$	$\Delta \rho_{\Sigma}$ , Ом·м

Остаточний експериментальний результат визначення питомого електричного опору запишіть у вигляді  $\rho = \Delta \rho_{\text{сер}} \pm \Delta \rho_{\Sigma} = ( \quad \pm \quad ) \text{ Ом}\cdot\text{м}$ .

Для обчислень

.....

.....

.....

.....

.....

.....

3. Візьміть з інструкції по опису приладу чи поміряйте експериментально опір вольтметра  $R_V$  до електричного кола на *рис.2*. Виведіть формули і за ними перерахуйте уточнене значення сили струму через провідник. Знайдіть уточнені значення опорів провідника і його середнє значення. Розрахуйте уточнене значення питомого електричного опору провідника  $\rho_{\text{сер}}$  . Знайдіть уточнені значення абсолютної ( $\Delta \rho$ ) і відносної ( $\mathcal{E}$ ) похибок по відношенню до довідникового значення.

Для обчислень  $R_V =$

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

**Контрольні питання**

1. Що таке питомий електричний опір і в яких одиницях його вимірюють ?

.....

.....

.....

2. Чи залежить питомий електричний опір металу від сили струму при сталій температурі ?

.....

.....

.....

3. Чому для виготовлення нагрівальних приладів застосовують провідники з великим питомим опором, а для підвідних провідників – з малим ?

.....

.....

.....

.....

4. Від чого залежить опір провідника ?

.....

.....

.....

.....

5. Як залежить питомий опір металів від температури? Зобразіть графік. Запишіть формулу, назвіть усі величини і вкажіть їх одиниці.

6. Сформулюйте спільне правило для розрахунку похибки з виразів (3) і (2).

.....

.....

.....

### Висновки

Двома методами визначили питомий опір провідника і порівняли результати з табличними даними. Досить точним виявився метод у якому опір провідника вимірюється безпосередньо мультиметром. При цьому відносна похибка становить 2,7%.

$$\rho_{\text{експ}} = 1,16 \cdot 10^{-6} \text{ Ом} \cdot \text{м} - \text{матеріал ніхром}, \rho_{\text{табл}} = 1,13 \cdot 10^{-6} \text{ Ом} \cdot \text{м}.$$

Метод у якому знаходиться опір провідника попередньо вимірявши напругу та силу струму на ньому дає більшу похибку. Цей метод є додатковим.

## Лабораторна робота №2

### Вимірювання ЕРС і внутрішнього опору джерела струму

**Методична примітка.** Нижче приведена інструкція з виконання цієї роботи. Як правило, у школі використовують джерела струму на 4В, ВС – 6 (на 6 В), на 4 – 12 В. Чисельні значення по вимірювання ЕРС та внутрішнього опору одного з цих джерел наведено у додатку Б1. Результати роботи показують що ці джерела досить стабільну незмінну ЕРС з малою похибкою вимірювання. Зате похибка при вимірювання внутрішнього опору велика і становить понад 30% а то і більше. Це пов'язано з тим, що у ході виконання лабораторної роботи ми знімаємо два вимірювання при різних значеннях сили струму у зібраному електричному колі. Отже, указані вище джерела електричного струму, при різних значеннях електричного струму в колі мають дуже різні значення електричного кола. Тому всі ці джерела підходять до виконання цієї лабораторної роботи. Необхідно вибрати джерела струму, які характеризується сталим значенням не тільки ЕРС, але і внутрішнього опору при різних значеннях сили струму. Такими зручними джерелами струму можуть бути гальванічні елементи, акумулятори(крона).

Нижче наведена лабораторна робота з використання 3 гальванічних елементів з'єднаних послідовно. При цьому похибка вимірювання ЕРС і внутрішнього опору малі.

**Мета:** виміряти ЕРС і розрахувати внутрішній опір джерела струму.

**Обладнання:** 2-3 гальванічні елементи на 1,5 В; амперметр шкільний з ціною поділки 0,1 А/под.; омметр (мультиметр); вольтметр зі шкалою на 6 В і ціною поділки 0,1 В/под. чи мультиметр (у крайньому випадку вольтметр шкільний); реостат; ключ; з'єднувальні провідники.

#### Теоретичні відомості

ЕРС джерела струму  $\varepsilon$  можна виміряти, приєднавши до його клем вольтметр, опір якого  $R_V$  значно більший, ніж внутрішній опір джерела струму  $r$ .

Використаємо закон Ома для повного кола (рис.1):

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

де:  $I$  – сила струму в колі;  $R$  – зовнішній опір (на рис.1 це загальний опір реостата і амперметра).

Із закону (1) виразимо  $\varepsilon$  :  $\varepsilon = I \cdot R + I \cdot r$  ,  
звідки виразимо внутрішній опір джерела струму  $r$  :

$$r = \frac{\varepsilon - I \cdot R}{I}. \quad (2)$$

З формули (2) можна знайти внутрішній опір джерела струму  $r$ , вимірявши силу струму  $I$  в колі амперметром та опір  $R$  омметром (мультиметром).

Урахуємо, що напруга  $U$  на зовнішньому опорі  $R$  :  $U = I \cdot R$  .  
У такому разі формула (2) приймає вигляд:



$$r = \frac{\varepsilon - U}{I}, \quad (3)$$

З формули (3) теж можна знайти внутрішній опір джерела струму  $r$ , вимірявши силу струму  $I$  в колі амперметром та напругу  $U$  на зовнішньому опорі. При цьому слід урахувати, що напруга  $U$  на зовнішньому опорі рівна напрузі на клеммах джерела (рис. 1).

Формули (2) і (3) є основою для двох зручних методів знаходження внутрішнього опору джерела струму за однією електричною схемою. Причому, формула (2) може дати більшу точність при наявності в школі точного омметра (мультиметра). Якщо ж таких приладів нема, то потрібно використовувати формулу (3).

### Хід роботи (перший експеримент)

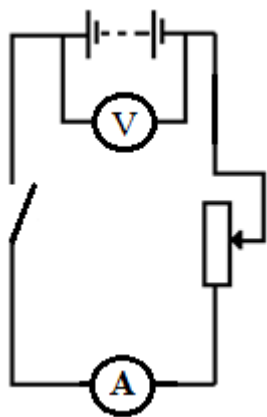


Рис.1

Завдання стосується визначення внутрішнього опору джерела струму за формулою (3).

1. При розімкненому ключі виміряйте вольтметром (мультиметром) ЕРС джерела струму  $\varepsilon$ .
2. Замкніть коло і за допомогою реостата відрегулюйте силу струму так, щоб стрілка амперметра зупинилася напроти цілої поділки шкали амперметра, наприклад, 0,1 А (якщо ви використовуєте гальванічні елементи, то сила струму повинна бути малою, щоб не розряджати їх занадто). Запишіть покази вольтметра і відімкніть його від клем джерела струму. Розімкніть коло.

3. Повторіть пункти 1-2 ще раз (можна при меншій силі струму, якщо це дозволяє точність амперметра).
4. Розрахуйте середнє значення ЕРС джерела струму  $\varepsilon_{\text{сер}}$ . За формулою (3) знайдіть внутрішній опір джерела струму  $r$  у кожному досліді та розрахуйте середнє його значення  $r_{\text{сер}}$ . Результати вимірів і розрахунку занесіть у табл.3.

Таблиця 3.

№ досліду	$\varepsilon$ , В	$\varepsilon_{\text{сер}}$ , В	$I$ , А	$U$ , В	$r$ , Ом	$r_{\text{сер}}$ , Ом
1	4,76	4,75	0,1	4,41	3,2	3,25
2	4,74		0,2	4,12	3,3	

Ці дані стосуються трьох послідовно з'єднаних гальванічних елементів. Для одного гальванічного елемента отримаємо:  $\varepsilon_1 = 1,58$  В;  $r_1 = 1,08$  Ом.

Для обчислень

.....

.....

.....

.....

5. Розрахуйте похибки виконаного експерименту (аналогічно до пункту 7 першого експерименту): знайдіть абсолютні похибки  $\Delta\varepsilon$  та  $\Delta r$  в обох дослідах;  
 розрахуйте їх середні значення  $\Delta\varepsilon_{\text{сер}}$  та  $\Delta r_{\text{сер}}$ ;  
 знайдіть відносні похибки (у долях від 1)  $E_\varepsilon$  та  $E_r$ ;  
 результати розрахунків занесіть у табл.4.

Таблиця 4.

ЕРС			Внутрішній опір		
$\Delta\varepsilon$ , В	$\Delta\varepsilon_{\text{сер}}$ , В	$E_\varepsilon$	$\Delta r$ , Ом	$\Delta r_{\text{сер}}$ , Ом	$E_r$
0,01	0,01	0,002	0,05	0,05	0,015
0,01			0,05		

Для обчислень

.....

.....

.....

.....

.....

6. Остаточні результати експерименту запишіть у формі:

$$\varepsilon = \varepsilon_{\text{сер}} \pm \Delta\varepsilon_{\text{сер}} = ( \quad \pm \quad ) \text{В}; \quad r = r_{\text{сер}} \pm \Delta r_{\text{сер}} = ( \quad \pm \quad ) \text{Ом.} \quad (5)$$

7. Якщо в якості джерела струму ви використали послідовно з'єднані 2-3 гальванічні елементи, то з виразу (5) запишіть формули і знайдіть середні значення  $\varepsilon_{1\text{сер}}$  та  $r_{1\text{сер}}$  для одного гальванічного елемента. Остаточні результати експерименту запишіть у формі:

$$\varepsilon_1 = \varepsilon_{1\text{сер}} \pm \Delta\varepsilon_{1\text{сер}} = ( \quad \pm \quad ) \text{В}; \quad r_1 = r_{1\text{сер}} \pm \Delta r_{1\text{сер}} = ( \quad \pm \quad ) \text{Ом.}$$

.....

.....

.....

.....

.....

8. Порівняйте між собою похибки першого і другого експериментів. Який з них точніший і чому?

.....

.....

.....

.....

.....

#### Додаткове експериментальне завдання (другий експеримент)

1. Складіть електричне коло за схемою на *рис.1*. Вольтметр не вмикайте.

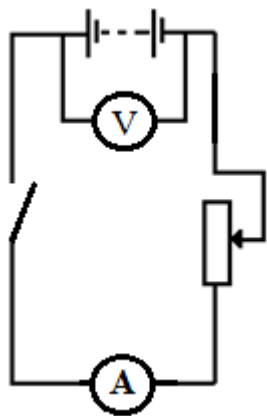


Рис.1

Переконайтеся, що опір вольтметра  $R_V$  значний (більше 100 Ом; чим більший, тим краще).

2. При розімкненому ключі виміряйте вольтметром (мультиметром)

ЕРС джерела струму  $\varepsilon$ . Якщо ви використовуєте гальванічні елементи, то виводи вольтметра приводять у контакт на коротку мить вимірювання і одразу відключають їх, щоб не розряджати джерело.

3. Вольтметр відімкніть від клем джерела струму.

Замкніть коло і за допомогою реостата відрегулюйте силу струму так,

щоб стрілка амперметра зупинилася напроти цілої поділки шкали амперметра, наприклад, 0,1 А (якщо ви використовуєте гальванічні елементи, то сила струму повинна бути малою, щоб не розряджати їх занадто). Розімкніть коло.

4. При розімкненому ключі омметром (мультиметром) виміряйте загальний опір  $R$  реостата і амперметра. Додатково поміряйте опір амперметра  $R_A$  і зробіть висновок, чи можна було обмежитися вимірюванням опору одного тільки реостата.

5. Повторіть пункти 2-4 ще раз (можна при меншій силі струму, якщо це дозволяє точність амперметра).

6. Розрахуйте середнє значення ЕРС джерела струму  $\varepsilon_{\text{сеп}}$ .

За формулою (2) знайдіть внутрішній опір джерела струму  $r$  у кожному досліді та розрахуйте середнє його значення  $r_{\text{сеп}}$ . Результати вимірів і розрахунку занесіть у табл.1.

Таблиця 1.

№ досл.	$\varepsilon$ , В	$\varepsilon_{\text{сеп}}$ , В	$I$ , А	$R$ , Ом	$R_A$ , Ом	$r$ , Ом	$r_{\text{сеп}}$ , Ом
1	4,78	4,78	0,1	30	1	16,8	13,35
2	4,78		0,2	15	1	9,9	

Ці дані стосуються трьох послідовно з'єднаних гальванічних елементів. Для одного гальванічного елемента отримаємо:  $\varepsilon_1=1,59$  В;  $r_1 = 4,45$  Ом.

Для обчислень

.....

.....

.....

.....

7. Розрахуйте похибки виконаного експерименту:

знайдіть абсолютні похибки в обох дослідіах:  $\Delta\varepsilon = |\varepsilon_{\text{сеп}} - \varepsilon|$  та

$$\Delta r = |r_{\text{сеп}} - r|;$$





однакових гальванічних елементів з характеристиками  $\varepsilon_1$  та  $r_1$  кожен. Запишіть формули за якими можна загальну ЕРС та загальний внутрішній опір такого джерела.

.....  
 .....  
 .....

### Висновки

У ході дослідів ми переконалися, що вимірювання внутрішнього опору джерела струму за формулою  $r = \frac{\varepsilon - I \cdot R}{I}$  дає хибні значення з дуже великою похибкою. Тому від методу який використовує цю формулу ми відмовились, як від не коректного.

Точні значення не тільки ЕРС, але і внутрішнього опору дає метод з використанням розрахункової формули  $r = \frac{\varepsilon - U}{I}$ .

Для одного гальванічного елемента ми отримали:  $\varepsilon_1 = 1,58$  В (похибка 0,2%),  $r_1 = 1,08$  Ом (похибка 1,5%).

При потребі вчитель може не використовувати додаткового завдання до лабораторної роботи, оскільки він дає дуже велику похибку.

### Примітка.

1. При вимірюванні опору  $R$  мультиметром значення опору плыве. Вимірювання опору амперметру неточне. У зв'язку з цим, вимірювання внутрішнього джерела струму за формулою  $r = \frac{\varepsilon - I \cdot R}{I}$  дає досить велику похибку (26%).
2. При вимірюванні опору  $r$  за формулою  $r = \frac{\varepsilon - U}{I}$  отримуємо значно менші похибки (1,5%).
3. Точніший метод дає значення внутрішнього опору одного гальванічного елемента  $r_1 = 1,08$  Ом. Метод з великою похибкою дає значення 4,45 Ом. Як бачимо, від методу з великою похибкою необхідно відмовитися, хоча саме його використовують у шкільній інструкції.
4. Тому при подальшому удосконаленню методики виконання цієї лабораторної роботи, в якості основного завдання ми вибираємо вимірювання опору  $r$  за формулою  $r = \frac{\varepsilon - U}{I}$  з меншою похибкою.

## Лабораторна робота №3

### Дослідження розряду конденсатора та визначення його ємності

**Методична примітка.** Ця лабораторна робота виконується у класах з поглибленим вивчення фізики. Наше завдання полягало в тому щоб вибрати такі значення електроємності та опору резистора, за яких розрядка йде достатньо плавно і дає можливість достатньо точно виміряти силу струму, яка протікає через конденсатор, в різні моменти часу.

Ми використали електроємність 1000 мкФ, 500 мкФ, 200 мкФ та опори від 10 до 50 кОм.

Конденсатор ємністю менше 200 мкФ розряджався навіть через великий опір (51 кОм) досить швидко. Це створює значні незручності для вимірювання залежності сили струму від часу. Звичайно можна використовувати смартфони у яких є функція вимірювання багатьох моментів часу. Можна також зняти відео, на якому видно покази сили струму та секундоміра. Але більш доцільно вибрати такі значення ємності конденсатора і опору резистора, через який він розряджається, які забезпечують достатньо плавну розрядку конденсатора. Тоді учні можуть без всяких ускладнень зможуть якісно зробити цю лабораторну роботу.

Нижче наведена інструкція виконання цієї лабораторної роботи зі значеннями електроємності 1000 мкФ та 500 мкФ при опорах резистора 20 – 50 кОм, за яких спостерігали плавну розрядку конденсатора у часі і точно виміряти силу струму у різні моменти часу.

**Мета:** дослідити розряд конденсатора та визначити його ємність.

**Обладнання:** електролітичний конденсатор ємністю 1000 мкФ на (10-30) В; мікроамперметр на 100 мкА; вольтметр магнітоелектричної системи на 6 В; джерело постійного струму на (1-4) В (наприклад В-24); резистори на 10 кОм, 50 кОм; секундомір; ключ для замкнення кола; комплект з'єднувальних провідників.

### Теоретичні відомості

Цей спосіб визначення ємності конденсатора базується на вимірюванні заряду, що його віддає конденсатор при розрядці. Спочатку конденсатор заряджають від джерела постійного струму до певної напруги  $U$  на обкладках конденсатора і вимірюють її вольтметром. Щоб визначити заряд, треба знати залежність сили струму при розрядці конденсатора від часу  $I(t)$ . У даній роботі досліджується ця залежність і за отриманими даними будується графік  $I(t)$ . Площа, обмежена графіком і осями координат, чисельно дорівнює заряду, який конденсатор віддає при розрядці.

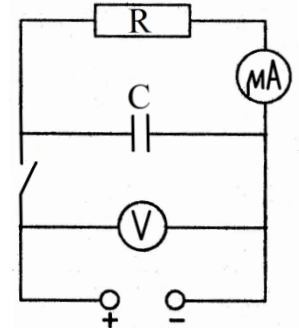
Спершу за формулою  $q_1 = I_1 \cdot t_1$  визначають, якому заряду  $q_1$  відповідає на графіку площа квадрата (прямокутника) зі сторонами  $I_1$  та  $t_1$ , які є масштабом сили струму й часу на графіку. Потім підраховують число таких квадратів (прямокутників)  $N$  на всій площі, обмеженій графіком і осями координат, і за формулою  $q = N \cdot q_1$  обчислюють заряд, який конденсатор віддає при розрядці.

Визначивши таким способом заряд, визначають його ємність за формулою

$$C = \frac{q}{U} \quad (1)$$

### Хід роботи

1. Складіть електричне коло за схемою, зображеною на *рис. 1*. Резистор візьміть з електричним опором 50 кОм. Електричну напругу на джерелі виставте 0 В.
2. Замкніть ключ і дуже плавно підвищуйте напругу на джерелі.



Конденсатор при цьому заряджається до напруги джерела (зарядка відбувається майже миттєво, оскільки опір з'єднувальних провідників

дуже малий). Мікроамперметр показує силу струму через резистор.

Обережно, не спаліть мікроамперметр! Напругу на джерелі перестаєте підвищувати, коли стрілка мікроамперметра встановиться на максимальній позначці 100 мкА.

3. Запишіть у зошит покази вольтметра  $U = \underline{5,0 \text{ В}}$
4. Розімкніть ключ і одночасно увімкніть секундомір. У цьому випадку конденсатор від'єднується від джерела напруги, а струм продовжує йти за рахунок розрядки конденсатора у замкненій (верхній) ділянці кола.
5. Через кожні 10 мкА записуйте покази мікроамперметра, помічайте відповідний час і заносьте його до табл.1, доки конденсатор не розрядиться майже повністю (сила струму зменшиться до 1 мкА).
6. Повторіть дослід ще раз і знову заносьте отримані дані до табл.1.

Результати вимірів шкальним мікроамперметром. Таблиця 1.а

Сила струму $I, 10^{-6} \text{ А}$	90	80	70	60	50	40	30	20	10	5	1
Час $t, \text{ с}$ 1 дослід	0	6,9	15,1	24,8	36,2	52	68	103	142	195	375
Час $t, \text{ с}$ 2 дослід	0	7,1	14,9	24,8	36,2	50,1	68	102	140	191	348
Середній час $t_{\text{сеп}}, \text{ с}$	0	7	15	24,8	36,2	51,05	68	102,5	141	193	361,5

$U_{\text{max}} = 5\text{В}; U_{\text{при розрядці}} = 3\text{В}; I_{\text{max}} = 94 \text{ мкА}; R = 51 \text{ кОм}; C = 1000 \text{ мкФ}$

Результати вимірів мультиметром – мікроамперметром. Таблиця 1.б

Сила струму $I, 10^{-6} \text{ А}$	90	80	70	60	50	40	30	20	10	5	1
Час $t, \text{ с}$ 1 дослід	0	6,9	14	22	34	46	64	88	131	177	288
Час $t, \text{ с}$ 2 дослід	0	6,8	14,5	23	34	47	65	90	135	176	287



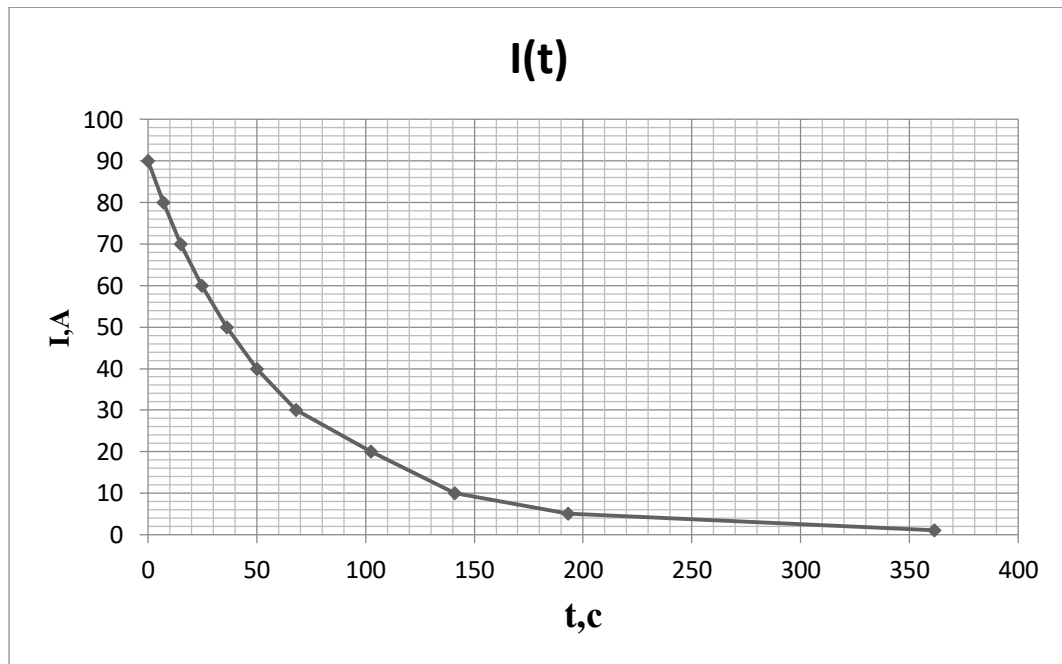
Середній час $t_{сер}, c$	0	6,85	14,25	22,5	34	45	64,5	89	133	176,5	287,5
------------------------------	---	------	-------	------	----	----	------	----	-----	-------	-------

$U_{max} = 5В$ ;  $U_{при розрядці} = 3В$ ;  $I_{max} = 95 мкА$ ;  $R = 51 кОм$ ;  $C = 1000 мкФ$

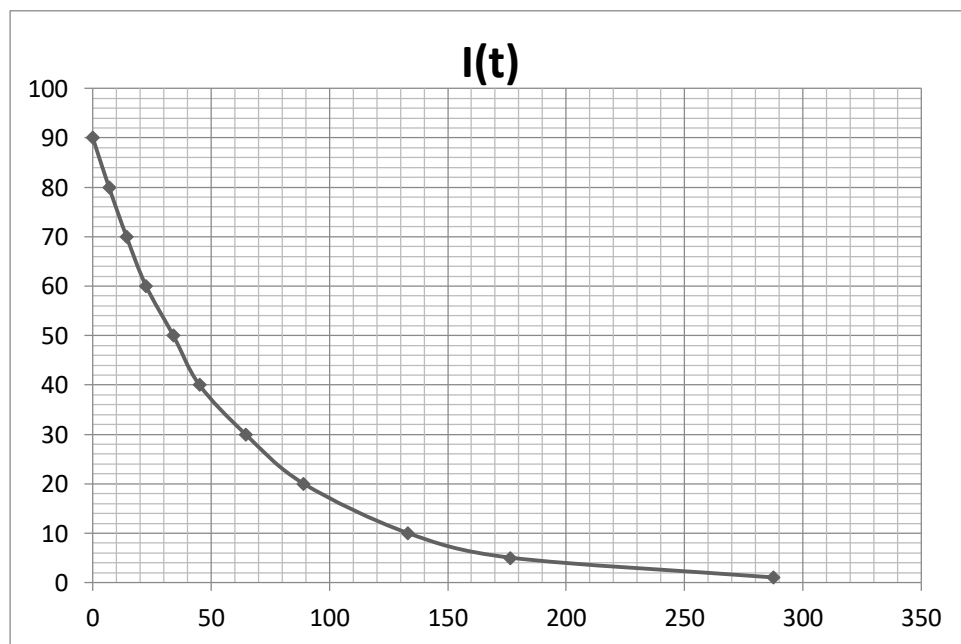
7. Обчисліть середні значення часу.

8. За даними таблиць побудуйте графіки залежності сили розрядного струму від часу  $I(t)$ .

Графік з таблиці 1.а



Графік з таблиці 1.б



9. Визначте за формулою  $q_1 = I_1 \cdot t_1$ , якому заряду  $q_1$  (у Кулонах) відповідає на

графіку площа квадрата (прямокутника) зі сторонами  $I_1$  та  $t_1$ , які є масштабом сили струму й часу на графіку (наприклад 1 см чи 0,5 см).

10. Підрахуйте число таких квадратів (прямокутників)  $N$  на всій площі, обмеженій графіком і осями і координат. При цьому, біля самого графіку неповні квадрати (прямокутники) об'єднують між собою, оцінюйте яку частину від повних вони становлять за площею чи за кількістю маленьких квадратиків (прямокутників).

11. За формулою  $q = N \cdot q_1$  обчисліть заряд, який конденсатор віддає при розрядці.

12. Знаючи напругу і заряд, за формулою (1) визначте ємність конденсатора  $C_{вим}$  і виразіть її в фарадах і мікрофарадах.

13. Результати вимірювань і обчислень запишіть у табл. 2.

Таблиця 2.

№	$q_1$ , Кл	$N$	$q = Nq_1$ , Кл	U, В	$C_{вим}$ , мкФ
1.а	25	246	5396	5	1079
1.б	25	205	5125	5	1025

Для обчислень

.....  
 .....

14. Порівняйте отримане значення  $C_{вим}$  зі значенням ємності  $C_{кон}$ , указаним на конденсаторі. Оцініть та абсолютну ( $\Delta C$ ) і відносну ( $\varepsilon_c$ ) похибки визначення ємності конденсатора:

$$\Delta C = |C_{вим} - C_{кон}|; \quad \varepsilon_c = \frac{\Delta C}{C_{кон}} \cdot 100\%$$

Результати обчислень запишіть у табл.3.

Таблиця

3.

№	$C_{вим}$ , мкФ	$C_{кон}$ , мкФ	$\Delta C$ , мкФ	$\varepsilon_c$ , %
1.а	1079	1000	79,2	7,9
1.б	1025	1000	25	2,5

Для обчислень

.....  
 .....

### Додаткове експериментальне завдання 1

1. Повторіть один дослід з іншим резистором, наприклад, з електричним опором 25,5 кОм.

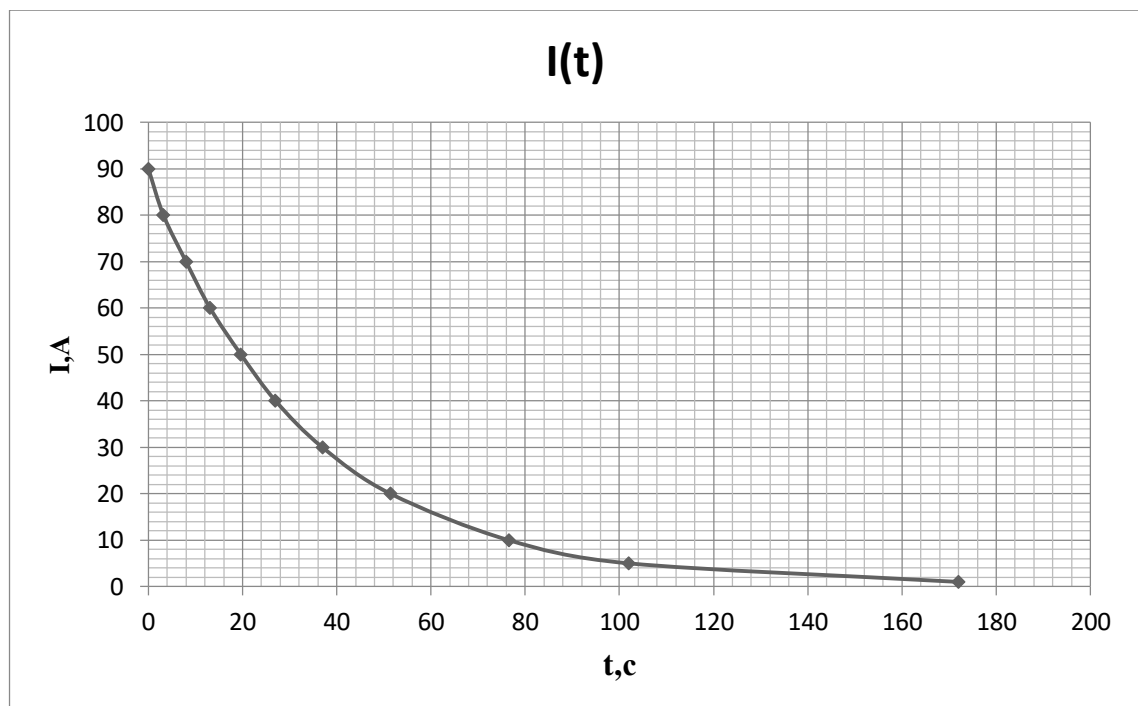
Результати занесіть до табл.4.

Таблиця 4.

Сила струму $I, 10^{-6} A$	90	80	70	60	50	40	30	20	10	5	1
Час $t, c$ 1 дослід	0	3,0	8	13,2	19,3	27	36,9	51,8	77	102	172
Час $t, c$ 2 дослід	0	3,4	8	13	20	27	37	51	76	102	172
Час $t, c$ середнє	0	3,2	8	13,1	19,65	27	36,95	51,4	76,5	102	172

$U_{\max} = 3V$ ;  $U_{\text{при розрядці}} = 1,5V$ ;  $I_{\max} = 99,5 \text{ мкА}$ ;  $R = 25,5 \text{ кОм}$ ;  $C = 1000 \text{ мкФ}$

2. Побудуйте графік залежності сили розрядного струму від часу  $I(t)$



3. Визначте аналогічно  $q_1$ . Підрахуйте число квадратів (прямокутників)  $N$ . Обчисліть заряд, який конденсатор віддає при розрядці:  $q = N \cdot q_1$ . Визначте ємність конденсатора  $C_{\text{вим}}$  і виразіть її в фарадах і мікрофарадах. Результати вимірювань і обчислень запишіть у табл. 5.

Таблиця 5.

№	$q_1, Кл$	$N$	$q = Nq_1, Кл$	$U, B$	$C_{\text{вим}}, мкФ$
1	10	270	2775	3	925

Для обчислень

4. Порівняйте отримане значення  $C_{вим}$  зі значенням ємності  $C_{кон}$ , указаним на конденсаторі. Оцініть та абсолютну ( $\Delta C$ ) і відносну ( $\varepsilon_c$ ) похибки визначення ємності конденсатора.

Результати обчислень запишіть у табл.6.

Таблиця 6.

№	$C_{вим}$ , мкФ	$C_{кон}$ , мкФ	$\Delta C$ , мкФ	$\varepsilon_c$ , %
1	925	1000	75	7,5

### Додаткове експериментальне завдання 2

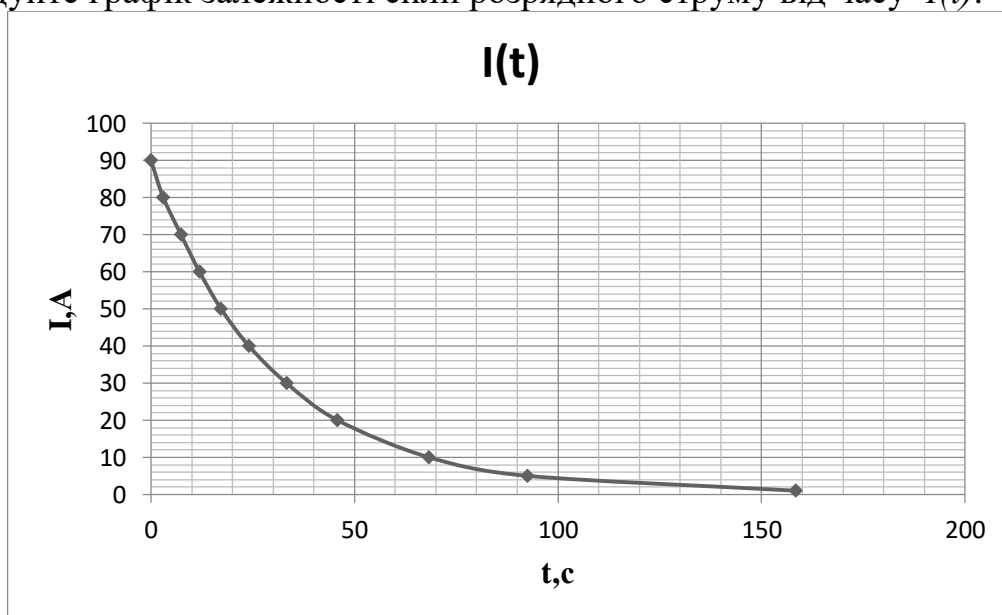
1. Повторіть один дослід з іншим резистором, наприклад, з електричним опором 50 кОм і конденсатором меншої електричної ємності  $C = 500$  мкФ. Результати занесіть до табл.7.

$U_{max} = 5В$ ;  $U_{при\ розряді} = 3В$ ;  $I_{max} = 94$  мкА;  $R = 51$  кОм;  $C = 500$  мкФ

Таблиця 7.

Сила струму $I, 10^{-6} А$	90	80	70	60	50	40	30	20	10	5	1
Час $t, с$ 1 дослід	0	2,9	7,6	11,9	17,1	23,8	33,1	45,5	68,2	93	159
Час $t, с$ 2 дослід	0	3,1	7,1	11,9	17,3	24,3	33,5	46,1	68,5	92	158
Час $t, с$ середнє	0	3	7,35	11,9	17,2	24,05	33,3	45,8	68,3	92,5	158,5

2. Побудуйте графік залежності сили розрядного струму від часу  $I(t)$ .



3. Визначте аналогічно  $q_1$ . Підрахуйте число квадратів (прямокутників)  $N$ . Обчисліть заряд, який конденсатор віддає при розрядці:  $q = N \cdot q_1$ . Визначте ємність конденсатора  $C_{вим}$  і виразіть її в фарадах і мікрофарадах. Результати вимірювань і обчислень запишіть у табл. 5.

Таблиця 8.

№	$q_1$ , Кл	$N$	$q = Nq_1$ , Кл	$U$ , В	$C_{вим}$ , Ф
1	10	237	2370	5	474

Для обчислень

.....

.....

.....

.....

4. Порівняйте отримане значення  $C_{вим}$  зі значенням ємності  $C_{кон}$ , указаним на конденсаторі. Оцініть та абсолютну ( $\Delta C$ ) і відносну ( $\epsilon_c$ ) похибки визначення ємності конденсатора.

Результати обчислень запишіть у табл.9.

Таблиця 9.

№	$C_{вим}$ , мкФ	$C_{кон}$ , мкФ	$\Delta C$ , мкФ	$\epsilon_c$ , %
1	474	500	28	5,6

### Додаткове експериментальне завдання 3

1. За даними табл.1 розрахуйте значення  $\ln(I_0/I)$ , де  $I_0 = 90$ мкА, і запишіть їх у табл.10.

Таблиця 10.

$\ln(I_0/I)$	90	80	70	60	50	40	30	20	10	5	1
Середній час $t_{шк-а.сер}$ , с	0	7	15	24,8	36,2	51,05	68	102,5	141	193	361,5
Середній час $t_{мульт.сер}$ , с	0	6,85	14,25	22,5	34	45	64,5	89	133	176,5	287,5

2. Побудуйте графік залежності функції  $\ln(I_0/I)$  від часу.

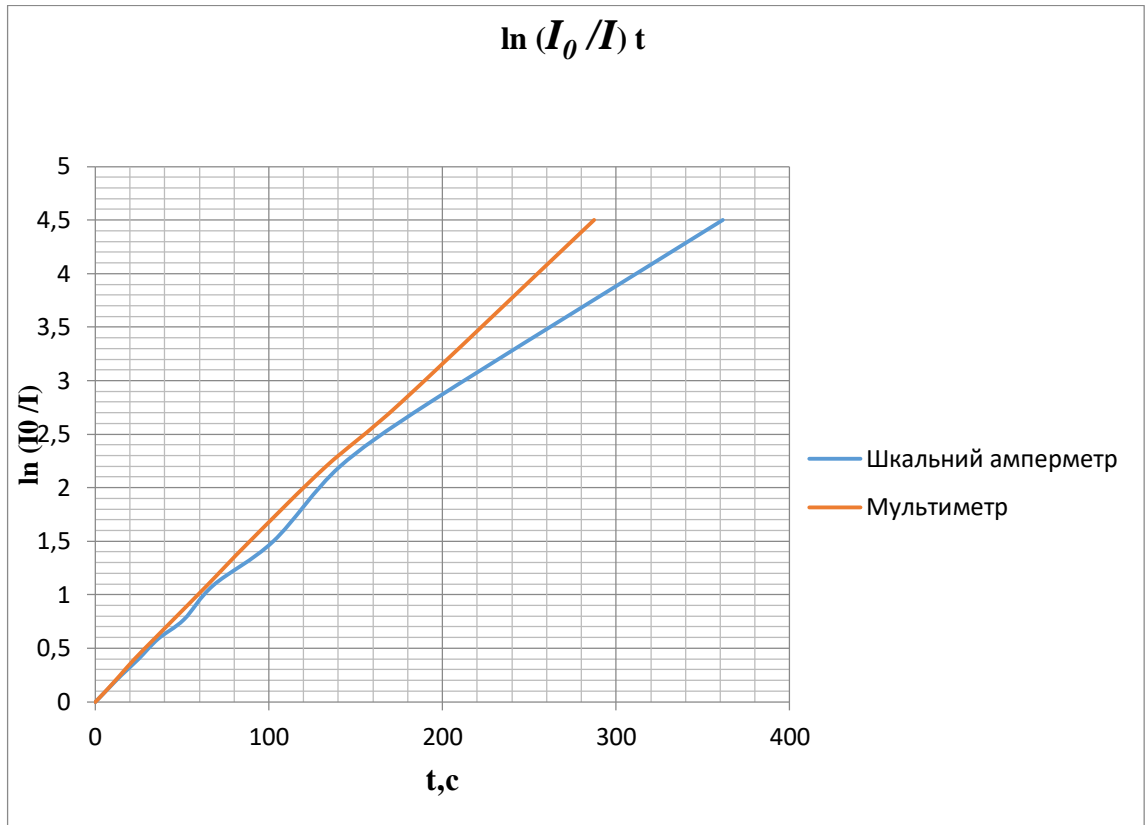
3. Проаналізуйте який вид має цей графік і чому.

.....

.....

.....

.....



### Контрольні питання

1. Запишіть формулу для електроємності конденсатора, сформулюйте визначення і вкажіть одиниці всіх величин.

.....

.....

.....

.....

2. Який геометричний зміст площі під графіком залежності сили розрядного струму конденсатора від часу і чому?

.....

.....

.....

.....

3. Чому при увімкненні електролітичного конденсатора в коло необхідно враховувати його полярність.

.....

.....

.....

.....

4. Як впливатимуть на час зарядки і розрядки конденсатора зміна напруги джерела і зміна опору резистора?

.....

.....

.....

5. Яку небезпеку являють собою відключені від джерела живлення лінії, що містять конденсатори?

.....

.....

.....

### **Висновки**

З експерименту ми переконались що конденсатор розряджається тим повільніше, чим більше опір резистору, через який він розряджається.

Знаючи заряд знайшли відповідне значення  $C_{\text{вим}}$  і порівняли зі значенням, що вказано на конденсаторі  $C_{\text{кон}}$ . Похибка значень  $C_{\text{вим}}$  відносно  $C_{\text{кон}}$  становить  $\varepsilon_c = 7,9\%$  ( $C=1000\text{мкФ}$ ,  $R=51\text{кОм}$  шкальний мікроамперметр);  $2,5\%$  ( $C=1000\text{мкФ}$ ,  $R=51\text{кОм}$  мультиметр мікроамперметр);  $7,5\%$  ( $R = 25,5\text{кОм}$ ,  $C = 1000\text{мкФ}$ );  $5,6\%$  ( $R = 51\text{кОм}$ ,  $C = 500\text{мкФ}$ ).

Графік залежності  $\ln(I_0/I)$  від  $t$  при використанні мультиметра практично лінійний, а при використанні шкального мікроамперметра суттєво відрізняється від лінійного. За теорією ця залежність повинна бути лінійною. Отже, дослід з використанням мультиметра є значно точнішим, ніж з використанням шкального, що і слід рекомендувати в інструкції.

## Висновки до розділу 2

- Напрацьовано 18 планів-конспектів уроків різного типу, які охоплюють весь розділ «Постійний електричний струм». Їх я буду використовувати у практичному навчанні.

- Також, ми дослідили різні варіанти виконання трьох лабораторних робіт.

### 1. Лабораторна робота №1 «Визначення питомого опору провідника».

При точному вимірюванню діаметру проводу, сили струму і напруги дає можливість знайти питомий опір провідника, але й і за таблицею довідника значення виявили матеріал – ніхром.

Двома методами визначили питомий опір провідника і порівняли результати з табличними даними. Досить точним виявився метод у якому опір провідника вимірюється безпосередньо мультиметром, а менш точним є метод, у якому опір провідника розраховують за виміряними значеннями сили струму та напруги на ньому.

### 2. Лабораторна робота №2 «Вимірювання ЕРС та внутрішнього опору провідника».

Виявлено, що використання традиційних шкільних джерел струму на 4, 6, 12В дає можливість точно виміряти їх ЕРС, але не дозволяє знайти їх внутрішній опір, оскільки він є різним при різних значеннях електричного струму в електричному колі з використанням кожного з цих джерел.

Коректне вимірювання ЕРС та внутрішнього опору можливе при використанні гальванічних елементів, акумуляторів (крони).

Точні значення не тільки ЕРС, але і внутрішнього опору дає методика з використанням формули:

$$r = \frac{\varepsilon - U}{I}$$

Традиційна для шкільної інструкції формула:

$$r = \frac{\varepsilon - I \cdot R}{I}$$

дає дуже великі похибки і навіть хибні значення внутрішнього опору, тому від



методу з використанням цієї формули слід відмовитись.

3. Лабораторна робота №3 «Дослідження розряду конденсатора та визначення його ємності».

Ми переконалися що конденсатор розряджається тим повільніше, чим більше його електроємність та тим більше його опір резистора, через який він розряджається. Доцільно використовувати електроємність зі значеннями не менше 500 мкФ, а резистор з опором не менше 25 кОм. При цьому похибки експерименту менше 10%.

Графік залежності  $\ln(I_0/I)$  від  $t$  при використанні мультиметра практично лінійний, а при використанні шкального мікроамперметра суттєво відрізняється від лінійного. За теорією ця залежність повинна бути лінійною. Отже, дослід з використанням мультиметра є значно точнішим, ніж з використанням шкального, що ми рекомендуємо в інструкції.

## ВИСНОВКИ

У першому розділі:

1. Проаналізовані програми і методики вивчення постійного електричного струму в старшій школі у різні роки, починаючи з радянських часів і до сучасного стану.
2. Відмічені позитивні та негативні сторони традиційної методики навчання постійного електричного струму в старшій школі. Виявлені теми, які потребують методичного доробку.
3. Зроблено висновок, що лабораторні роботи потребують подальшого удосконалення.

У другому розділі:

1. Напрацьовано 18 планів-конспектів уроків різного типу, які охоплюють весь розділ «Постійний електричний струм». Їх я буду використовувати у практичному навчанні.
2. Дослідили різні варіанти і удосконалили методику виконання та інструкції до трьох лабораторних робіт:
  - «Визначення питомого опору провідника»;
  - «Вимірювання ЕРС та внутрішнього опору провідника».
  - «Дослідження розряду конденсатора та визначення його ємності».

## ВИКОРИСТАНІ ДЖЕРЕЛА

1. Бар'яхтар В.Г. Фізика. 11 клас. Академічний рівень. Профільний рівень: Підручник для загальноосвіт. навч.закл. / Ф.Я. Божинова, М.М. Кирюхін, О.О. Кирюхіна. - Х.: Видавництво «Ранок», 2011. – 320 с.: іл.
2. Бугайов О.І. Уроки фізики: посіб. для вчителів в 9 класі / за редакцією доцента О.І. Бугайова. – К.: «Радянська школа», 1977. – 232.
3. Бурак В.І. Електромагнітні явища. Електромагнітне поле : Навчальний посібник для класів основної школи з непрофільним вивченням фізики / В.І. Бурак. – Кривий Ріг : Криворізький державний педагогічний університет, 2011. – 152 с., іл.
4. Бурак В.І. Електромагнітні явища і електромагнітне поле: Навчальний посібник для класів з поглибленим вивченням фізики / В.І. Бурак. – Кривий Ріг: Видавничий дім, 2008. – 164 с., іл.
5. Мякишев Г.Я. Физика: Учеб. Для 10 кл. сред. Шк / Мякишев Г.Я., Б.Б. Буховцев. – 2-е изд. – М.: Просвещение, 1990. – 222 с.
6. Навчальна програма авторського колективу під керівництвом Локтева В.М. Фізика 10-11 клас. – 2018.
7. Навчальна програма авторського колективу під керівництвом Ляшенка О.І. Фізика 10-11 клас. – 2018.
8. Програми середньої загальноосвітньої школи. Фізика. Астрономія. 7–11 класи. – К. : Рад. шк., 1989. –51 с.
9. Програми середньої загальноосвітньої школи. Фізика, Астрономія. 7-11 клас / Київ – «Освіта» , с – 112, 1992.
10. Програми для середніх загальноосвітніх шкіл: Фізика. Астрономія. 7–11 класи. – К. : Перун, 1996. – 140 с.
11. Програма для загальноосвітніх навчальних закладів. Фізика 10-11 клас. – 2011 рік.
12. Фізика (профільний рівень, за навчальною програмою авторського колективу під керівництвом Локтева В.М.) : підруч. для 11 кл. загальної середньої освіти / Т.М, Засекіна, Д.О. Засекін. – К. : УОВЦ «Оріон»,

2019. – 304 с. : іл.

13. Фізика (рівень стандарт, за навчальною програмою авторського колективу під керівництвом Локтева В.М.) ; підруч. для 11 кл. закл. загал. серед. освіти / [Бар'яхтар В.Г., Довгий С.О., Божинова Ф.Я., Кірюхіна О.О.] ; за ред Бар'яхтара В.Г., Довгого С.О. – Харків ; Вид-во «Ранок», 2019 – 272 с. : іл., фот.
14. Фізика. : учебн. для 11 кл. общеобразоват. учебн. заведений : уровень стандарт / Е.В. Коршак, А.И. Ляшенко, В.Ф. Савченко; пер.с укр. – К. : Генеза, 2011. – 256 с. : ил.
15. Сайт вчителя фізики та інформатики Нуся Андрія Анатолійовича [Електронний ресурс] / А.А. Нусь // – Режим доступу: <http://www.andriy-nus.te.sch.in.ua/>

## ДОДАТКИ

### Додаток 1. Навчальні програми. 11 клас

#### Навчальна програма для академічного рівня (4 години на тиждень)

<b>Розділ 1. Електродинаміка</b>	
<p><i>Знаннєвий компонент</i></p> <p><i>Оперує поняттями і термінами:</i> точковий заряд, електризація тіл, електричний заряд, електричне поле, закон Кулона, лінії напруженості електричного поля, напруженість електричного поля, потенціал та різниця потенціалів, енергія електричного поля, електрична ємність, конденсатор, постійний електричний струм, джерело струму, сторонні сили, сила струму, ЕРС, опір провідника, надпровідність, потужність електричного струму; послідовне і паралельне з'єднання провідників; закон Ома, закон Джоуля-Ленца, носії електричного струму в різних середовищах, дірка, електронно-дірковий перехід, електроліти, електролітична дисоціація, електроліз, закон Фарадея, іонізація газів, газовий розряд та його види, термоелектронна емісія, магнітна взаємодія, вектор магнітної індукції, сила Ампера, сила Лоренца, явище електромагнітної індукції, магнітний потік, правило Ленца, закон електромагнітної індукції, явище самоіндукції, індуктивність, енергія магнітного поля струму.</p> <p><i>Пояснює:</i> властивості електричного поля, принцип суперпозиції, зв'язок напруженості електричного поля з різницею потенціалів; сутність силової та енергетичної характеристик електричного і магнітного поля, закон Ома для</p>	<p>Електромагнітна взаємодія. Електричне поле. Напруженість електричного поля. Принцип суперпозиції. Електрична взаємодія точкових зарядів. Закон Кулона.</p> <p>Речовина в електричному полі. Провідники і діелектрики в електричному полі.</p> <p>Робота під час переміщення заряду в однорідному електричному полі. Потенціал електричного поля. Різниця потенціалів. Зв'язок напруженості електричного поля з різницею потенціалів.</p> <p>Електроємність. Електроємність плоского конденсатора. З'єднання конденсаторів. Енергія електричного поля. Використання конденсаторів у техніці.</p> <p>Постійний електричний струм. Електрорушійна сила. Закон Ома для повного кола. Розрахунок електричних кіл з послідовним і паралельним з'єднанням провідників. Робота та потужність електричного струму. Безпека під час роботи з електричними пристроями.</p> <p>Електричний струм у металах. Залежність питомого опору від температури. Надпровідність.</p> <p>Електропровідність напівпровідників. Власна і домішкова провідність напівпровідників. Електронно-дірковий перехід: його властивості і застосування. Напівпровідникова елементна база сучасної</p>

повного кола, природу електричного струму в металах, електролітах, газах, напівпровідниках, вакуумі, електронну провідність металів та електропровідність напівпровідників, властивості плазми; природу електромагнітної взаємодії, дію магнітного поля на провідник зі струмом, рухомі заряджені частинки, закон електромагнітної індукції, принцип дії електричних двигунів.

*Діяльнісний компонент*

*Розв'язує задачі:* на застосування формул напруженості електричного поля, напруженості поля точкового заряду, принципу суперпозиції полів; ємності конденсатора, енергії зарядженого конденсатора; на закон Ома для повного кола; на розрахунок електричних кіл з послідовним і паралельним з'єднанням провідників, визначення роботи та потужності електричного струму; на взаємодію магнітного поля з провідником зі струмом, застосування формул сили Ампера, сили Лоренца, закону електромагнітної індукції, ЕРС самоіндукції, енергії магнітного поля.

*Визначає* напрям індукційного струму, сили Лоренца та Ампера; *Зображує* електричне і магнітне поле за допомогою силових ліній, схеми з'єднань.

*Дотримується* правил безпеки життєдіяльності під час роботи з електричними приладами та обладнанням.

*Експериментально* визначає ЕРС джерела струму, досліджує електричні кола з різними елементами, явища електромагнітної індукції.

*Ціннісний компонент*

Оцінює перспективи технічного використання: напівпровідникових

мікроелектроніки.

Електричний струм у розчинах і розплавах електролітів. Електроліз та його закони.

Газові розряди та їх застосування. Плазма.

Електричний струм у вакуумі. Термоелектронна емісія.

Застосування електричного струму у різних середовищах у техніці і технологіях.

Електрична і магнітна взаємодії. Взаємодія провідників зі струмом. Магнітне поле струму. Лінії магнітного поля прямого і колового струмів. Індукція магнітного поля. Потік магнітної індукції.

Дія магнітного поля на провідник зі струмом. Сила Ампера. Дія магнітного поля на рухомі заряджені частинки. Сила Лоренца. Принцип дії електричних двигунів.

Електромагнітна індукція. Магнітний потік. Закон електромагнітної індукції. Самоіндукція. Індуктивність. Енергія магнітного поля. Використання явища електромагнітної індукції в сучасній техніці і технологіях.

*Рекомендовані демонстрації*

1. Електричне поле заряджених кульок.
2. Будова й дія конденсатора постійної та змінної ємності.
3. Енергія зарядженого конденсатора.
4. Залежність сили струму від ЕРС джерела та повного опору кола.
5. Дія магнітного поля на струм.
6. Електромагнітна індукція. Правило Ленца.
7. Залежність ЕРС індукції від

<p>приладів; електричного струму в різних середовищах; магнітного поля в медицині; магнітних властивостей речовини; енергоефективність різних електроприладів; усвідомлює необхідність та основні принципи енергозбереження в побуті.</p>	<p>швидкості зміни магнітного потоку. 8. Залежність ЕРС самоіндукції від швидкості зміни сили струму в колі та індуктивності провідника.</p>
<p><b>Навчальні проекти</b></p>	
<p><b>Практикум із розв'язування задач</b></p>	
<p><b>Лабораторний практикум</b></p>	<p><i>Орієнтовна тематика експериментальних робіт</i> Визначення енергії зарядженого конденсатора та його ємності. Перевірка законів послідовного та паралельного з'єднання провідників. Визначення ЕРС та внутрішнього опору джерела струму. Розширення меж вимірювання амперметра та вольтметра. Дослідження властивостей р-п переходу. Дослідження електричного кола з напівпровідниковим діодом Визначення електрохімічного еквіваленту речовини. Дослідження явища електромагнітної індукції.</p>

### Навчальна програма для профільного рівня

(6 годин на тиждень)

Очікувані результати	Орієнтовний зміст навчального матеріалу
<b>Розділ 1. Електродинаміка</b>	
<p><i>Знанневий компонент</i> <i>Оперує поняттями і термінами:</i> точковий заряд, електризація тіл, електрично ізольована система тіл, електричний заряд, електричне поле, закон Кулона, лінії напруженості електричного поля, напруженість електричного поля, потенціал та</p>	<p>Предмет і методи електродинаміки. Електричне поле у вакуумі: електричний заряд, взаємодія електричних зарядів, закон Кулона, електричне поле, напруженість електричного поля, робота сил електростатичного поля, потенціальний характер</p>

різниця потенціалів, енергія електричного поля, густина енергії електричного поля, електрична ємність, конденсатор, вільні і зв'язані заряди, відносна діелектрична проникність середовища; поляризація діелектрика; постійний електричний струм, джерело струму, сторонні сили, сила струму, ЕРС, опір провідника, потужність електричного струму; послідовне і паралельне з'єднання провідників; закон Ома, правила Кірхгофа, закон Джоуля-Ленца, ККД електричного кола, носії електричного струму в різних середовищах, дірка, електронно-дірковий перехід, електроліти, електролітична дисоціація, електроліз, закон Фарадея, іонізація газів, газовий розряд та його види, надпровідність, магнітна взаємодія, вектор магнітної індукції, закон Ампера, сила Ампера, сила Лоренца, магнітна проникність середовища; магнітна проникність речовини, діамагнетика, парамагнетика, феромагнетика, постійні магніти, температура Кюрі, електромагніти, магнітний момент, явище електромагнітної індукції, досліди М. Фарадея, правило Ленца, закон електромагнітної індукції, вихрові струми, явище самоіндукції, індуктивність, енергія магнітного поля струму, густина енергії магнітного поля.

*Пояснює:* закон збереження електричного заряду, закон Кулона, межі їх застосування, принцип суперпозиції, зв'язок напруженості електричного поля з різницею потенціалів; сутність силової та енергетичної характеристик електричного та магнітного полів, вплив провідників і діелектриків на

електростатичного поля, потенціал та різниця потенціалів.

Енергія взаємодії електричних зарядів, енергія електричного поля, густина енергії електричного поля. Електричне поле у речовині: провідники в електричному полі, електрична ємність, конденсатори, діелектрики в електричному полі, поляризація діелектриків, діелектрична проникність, електрети і сегнетоелектрики, п'єзоелектрики, рідкі кристали в електричному полі.

Постійний електричний струм: електричний струм та умови його існування, закон Ома для ділянки кола, з'єднання провідників, сторонні сили, електрорушійна сила, закон Ома для неоднорідної ділянки кола та повного кола, коротке замикання, правила Кірхгофа та їх застосування, робота і потужність електричного струму, тепла дія електричного струму, закон Джоуля-Ленца, ККД електричного кола, заходи та засоби безпеки під час роботи з електричними пристроями.

Електрокари.

Електричний струм в твердих тілах (провідність металів та напівпровідників, електричні явища в контактах та їх застосування), вакуумі, рідинах (електроліти, електролітична дисоціація, електроліз, закон Фарадея, застосування електролізу) та газах (іонізація газів, газовий розряд та його види, поняття про плазму та її використання).

Електромагнетизм (електромагнітна взаємодія, закон Ампера, магнітне поле струму, магнітна індукція, лінії



електричне поле; закон Ома для ділянки кола і повного кола, дії електричного струму, передачу потужності від джерела до споживача; основні положення електронної теорії провідності металів, залежність опору металевого провідника від температури, природу електричного струму в металах, електролітах, газах, напівпровідниках, вакуумі, електричні явища в контактах та їх застосування, властивості плазми; природу електромагнітної взаємодії, дію магнітного поля на провідник зі струмом та електрично заряджені частинки, рух заряджених частинок в магнітному полі; магнітні властивості речовин, закон електромагнітної індукції, явище самоіндукції, індуктивність.

*Діяльний компонент*

*Застосовує* отримані знання для безпечного використання побутових електричних приладів і технічних пристроїв.

*Розв'язує* задачі (різних видів і типів, у тому числі комбіновані з кількох розділів фізики) на: застосування знань про силові та енергетичні характеристики електричного поля, принцип суперпозиції полів; ємність конденсатора, еквівалентні ємності при різних з'єднаннях конденсаторів, енергію зарядженого конденсатора; на закон Ома для повного кола з послідовним і паралельним з'єднанням провідників, правила Кірхгофа, закон Джоуля-Ленца, роботу та потужність електричного струму, ККД, силу Лоренца та Ампера, закон електромагнітної індукції.

*Визначає* напрям індукції магнітного поля, індукційного струму, сили

магнітної індукції прямого та колового струмів, однорідне магнітне поле, потік магнітної індукції, дія магнітного поля на рухомі заряджені частинки, використання сили Лоренца; контур зі струмом в магнітному полі, магнітний момент контуру зі струмом). Постійне магнітне поле в речовині (магнітні властивості речовини, магнітна проникність речовини, діамагнетика, парамагнетика, феромагнетика, постійні магніти, температура Кюрі, електромагніти та їх застосування, вплив магнітного поля на живі організми.)

Електромагнітна індукція (явище електромагнітної індукції, досліди М. Фарадея, правило Ленца, закон електромагнітної індукції, вихрові струми, явище самоіндукції, індуктивність, енергія магнітного поля струму, густина енергії магнітного поля).

Використання явища електромагнітної індукції в сучасній техніці: детекторі металу по аеропорту, в поїзді на магнітній подушці, побутових СВЧ-печах, записках і відтворення інформації.

*Рекомендовані демонстрації*

Електричне поле заряджених кульок.

Будова й дія конденсатора постійної та змінної ємності.

Енергія зарядженого конденсатора. Залежність сили струму від ЕРС джерела та повного опору кола.

Дія магнітного поля на струм.

Електромагнітна індукція. Правило Ленца.

Залежність ЕРС індукції від

<p>Лоренца та Ампера.  <i>Експериментально досліджує</i>  електричні кола з різними елементами,  явище електромагнітної індукції.  <i>Зображує:</i> електричне та магнітне поле  за допомогою силових ліній, схеми  з'єднань елементів електричного кола.</p> <p><i>Ціннісний компонент</i>  Висловлює судження щодо  застосування напівпровідників в  сучасних комп'ютерах та гаджетах;  використання електричного струму в  різних середовищах; магнітного поля та  магнітних властивостей речовини в  техніці, медицині та в побуті; вплив  магнітного та електричного полів на  живі організми.</p>	<p>швидкості зміни магнітного потоку.  Залежність ЕРС самоіндукції від  швидкості зміни сили струму в колі  та індуктивності провідника.</p>
<p><b><i>Навчальні проекти</i></b></p>	
<p><b><i>Практикум із розв'язування задач</i></b></p>	

## Додаток 2. Плани- конспекти уроків різного типу

### Урок 5. Робота і потужність електричного струму. Закон Джоуля – Ленца Мета уроку:

**Знаннєва:** Поглибити та закріпити знання учнів про роботу, потужність електричного струму, закон Джоуля – Ленца; з'ясувати характер залежності між енергією, що виділяється на певній ділянці кола, силою струму й опором цієї ділянки; формувати навички розв'язувати задачі.

**Розвивальна.** Розвивати вміння узагальнювати і систематизувати знання; розвивати необхідність постійного самовдосконалення і самоосвіти.

**Виховна.** Виховувати уважність, зібраність, спостережливість.

**Тип уроку:** урок засвоєння нових знань.

**Наочність і обладнання:** навчальна презентація, комп'ютер, підручник.

### Хід уроку

#### I. ОРГАНІЗАЦІЙНИЙ ЕТАП

#### II. АКТУАЛІЗАЦІЯ ОПОРНИХ ЗНАНЬ ТА ВМІНЬ

Дія всіх відомих вам електричних приладів відбувається за рахунок електричної енергії. В результаті цього одержуємо світло, теплоту, звук, механічний рух, тобто різні види енергії.

Все це приклади роботи електричного струму. У всіх цих випадках електрична енергія перетворюється в інший вид енергії (світлову, теплову, магнітну, хімічну).

Яку роботу виконує електричний струм, проходячи по тій або іншій ділянці кола?

#### III. ВИВЧЕННЯ НОВОГО МАТЕРІАЛУ

##### 1. Робота електричного струму

Розглянемо ділянку кола, на яку подано напругу  $U$  і в якій тече постійний електричний струм силою  $I$ .

$$U = \frac{A}{q} \quad \Rightarrow \quad A = Uq \qquad I = \frac{q}{t} \quad \Rightarrow \quad q = It \qquad A = UIt$$

Одиниця роботи струму в СІ – джоуль:

$$[A] = 1 \text{ Дж} = 1 \text{ В} \cdot \text{А} \cdot \text{с}$$

##### 2. Потужність електричного струму

###### Проблемне питання

• На побутових приладах є написи: на електричній лампі «230 В; 12 Вт; на електропрасці «потужність електричної праски 2200 Вт». Що ці написи означають?

**Потужність струму  $P$  – фізична величина, яка чисельно дорівнює роботі струму за одиницю часу.**

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

$P$  – потужність електричного струму;  $A$  – робота струму за час  $t$ .

Одиниця потужності в СІ – **ват**:

$$[P] = 1 \text{ Вт} = 1 \frac{\text{Дж}}{\text{с}}$$

$$P = \frac{UIt}{t} = UI \quad 1 \text{ Вт} = 1 \text{ В} \cdot \text{А}$$

$U$  – напруга на ділянці кола, на якій визначають потужність струму;

$I$  – сила струму в ділянці.

За будь-якого з'єднання споживачів загальна потужність струму в усьому колі дорівнює сумі потужностей окремих споживачів.

Вимірюючи потужність струму в споживачі, ми визначаємо його *фактичну потужність*. Потужність, яку зазначено в паспорті електропристрою (або на пристрої), називають *номінальною потужністю*.

### **Проблемне питання**

• Чи існують прилади для вимірювання потужності та роботи електричного струму?

*Ватметр* – прилад, призначений для вимірювання потужності електричного струму в колі.

*Електролічильник* – це прилад для прямого вимірювання роботи струму.

Поряд із цифровим табло електролічильника написано: кВт · год.

$$1 \text{ кВт} \cdot \text{год} = 1000 \frac{\text{Дж}}{\text{с}} \cdot 3600 \text{ с} = 3600000 \text{ Дж} = 3,6 \cdot 10^6 \text{ Дж}$$

### **3. Закон Джоуля – Ленца**

Будь-який провідник під час проходження струму нагрівається. Це відбувається тому, що вільні заряджені частинки в провіднику розганяються електричним полем і, зіштовхуючись з іншими частинками, передають їм частину своєї кінетичної енергії. Унаслідок цього внутрішня енергія провідника збільшується – провідник нагрівається.

Теплову дію струму вивчали англійський фізик Джеймс Прескотт Джоуль (1818–1889) і російський фізик Емілій Християнович Ленц (Генріх Ленц) (1804–1865). Незалежно один від одного вони дійшли однакового висновку.

#### **Закон Джоуля – Ленца**

**Кількість теплоти  $Q$ , яка виділяється в провіднику зі струмом, прямо пропорційна квадрату сили струм  $I$ , опору провідника  $R$  та часу  $t$  проходження струму:**

$$Q = I^2 R t$$

$Q$  – кількість теплоти, яка виділяється провідником зі струмом;  $I$  – сила струму у провіднику;  $R$  – опір провідника;  $t$  – час проходження струму.

Інші формули впливають із закону Джоуля – Ленца:

$$Q = UIt; \quad Q = \frac{U^2}{R} t$$

*Можна користуватися тільки в тому випадку, коли вся електрична енергія витрачається на нагрівання.*

*Якщо ж на ділянці кола є споживачі енергії, в яких виконується механічна робота або відбуваються хімічні реакції, даними формулами користуватися не можна.*

#### 4. Електронагрівальні пристрої

##### Проблемне питання

- *Яке практичне значення має закон Джоуля – Ленца?*

Теплова дія струму використовується в різних електронагрівальних пристроях (праски, плити, чайники, електричні каміни, рефлектори, лампи накаливання). Основною частиною будь-якого електронагрівника є нагрівальний елемент.

Проаналізувавши закон Джоуля – Ленца, доходимо висновку: якщо в різних ділянках кола сила струму однакова, то в ділянці, що має більший опір, виділяється більша кількість теплоти. Отже, збільшивши опір певної ділянки кола, можна досягти того, що майже вся теплота буде виділятися саме тут. Так працюють електронагрівальні пристрої, нагрівальний елемент яких має невелику площу поперечного перерізу і виготовлений із матеріалу з великим питомим опором (ніхром, константан). А от підвідні проводи, навпаки, мають порівняно велику площу поперечного перерізу й виготовлені із матеріалу з малим питомим опором (мідь, алюміній, сталь). Унаслідок цього опір підвідних проводів набагато менший, ніж опір нагрівального елемента, і тому вони майже не нагріваються.

#### IV. ЗАКРІПЛЕННЯ НОВИХ ЗНАНЬ І ВМІНЬ

1. Яку роботу виконало електричне поле, якщо через поперечний переріз провідника пройшов заряд 3 Кл, а напруга на провіднику склала 2 В?

**Дано:**

$$q = 3 \text{ Кл}$$

$$U = 2 \text{ В}$$

$$A = ?$$

**Розв'язання**

$$U = \frac{A}{q} \Rightarrow A = Uq$$

$$[A] = \text{В} \cdot \text{Кл} = \text{В} \cdot \text{А} \cdot \text{с} = \text{Дж} \quad A = 2 \cdot 3 = 6 \text{ (Дж)}$$

**Відповідь:**  $A = 6 \text{ Дж}$ .

2. Під напругою 24 В електродвигун насоса працював 10 хв, електричний струм виконав роботу 115,2 кДж. Знайдіть силу струму в обмотці електродвигуна.

**Дано:**

$$U = 24 \text{ В}$$

$$t = 10 \text{ хв} = 600 \text{ с}$$

$$A = 115,2 \text{ кДж}$$

$$= 115,2 \cdot 10^3 \text{ Дж}$$

$$I = ?$$

**Розв'язання**

$$A = UIt \Rightarrow I = \frac{A}{Ut}$$

$$[I] = \frac{\text{Дж}}{\text{В} \cdot \text{с}} = \frac{\text{В} \cdot \text{А} \cdot \text{с}}{\text{В} \cdot \text{с}} = \text{А} \quad I = \frac{115,2 \cdot 10^3}{24 \cdot 600} = 8 \text{ (А)}$$

**Відповідь:**  $I = 8 \text{ А}$ .

3. За 10 с через поперечний переріз провідника пройшов заряд 20 Кл. Знайдіть потужність струму, якщо напруга на кінцях провідника становила 12 В.

**Дано:**

$$t = 10 \text{ с}$$

$$q = 20 \text{ Кл}$$

$$U = 12 \text{ В}$$

$$P = ?$$

**Розв'язання**

$$P = UI \quad I = \frac{q}{t} \Rightarrow P = \frac{Uq}{t}$$

$$[P] = \frac{\text{В} \cdot \text{Кл}}{\text{с}} = \frac{\text{В} \cdot \text{А} \cdot \text{с}}{\text{с}} = \text{В} \cdot \text{А} = \text{Вт}$$

$$P = \frac{12 \cdot 20}{10} = 24 \text{ (Вт)}$$

**Відповідь:**  $P = 24 \text{ Вт}$ .

4. Спіраль електричної плитки вкоротили в два рази. Як змінилася потужність плитки?

**Дано:**

$$l_1 = 2l_2$$

$$\frac{P_1}{P_2} = ?$$

**Розв'язання**

$$P = UI \quad I = \frac{U}{R} \Rightarrow P = \frac{U^2}{R} \quad R = \rho \frac{l}{S}$$

$$P_1 = \frac{U^2}{R_1} = \frac{U^2 S}{\rho l_1} \quad P_2 = \frac{U^2}{R_2} = \frac{U^2 S}{\rho l_2}$$

$$\frac{P_1}{P_2} = \frac{\frac{U^2 S}{\rho l_1}}{\frac{U^2 S}{\rho l_2}} = \frac{l_2}{l_1} = \frac{l_2}{2l_2} = \frac{1}{2}$$

**Відповідь:**  $\frac{P_1}{P_2} = \frac{1}{2}$ ; потужність збільшилася в 2 рази.

5. Дві електричні лампи з опорами 160 Ом і 240 Ом увімкнені паралельно в мережу з напругою 120 В. Визначте потужність кожної лампи.

**Дано:**

$$R_1 = 160 \text{ Ом}$$

$$R_2 = 240 \text{ Ом}$$

$$U = 120 \text{ В}$$

$$P_1 = ?$$

$$P_2 = ?$$

**Розв'язання**

$$P = UI \quad I = \frac{U}{R} \Rightarrow P = \frac{U^2}{R}$$

$$U = U_1 = U_2$$

$$P_1 = \frac{U^2}{R_1} \quad P_2 = \frac{U^2}{R_2} \quad [P] = \frac{\text{В}^2}{\text{Ом}} = \frac{\text{В}^2}{\frac{\text{В}}{\text{А}}} = \text{В} \cdot \text{А}$$

$$= \text{Вт}$$

$$P_1 = \frac{120^2}{160} = 90 \text{ (Вт)} \quad P_2 = \frac{120^2}{240} = 60 \text{ (Вт)}$$

**Відповідь:**  $P_1 = 90 \text{ Вт}; P_2 = 60 \text{ Вт}$ .

6. Дві електричні лампи з опорами 160 Ом і 240 Ом увімкнені послідовно в мережу напругою 120 В. Яка потужність кожної лампи?

**Дано:**

$$R_1 = 160 \text{ Ом}$$

$$R_2 = 240 \text{ Ом}$$

**Розв'язання**

$$P = UI \quad U = IR \Rightarrow P = I^2 R$$

$$U = 120 \text{ В}$$

$$P_1 - ?$$

$$P_2 - ?$$

$$I = I_1 = I_2 \quad P_1 = I^2 R_1 \quad P_2 = I^2 R_2$$

$$I = \frac{U}{R} \quad R = R_1 + R_2 \quad I = \frac{U}{R_1 + R_2}$$

$$P_1 = \frac{U^2 R_1}{(R_1 + R_2)^2} \quad P_2 = \frac{U^2 R_2}{(R_1 + R_2)^2}$$

$$[P] = \frac{\text{В}^2 \cdot \text{Ом}}{(\text{Ом} + \text{Ом})^2} = \frac{\text{В}^2}{\text{Ом}} = \frac{\text{В}^2}{\frac{\text{В}}{\text{А}}} = \text{В} \cdot \text{А} = \text{Вт}$$

$$P_1 = \frac{120^2 \cdot 160}{(160 + 240)^2} = 14,4 \text{ (Вт)}$$

$$P_2 = \frac{120^2 \cdot 240}{(160 + 240)^2} = 21,6 \text{ (Вт)}$$

**Відповідь:**  $P_1 = 14,4 \text{ Вт}$ ;  $P_2 = 21,6 \text{ Вт}$ .

## V. ПІДБИТТЯ ПІДСУМКІВ УРОКУ

### Бесіда за питаннями

1. За якою формулою обчислюють роботу струму? У яких одиницях її подають?
2. Доведіть, що  $1 \text{ кВт} \cdot \text{год} = 3,6 \cdot 10^6 \text{ Дж}$ .
3. Сформулюйте закон Джоуля – Ленца. Чому він має таку назву?
4. Які формули для розрахунку кількості теплоти, що виділяється в провіднику під час проходження струму, ви знаєте? Чи завжди можна ними користуватися?
5. Дайте характеристику потужності струму як фізичної величини.

## VI. ДОМАШНЄ ЗАВДАННЯ

Опрацювати § 3, Вправа № 3 (1, 2)

## Урок 12. «Електричний струм в електролітах. Електроліз»

### Мета уроку:

**Знаннєва:** Формувати уявлення про природу електричного струму в розчинах і розплавах електролітів та процесу електролізу; з'ясувати фізичний зміст законів електролізу Фарадея, поняття електрохімічного еквівалента; ознайомити учнів з практичним застосуванням електролізу.

**Розвивальна.** Розвивати уявлення про електричний струм у різних середовищах. Сприяти збагаченню словникового запасу; формуванню пізнавальної самостійності; розвитку спостережливості, уваги, пам'яті, уяви, мислення; виробленню звички до планування своїх дій.

**Виховна.** Виховувати уважність, зібраність, спостережливість.

**Тип уроку:** урок засвоєння нових знань.

**Наочність і обладнання:** навчальна презентація, комп'ютер, підручник.

### Хід уроку

## I. ОРГАНІЗАЦІЙНИЙ ЕТАП

## II. АКТУАЛІЗАЦІЯ ОПОРНИХ ЗНАНЬ ТА ВМІНЬ

Як ви думаєте чи проводить вода електричний струм?

## III. ВИВЧЕННЯ НОВОГО МАТЕРІАЛУ

### 1. Електроліти

#### *Проведемо дослід*

У посудину з дистильованою водою опустимо два електроди. Зберемо коло із джерела струму, ключа, лампочки та чутливого амперметра. Якщо замкнути коло, то стрілка амперметра не відхилиться. Це означає, що дистильована вода не містить вільних носіїв заряду й у колі немає струму.

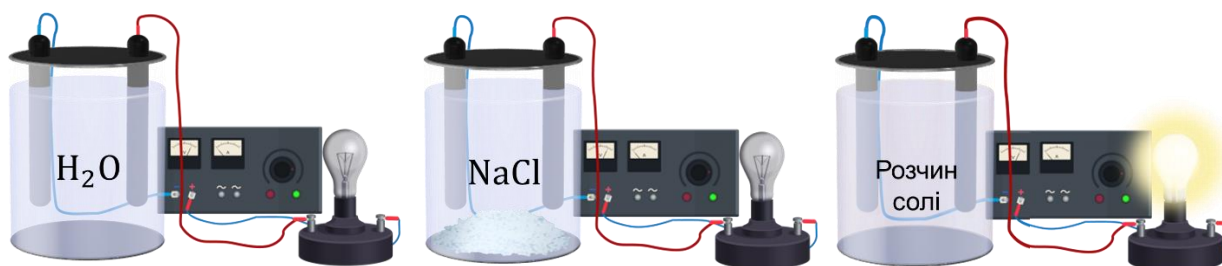
У такий же спосіб можна переконатися, що суха кам'яна сіль так само є діелектриком.

А тепер «об'єднаємо» ці два діелектрики: насиплемо у посудину з водою дві-три ложки кам'яної солі. Ми побачимо, що лампочка загориться, причому в міру розчинення солі розжарення лампи збільшується.

Цей дослід доводить, що підсолена вода є провідником, причому носії заряду з'являються під час розчинення солі у воді.

За допомогою подібних дослідів можна визначити, що практично усі водні розчини солей, кислот і лугів є провідниками електричного струму.

**Примітка.** У цьому досліді з NaCl слід мати на увазі що в наслідок протікання струму, буде виділятися газ  $\text{Cl}_2$ , що є отруєною речовиною. Тому час проведення досліді декілька секунд, тільки спостерігаємо що лампа горить, а отже струм протікає.



**Електроліти – речовини, водні розчини або розплави яких проводять електричний струм.**

### 2. Електричний струм в електролітах

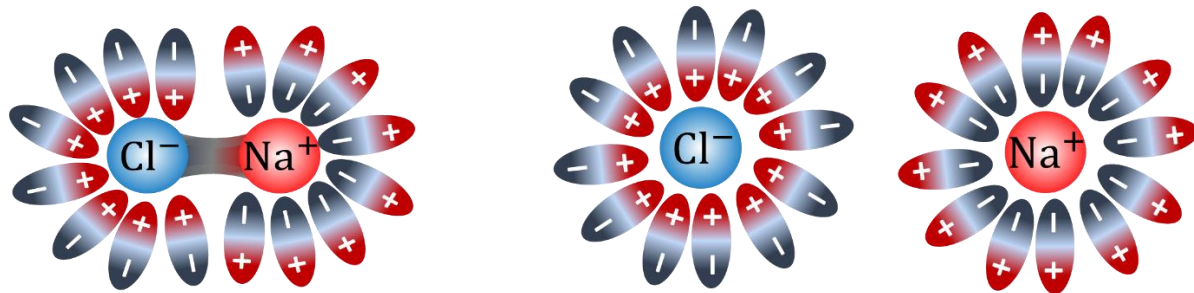
#### *Проблемне питання*

- Що відбувається в розчині електроліту коли електричне поле відсутнє?

Коли кристалик кухонної солі потрапляє у воду, полярні молекули води оточують йони Натрію та йони Хлору і відокремлюють їх від кристалика.

У результаті в розчині з'являються вільні заряджені частинки – позитивні й негативні йони.





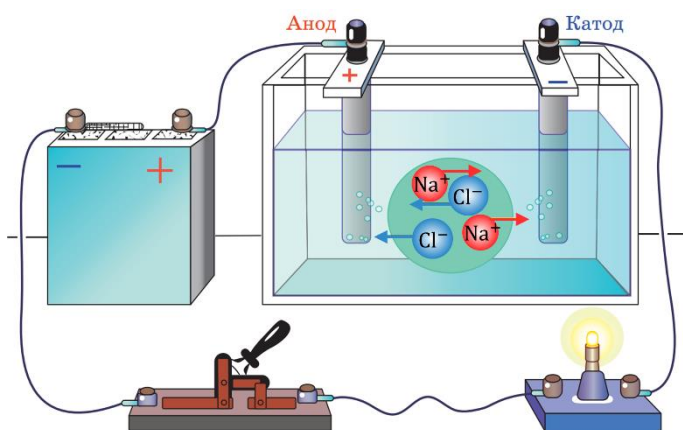
**Електролітична дисоціація** – це розпад електронейтральної речовини на позитивні та негативні йони внаслідок дії полярних молекул розчинника.

У розчині може відбуватися також процес, що називається рекомбінацією.

**Рекомбінація** – процес з'єднання йонів у нейтральні молекули.

### *Проблемне питання*

- Що ж відбудеться, якщо в розчині електроліту створити електричне поле?



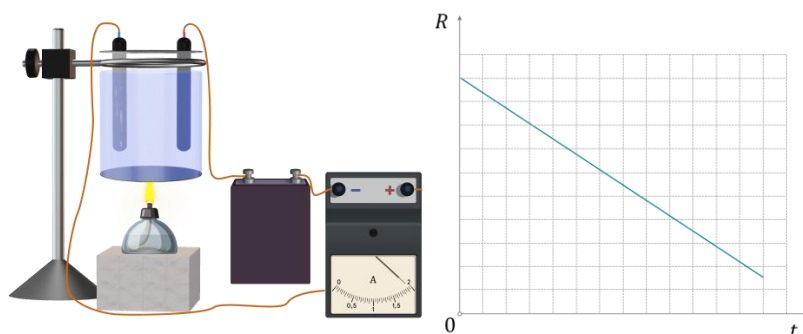
*струм.*

Якщо в розчин або розплав помістити електроди, приєднані до різнойменних полюсів джерела струму, то, як і вільні електрони в металах, йони дрейфуватимуть у певному напрямку: позитивні йони (катіони) – до негативного електрода (катода); негативні йони (аніони) – до позитивного електрода (анода). Тобто в розчині виникне *електричний*

**Електричний струм у розчинах і розплавах електролітів** – це напрямлений рух вільних йонів (позитивних і негативних йонів).

Зазначимо, що зі збільшенням температури кількість йонів у електроліті збільшується, відповідно збільшується й сила струму.

*При нагріванні електроліту сила струму збільшується, отже опір зменшується.*

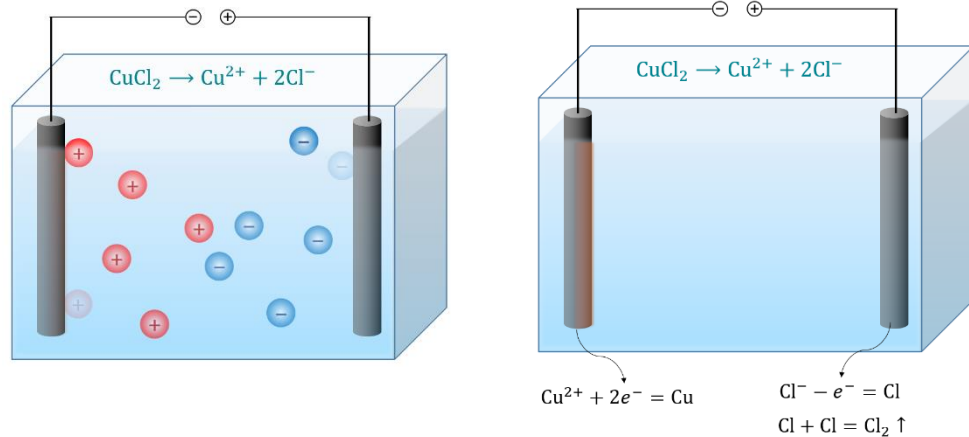


### **3. Електроліз**

Якщо струм проходить крізь розчин мідного купоросу, то із часом виявимо, що на катоді утворився тонкий шар міді.

На аноді негативно заряджені йони віддають свої зайві електрони (у хімії цей процес називається окисною реакцією), а на катоді позитивні йони одержують

відсутні електрони (відновна реакція).



**Електроліз** – це процес виділення речовин на електродах, пов'язаний з окисно-відновними реакціями, які відбуваються на електродах під час проходження струму.

#### 4. Закони Фарадея

У 1833-1834 рр. видатний англійський учений Майкл Фарадей (1791-1867) експериментально встановив кількісні співвідношення явища електролізу.

**Перший закон електролізу (перший закон Фарадея):**

**Маса речовини, яка виділяється на електроді під час електролізу, прямо пропорційна силі струму  $I$  та часу  $t$  його проходження через електроліт:**

$$m = kIt \quad m = kq$$

$q$  – заряд, що пройшов через електроліт

$k$  – електрохімічний еквівалент речовини

**Проблемне питання**

- Як визначається та від чого залежить електрохімічний еквівалент речовини?

**Другий закон електролізу (другий закон Фарадея):**

**Електрохімічний еквівалент  $k$  прямо пропорційний відношенню молярної маси  $M$  елемента до валентності  $n$  цього елемента в даній хімічній сполуці:**

$$k = \frac{1}{F} \cdot \frac{M}{n}$$

$F$  – стала Фарадея ( $F = |e|N_A$ )

Одиниця електрохімічного еквівалента в СІ – кілограм на кулон:  $[k] = \frac{\text{кг}}{\text{Кл}}$

**Електрохімічний еквівалент деяких речовин,  $10^{-6}$  кг/Кл**

Алюміній ( $\text{Al}^{3+}$ )	0,093	Натрій ( $\text{Na}^+$ )	0,24
Залізо ( $\text{Fe}^{3+}$ )	0,193	Нікель ( $\text{Ni}^{2+}$ )	0,30
Водень ( $\text{H}^+$ )	0,0104	Срібло ( $\text{Ag}^+$ )	1,12
Кисень ( $\text{O}^{2-}$ )	0,0829	Хлор ( $\text{Cl}^-$ )	0,37
Мідь ( $\text{Cu}^+$ )	0,66	Хром ( $\text{Cr}^{3+}$ )	0,18
Мідь ( $\text{Cu}^{2+}$ )	0,33	Цинк ( $\text{Zn}^{2+}$ )	0,34

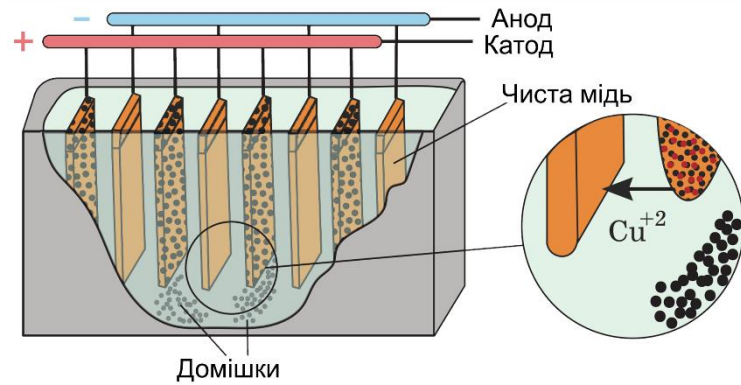
#### 5. Застосування електролізу

### Проблемне питання

• Яке практичне значення електролізу?

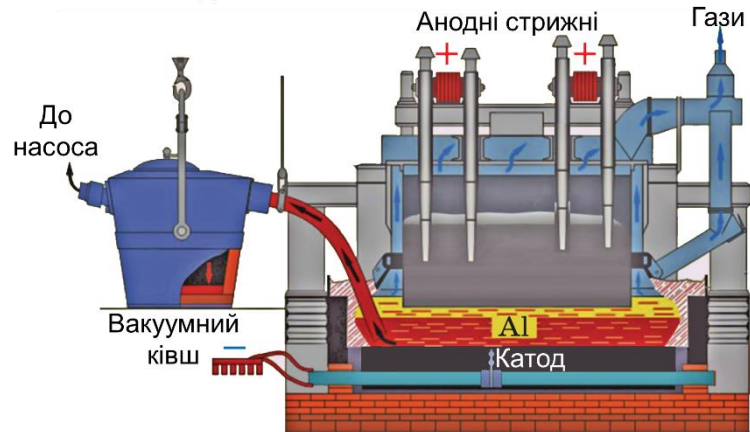
**Рафінування** – очищення металів за допомогою електролізу.

Рафінування міді: тонка пластинка чистої міді є катодом, товста пластинка неочищеної міді – анодом; ванна наповнена водним розчином купрум (II) сульфату.

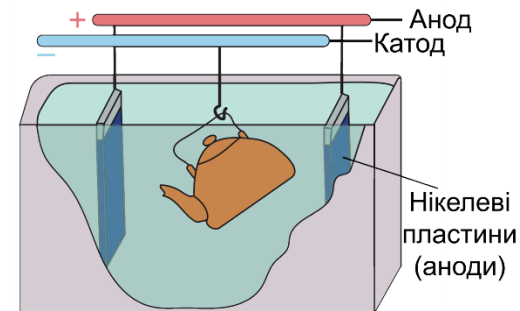


**Виробництво металів (цинк, алюміній, мідь тощо).**

Електролітом є розчин чи розплав солі або оксиду металічного елемента. Катодом слугують дно та стінки ванни, і метал збирається на дні ванни; анодом слугує вугільний блок.

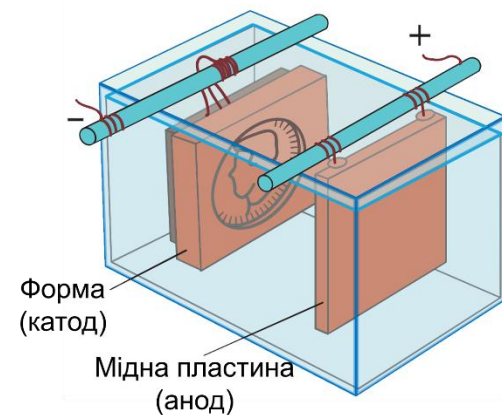


**Гальваностегія** – електролітичний спосіб покриття виробу тонким шаром металу (сріблення, хромування, позолочення, нікелювання). Предмет, який покривають металом, є катодом, металева пластинка – анодом.



**Гальванопластика** – це отримання за допомогою електролізу точних копій рельєфних виробів.

Восковий зліпок, покритий тонким шаром графіту, є катодом, срібна пластинка – анодом.



## IV. ЗАКРІПЛЕННЯ НОВИХ ЗНАТЬ І ВМІНЬ

1. Скільки двовалентної міді виділиться під час електролізу протягом 3 год, якщо сила струму становить 10 А?

Дано:

$$t = 3 \text{ год} \\ = 10,8 \cdot 10^3 \text{ с} \\ I = 10 \text{ А}$$

Розв'язання

$$m = kIt \\ [m] = \frac{\text{кг}}{\text{Кл}} \cdot \text{А} \cdot \text{с} = \frac{\text{кг}}{\text{Кл}} \cdot \text{Кл} = \text{кг}$$

$$k = 0,33 \cdot 10^{-6} \frac{\text{кг}}{\text{Кл}}$$

$$m = 0,33 \cdot 10^{-6} \cdot 10 \cdot 10,8 \cdot 10^3 = 35,64 \cdot 10^{-3} \text{ (кг)}$$

$m - ?$

**Відповідь:**  $m = 35,64 \text{ г}$ .

2. За 10 хв в електролітичній ванні виділилося 508 мг двовалентного металу. Визначте, який це метал, якщо сила струму під час електролізу становила 2,5 А.

**Дано:**

$$t = 10 \text{ хв} = 600 \text{ с}$$

$$m = 508 \text{ мг}$$

$$= 508 \cdot 10^{-6} \text{ кг}$$

$$I = 2,5 \text{ А}$$

$k - ?$

**Розв'язання**

$$m = kIt \quad \Rightarrow \quad k = \frac{m}{It}$$

$$[k] = \frac{\text{кг}}{\text{А} \cdot \text{с}} = \frac{\text{кг}}{\text{Кл}}$$

$$k = \frac{508 \cdot 10^{-6}}{2,5 \cdot 600} \approx 0,34 \cdot 10^{-6} \left( \frac{\text{кг}}{\text{Кл}} \right)$$

**Відповідь:**  $k \approx 0,34 \cdot 10^{-6} \frac{\text{кг}}{\text{Кл}}$ ; Цинк ( $\text{Zn}^{2+}$ ).

3. Визначте витрати електроенергії на рафінування 200 кг міді, якщо напруга на електродах електролітичної ванни становить 0,4 В. (Електролітичне рафінування – електроліз водних розчинів або сольових розплавів, що дозволяє одержувати метали високої чистоти.)

**Дано:**

$$m = 200 \text{ кг}$$

$$U = 0,4 \text{ В}$$

$$k = 0,33 \cdot 10^{-6} \frac{\text{кг}}{\text{Кл}}$$

$A - ?$

**Розв'язання**

$$A = UIt$$

$$m = kIt \quad \Rightarrow \quad I = \frac{m}{kt}$$

$$A = U \cdot \frac{m}{kt} \cdot t = \frac{Um}{k}$$

$$[A] = \frac{\text{В} \cdot \text{кг}}{\frac{\text{кг}}{\text{Кл}}} = \text{В} \cdot \text{А} \cdot \text{с} = \text{Дж}$$

$$A = \frac{0,4 \cdot 200}{0,33 \cdot 10^{-6}} \approx 242 \cdot 10^6 \text{ (Дж)}$$

**Відповідь:**  $A \approx 242 \text{ МДж}$ .

4. Дві електролітичні ванни з'єднані послідовно. Визначити, яка кількість тривалентного заліза виділиться в другій ванні за той самий час, за який у першій ванні виділилося 19,5 г двовалентного цинку.

**1 спосіб**

**Дано:**

$$k_{\text{з}} = 0,193 \cdot 10^{-6} \frac{\text{кг}}{\text{Кл}}$$

$$k_{\text{ц}} = 0,34 \cdot 10^{-6} \frac{\text{кг}}{\text{Кл}}$$

$$m_{\text{ц}} = 19,5 \text{ г}$$

**Розв'язання**

Ванни з'єднано послідовно:  $I = I_{\text{ц}} = I_{\text{з}}$

$$m = kIt \quad \Rightarrow \quad I = \frac{m}{kt}$$

$$= 19,5 \cdot 10^{-3} \text{ кг}$$

$m_3 - ?$

$$I_{\text{ц}} = \frac{m_{\text{ц}}}{k_{\text{ц}}t} \quad I_3 = \frac{m_3}{k_3t}$$

$$\frac{m_{\text{ц}}}{k_{\text{ц}}t} = \frac{m_3}{k_3t} \Rightarrow m_3 = m_{\text{ц}} \frac{k_3}{k_{\text{ц}}}$$

$$[m_3] = \text{кг} \cdot \frac{\frac{\text{Кл}}{\text{Кл}}}{\frac{\text{Кл}}{\text{Кл}}} = \text{кг}$$

$$m_3 = 19,5 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{0,193 \cdot 10^{-6}}{0,34 \cdot 10^{-6}} \approx 11 \cdot 10^{-3} \text{ (кг)}$$

**Відповідь:**  $m_3 \approx 11 \text{ г.}$

### 2 спосіб

**Дано:**

$$n_3 = 3$$

$$n_{\text{ц}} = 2$$

$$m_{\text{ц}} = 19,5 \text{ г}$$

$$= 19,5 \cdot 10^{-3} \text{ кг}$$

$$M_{\text{ц}} = 65,4 \cdot 10^{-3} \frac{\text{Кл}}{\text{Моль}}$$

$$M_3 = 55,8 \cdot 10^{-3} \frac{\text{Кл}}{\text{Моль}}$$

$m_3 - ?$

**Розв'язання**

Ванни з'єднано послідовно:  $I = I_{\text{ц}} = I_3$

$$m = kIt \quad k = \frac{1}{F} \cdot \frac{M}{n} \Rightarrow m = \frac{Mit}{Fn}$$

$$I = \frac{mFn}{Mt} \quad I_{\text{ц}} = \frac{m_{\text{ц}}Fn_{\text{ц}}}{M_{\text{ц}}t} \quad I_3 = \frac{m_3Fn_3}{M_3t}$$

$$\frac{m_{\text{ц}}Fn_{\text{ц}}}{M_{\text{ц}}t} = \frac{m_3Fn_3}{M_3t} \Rightarrow m_3 = m_{\text{ц}} \frac{n_{\text{ц}}M_3}{n_3M_{\text{ц}}}$$

$$[m_3] = \text{кг} \cdot \frac{\frac{\text{Кл}}{\text{Моль}}}{\frac{\text{Кл}}{\text{Моль}}} = \text{кг}$$

$$m_3 = 19,5 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{2 \cdot 55,8 \cdot 10^{-3}}{3 \cdot 65,4 \cdot 10^{-3}} \approx 11 \cdot 10^{-3} \text{ (кг)}$$

**Відповідь:**  $m_3 \approx 11 \text{ г.}$

5. Скільки часу потрібно для покриття електролітичним способом виробу шаром срібла товщиною 20 мкм, якщо площа поверхні виробу 200 см<sup>2</sup>, а сила струму під час електролізу дорівнює 0,5 А?

**Дано:**

$$h = 20 \text{ мкм}$$

$$= 20 \cdot 10^{-6} \text{ м}$$

$$S = 200 \text{ см}^2$$

$$= 2 \cdot 10^{-2} \text{ м}^2$$

$$I = 0,5 \text{ А}$$

$$k = 1,12 \cdot 10^{-6} \frac{\text{Кл}}{\text{Кл}}$$

$$\rho = 10,5 \cdot 10^3 \frac{\text{Кл}}{\text{м}^3}$$

**Розв'язання**

Масу шару срібла, отриманого за час  $t$ , одержимо із закону електролізу:  $m = kIt$

З іншого боку, цю саму масу можна виразити через площу пластинки і товщину шару срібла:  $m = \rho Sh$

Прирівняємо обидва вирази для маси:  $kIt = \rho Sh$

$t - ?$

$$t = \frac{\rho Sh}{kI} \quad [t] = \frac{\frac{\text{КГ}}{\text{М}^3} \cdot \text{М}^2 \cdot \text{М}}{\frac{\text{КГ}}{\text{КЛ}} \cdot \text{А}} = \frac{\text{КГ}}{\text{А} \cdot \text{с}} = \text{с}$$

$$t = \frac{10,5 \cdot 10^3 \cdot 2 \cdot 10^{-2} \cdot 20 \cdot 10^{-6}}{1,12 \cdot 10^{-6} \cdot 0,5} = 7500 \text{ (с)}$$

**Відповідь:**  $t = 2$  год 5 хв.

## V. ПІДБИТТЯ ПІДСУМКІВ УРОКУ

### Бесіда за питаннями

1. У чому полягає явище електролітичної дисоціації? Наведіть приклади.
2. Що таке електроліт?
3. Що являє собою електричний струм у розчинах і розплавах електролітів?
4. Опишіть процес електролізу.
5. Сформулюйте закони Фарадея.
6. Наведіть приклади застосування електролізу.

## VI. ДОМАШНЄ ЗАВДАННЯ

Опрацювати § 6, Вправа № 6 (2, 3)

### Урок 14 «Електричний струм у газах»

#### Мета уроку:

**Знаннєва:** Надати уявлення про природу струму в газах; розкрити фізичний зміст несамостійного та самостійного розрядів; ознайомити учнів з різними видами самостійного розряду в газах, з основними властивостями четвертого стану речовини – плазмою і технічним застосуванням газового розряду.

**Розвивальна.** Розвивати уявлення учнів про електричний струм в різних середовищах. Сприяти збагаченню словникового запасу; формуванню пізнавальної самостійності; розвитку спостережливості, уваги, пам'яті, уяви, мислення; виробленню звички до планування своїх дій.

**Виховна.** Виховувати уважність, зібраність, спостережливість.

**Тип уроку:** комбінований

**Наочність і обладнання:** навчальна презентація, комп'ютер, підручник.

### Хід уроку

#### I. ОРГАНІЗАЦІЙНИЙ ЕТАП

#### II. АКТУАЛІЗАЦІЯ ОПОРНИХ ЗНАТЬ ТА ВМІНЬ

Ми знаємо, що гази є діелектриками (в них немає вільних заряджених частинок).

За яких умов газ із діелектрика може перетворитися на провідник?

#### III. ВИВЧЕННЯ НОВОГО МАТЕРІАЛУ

##### 1. Електричний струм у газах

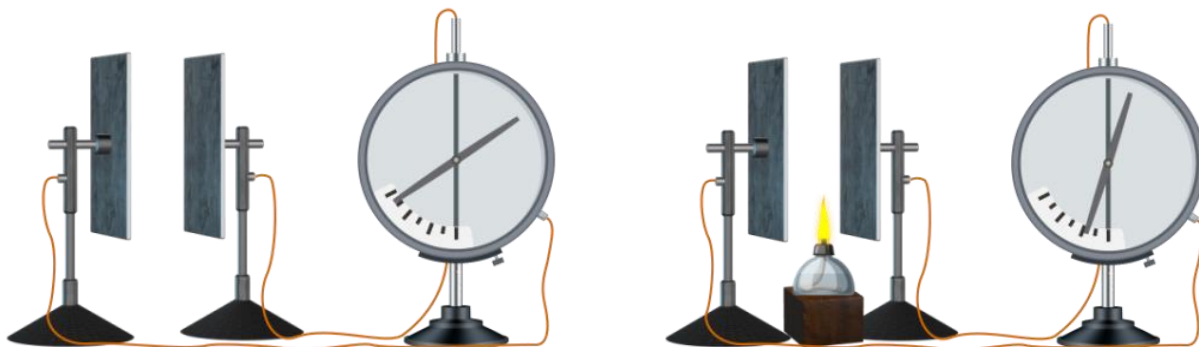
### ***Проведемо дослід***

Експеримент із вивчення провідності газів.

***За звичайних умов повітря не проводить електричного струму, оскільки є діелектриком.***

Помістимо між металевими пластинами запалену спиртівку – стрілка електроскопа відхилиться.

***У разі внесення в повітряний проміжок запаленої спиртівки повітря стає провідником.***

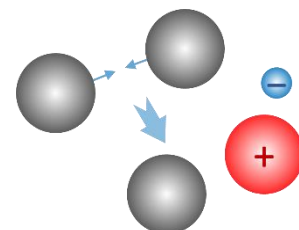


### ***Проблемне питання***

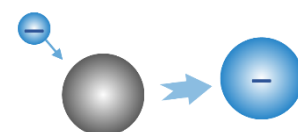
- Чому через повітря почав проходити електричний струм?

Гази складаються з електрично нейтральних атомів і молекул і за звичайних умов майже не містять вільних носіїв струму (за звичайних умов повітря є ізолятором).

Полум'я спиртівки нагріває повітря, й кінетична енергія теплового руху атомів і молекул повітря збільшується настільки, що в разі їх зіткнення від молекули або атома може відірватися електрон і стати вільним. *Втративши електрон, молекула (або атом) стає позитивним йоном.*



Здійснюючи тепловий рух, електрон може зіткнутися з нейтральною частинкою і «прилипнути» до неї – утвориться негативний йон.

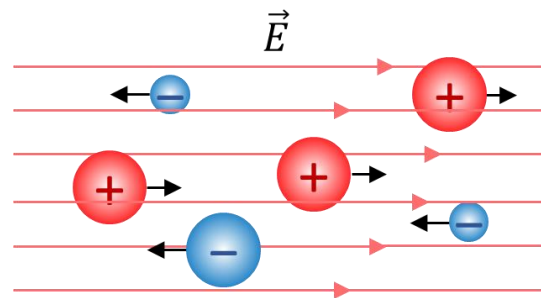


**Йонізація газів – це процес утворення в газі із електронейтральних молекул і атомів вільних електронів та позитивних і негативних йонів.**

### ***Проблемне питання***

- Що ж відбудеться, якщо йонізований газ помістити в електричне поле?

Якщо йонізований газ помістити в електричне поле, то внаслідок дії цього поля *позитивні йони рухатимуться в напрямку силових ліній поля, а електрони та негативні йони – в протилежному напрямку.*



**Електричний струм у газах (газовий розряд) – це напрямлений рух вільних електронів та позитивних і негативних йонів.**

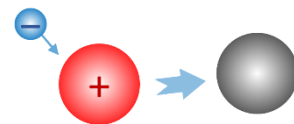
## 2. Самостійний і несамостійний газові розряди

### Проблемне питання

- Чому після припинення дії йонізатора газовий розряд припиняється?

Якщо усунути причину, яка викликала йонізацію газу (прибрати пальник, вимкнути джерело випромінювання), то зазвичай газовий розряд припиняється. Це пояснюється кількома причинами.

1. *Рекомбінація газів* – це процес за якого електрон і позитивний йон можуть об'єднатися, перетворившись на нейтральну молекулу (атом).



2. Вільні електрони поглинаються анодом.

3. Вільні йони біля електродів перетворюються на нейтральні частинки: негативні йони «віддають» «зайві» електрони аноду, а позитивні йони «забирають» електрони, яких їм «бракує», у катода. Після цього нейтральні частинки (молекули й атоми) повертаються в газ.

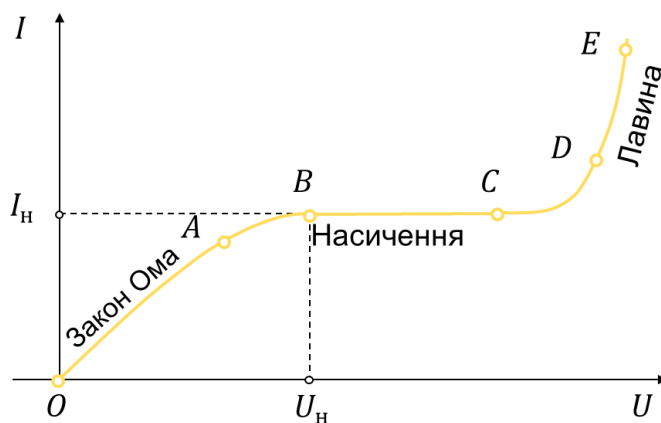
**Несамостійний газовий розряд – це газовий розряд, який відбувається тільки за дії зовнішнього йонізатора.**

### Вольт-амперна характеристика (ВАХ) газового розряду

*Ділянка OA.* Залежність сили струму від напруги підкорюється закону Ома.

*Ділянка AB.* Струм зростає повільніше від напруги – тут залежність нелінійна й закон Ома не виконується.

*Ділянка BC.* Напруга збільшується, а сила струму залишається незмінною. Річ у тім, що в сильному електричному полі всі заряджені частинки, які створює йонізатор за одиницю часу, долітають до електродів. *Найбільшу силу струму, що є можливою внаслідок дії даного йонізатора, називають струмом насичення.*

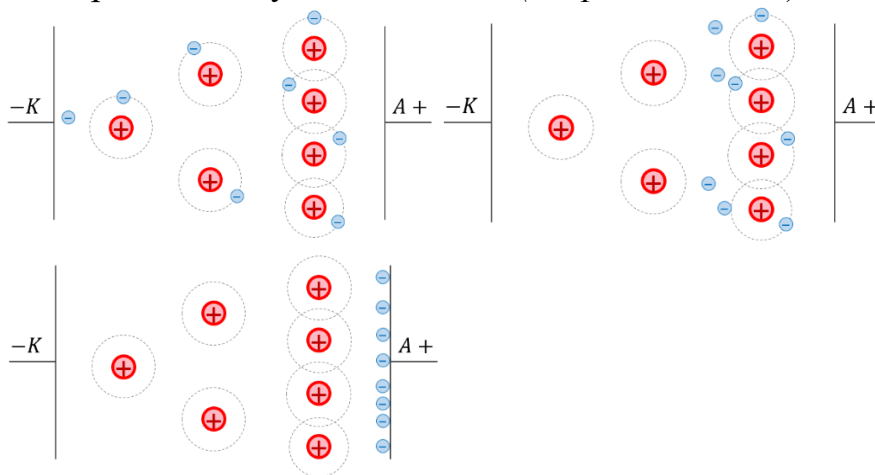


*Ділянка CD.* Сила струму різко зростає за незначного збільшення напруги. Це



відбувається завдяки **йонізації газу електронним ударом**, унаслідок чого кількість вільних заряджених частинок лавиноподібно збільшується.

Електрони, що утворилися під час ударної йонізації, прямують до анода і врешті-решт поглинаються ним. Проте газовий розряд може й не припинитися, навіть якщо прибрати йонізатор. Одним із джерел нових електронів є поверхня катода: позитивні йони «бомбардують» катод і вибивають із нього нові електрони – відбувається *емісія (випромінювання) електронів з поверхні катода*.



**Самостійний газовий розряд – це газовий розряд, який продовжується без дії зовнішнього йонізатора.**

### 3. Види самостійних газових розрядів

#### *Проблемне питання*

- Де самостійний газовий розряд зустрічається у нашому житті?

Залежно від властивостей і стану газу, характеру й розміщення електродів, а також від прикладеної до електродів напруги виникають різні *види самостійного розряду (іскровий, коронний, дуговий, тліючий)*

Запропонувати учням накреслити таблицю та заповнити її разом з вами (користуючись презентацією) або самостійно використовуючи § 7.

Назва розряду	Вигляд розряду	Умова існування розряду	Прояв чи застосування
<i>Іскровий</i>	Має вигляд яскравих зигзагоподібних смужок, що розгалужуються, триває всього кілька десятків мікросекунд і зазвичай супроводжується характерними	Виникає за атмосферного тиску та великої напруги між електродами.	Блискавка. Розряд між кондукторами електрофорної машини. Іскра у свічці бензинового двигуна. Обробка особливо міцних металів.

	звуковими ефектами		
<b>Тліючий</b>	Світіння розрідженого газу	Спостерігається за низьких тисків (десяті й соті частки міліметра ртутного стовпа) і напруги між електродами в кілька сотень вольтів.	Лампах денного світла (люмінесцентні трубки); кольорові газорозрядні трубки (колір світіння визначається природою газу); квантові генератори світла (газові лазери).
<b>Дуговий</b>	Яскраве дугоподібне полум'я	Виникає за високої температури між електродами, розведеними на невелику відстань	Металургія (електропечі, зварювання жаром електричної дуги металів); потужне джерело світла в прожекторах
<b>Коронний</b>	Слабке фіолетове світіння у вигляді корони	Утворюється в сильному електричному полі біля гострих виступів предметів	Очищення газів (електрофільтри); Лічильники елементарних частинок (лічильники Гейгера – Мюллера); ґрунтується дія блискавковідводу. Спостерігається під час грози на гострих кінцях високих предметів (веж, щогл, вершин скал тощо); має ще одну назву – «вогні святого Ельма».

#### 4. Плазма

Розглядаючи газові розряди, ми вже фактично ознайомилися з новим для вас станом речовини – плазмою (четвертий агрегатний стан речовини). Адже газ, у якому тече струм, – це вже не зовсім «звичайний» газ, який складається тільки з нейтральних атомів або молекул.

**Плазма – це частково або повністю йонізований газ, у якому концентрації позитивних і негативних зарядів практично однакові.**

У газорозрядній трубці та газосвітній лампі, у комірках деяких сучасних плоских телевізорів ми маємо справу саме з плазмою. Ця плазма газового розряду є слабкойонізованою – більшість атомів і молекул лишаються «неушкодженими» та нейтральними. А от у каналі блискавки та в розряді під час електрозварювання йонізація вже помітніша.

У земних умовах плазма зустрічається не так і часто. Тому її назвали четвертим станом речовини (після твердого, рідкого та газоподібного). Однак у масштабах Всесвіту саме плазма поза конкуренцією як перший (найбільш поширений) стан речовини! Саме в такому стані перебуває більшість зір і речовина в міжзоряному просторі. Сонце та інші зірки теж складаються з повністю йонізованого газу.

На Землі ж саме з плазмою пов'язані головні надії на створення термоядерних реакторів, які відкриють для людства практично невичерпні джерела енергії.

#### IV. ЗАКРІПЛЕННЯ НОВИХ ЗНАТЬ І ВМІНЬ

1. Чому заряджений електроскоп дуже швидко розряджається, якщо поряд з ним працює рентгенівська трубка?

Тому що рентгенівські промені йонізують молекули повітря.

2. Яку найменшу швидкість руху повинен мати електрон, щоб йонізувати атом Гідрогену? Енергія йонізації атома Гідрогену дорівнює 13,6 еВ.

**Дано:**

$$\begin{aligned} W_i &= 13,6 \text{ еВ} \\ &= 13,6 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Дж} \\ &= 21,76 \cdot 10^{-19} \text{ Дж} \\ m_e &= 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ кг} \\ v &= ? \end{aligned}$$

**Розв'язання**

Щоб йонізувати атом Гідрогену, електрон повинен мати кінетичну енергію не меншу, ніж енергія йонізації цього атома. Найменшу швидкість електрона знайдемо, користуючись рівністю:  $E_k = W_i$ .

$$\begin{aligned} E_k &= \frac{m_e v^2}{2} \\ \frac{m_e v^2}{2} &= W_i \quad \Rightarrow \quad v = \sqrt{\frac{2W_i}{m_e}} \\ [v] &= \sqrt{\frac{\text{Дж}}{\text{кг}}} = \sqrt{\frac{\text{Н} \cdot \text{м}}{\text{кг}}} = \sqrt{\frac{\text{кг} \cdot \frac{\text{м}}{\text{с}^2} \cdot \text{м}}{\text{кг}}} = \frac{\text{м}}{\text{с}} \\ v &= \sqrt{\frac{2 \cdot 21,76 \cdot 10^{-19}}{9,1 \cdot 10^{-31}}} \approx 2,2 \cdot 10^6 \left(\frac{\text{м}}{\text{с}}\right) \end{aligned}$$

**Відповідь:**  $v \approx 2,2 \cdot 10^6 \frac{\text{м}}{\text{с}}$

3. При якій температурі  $T$  в повітрі буде повністю йонізовано плазму? Енергія йонізації молекул азоту  $W_i = 2,5 \cdot 10^{-18}$  Дж. Енергія йонізації кисню менша.

**Дано:**

$$W_i = 2,5 \cdot 10^{-18} \text{ Дж}$$

$$k = 1,38 \cdot 10^{-23} \frac{\text{Дж}}{\text{К}}$$

$T - ?$

**Розв'язання**

Плазма називається повністю йонізованою, якщо йонізовані всі молекули. Для цього кінетична енергія молекули при температурі  $T$  повинна дорівнювати максимальній енергії йонізації  $W_i$ :  $E_k = W_i$ .

$$E_k = \frac{3}{2} kT$$

$$\frac{3}{2} kT = W_i \quad \Rightarrow \quad T = \frac{2W_i}{3k}$$

$$[T] = \frac{\text{Дж}}{\frac{\text{Дж}}{\text{К}}} = \text{К} \quad T = \frac{2 \cdot 2,5 \cdot 10^{-18}}{3 \cdot 1,38 \cdot 10^{-23}} \approx 1,2 \cdot 10^5 \text{ (К)}$$

**Відповідь:**  $T \approx 1,2 \cdot 10^5 \text{ К}$ .

4. При якій напруженості поля розпочнеться самостійний розряд у водні, якщо енергія йонізації молекул дорівнює  $2,5 \cdot 10^{-18}$  Дж, а середня довжина вільного пробігу 5 мкм? Яку швидкість мають електрони під час удару об молекулу?

**Дано:**

$$W_i = 2,5 \cdot 10^{-18} \text{ Дж}$$

$$d = 5 \text{ мкм}$$

$$= 5 \cdot 10^{-6} \text{ м}$$

$$e = -1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$$

$E - ?$

$v - ?$

**Розв'язання**

За рахунок роботи, яку виконує електричне поле, на довжині вільного пробігу електрон набуває кінетичної енергії, достатньої для йонізації атома водню:

$$A_{\text{ел}} = E_k = W_i$$

$$A_{\text{ел}} = F_{\text{ел}} d = |e| E d$$

$$W_i = |e| E d \quad \Rightarrow \quad E = \frac{W_i}{|e| d}$$

$$[E] = \frac{\text{Дж}}{\text{Кл} \cdot \text{м}} = \frac{\text{В} \cdot \text{А} \cdot \text{с}}{\text{Кл} \cdot \text{м}} = \frac{\text{В} \cdot \text{Кл}}{\text{Кл} \cdot \text{м}} = \frac{\text{В}}{\text{м}}$$

$$E = \frac{2,5 \cdot 10^{-18} \text{ Дж}}{1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 5 \cdot 10^{-6} \text{ м}} = 3,125 \cdot 10^6 \left( \frac{\text{В}}{\text{м}} \right)$$

$$E_k = \frac{m_e v^2}{2}$$

$$\frac{m_e v^2}{2} = W_i \quad \Rightarrow \quad v = \sqrt{\frac{2W_i}{m_e}}$$

$$[v] = \sqrt{\frac{\text{Дж}}{\text{Кг}}} = \sqrt{\frac{\text{Н} \cdot \text{м}}{\text{Кг}}} = \sqrt{\frac{\text{Кг} \cdot \frac{\text{м}}{\text{с}^2} \cdot \text{м}}{\text{Кг}}} = \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

$$v = \sqrt{\frac{2 \cdot 2,5 \cdot 10^{-18}}{9,1 \cdot 10^{-31}}} \approx 2,3 \cdot 10^6 \left(\frac{\text{м}}{\text{с}}\right)$$

**Відповідь:**  $E = 3,125 \frac{\text{МВ}}{\text{м}}$ ;  $v \approx 2300 \frac{\text{км}}{\text{с}}$ .

5. Відстань між електродами в трубці, заповненій парою ртуті, дорівнює 10 см. Яка середня довжина вільного пробігу електрона, якщо самостійний розряд настає при напрузі 600 В? Енергія іонізації пари ртуті  $1,7 \cdot 10^{-18}$  Дж. Вважати, що поле однорідне.

**Дано:**

$$d = 10 \text{ см} = 0,1 \text{ м}$$

$$U = 600 \text{ В}$$

$$W_i = 1,7 \cdot 10^{-18} \text{ Дж}$$

$$e = -1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$$

$$d_0 - ?$$

**Розв'язання**

За рахунок роботи, яку виконує електричне поле, на довжині вільного пробігу електрон набуває кінетичної енергії, достатньої для йонізації атома водню:

$$A_{\text{ел}} = E_{\text{к}} = W_i$$

$$A_{\text{ел}} = F_{\text{ел}} d_0 = |e| E d_0 \quad E = \frac{U}{d}$$

$$W_i = |e| \frac{U}{d} d_0 \quad \Rightarrow \quad d_0 = \frac{W_i d}{|e| U}$$

$$[d_0] = \frac{\text{Дж} \cdot \text{м}}{\text{Кл} \cdot \text{В}} = \frac{\text{В} \cdot \text{А} \cdot \text{с} \cdot \text{м}}{\text{А} \cdot \text{с} \cdot \text{В}} = \text{м}$$

$$d_0 = \frac{1,7 \cdot 10^{-18} \cdot 0,1}{1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 600} \approx 1,8 \cdot 10^{-3} \text{ (м)}$$

**Відповідь:**  $d_0 \approx 1,8 \text{ мм}$ .

6. Плоский конденсатор приєднали до джерела напруги 6 кВ. При якій відстані між пластинами настане пробій, якщо ударна іонізація повітря починається при напруженості поля 3 МВ/м?

**Дано:**

$$U = 6 \text{ кВ} = 6 \cdot 10^3 \text{ В}$$

$$E_i = 3 \frac{\text{МВ}}{\text{м}}$$

$$= 3 \cdot 10^6 \frac{\text{В}}{\text{м}}$$

$$d - ?$$

**Розв'язання**

Пробій повітря станеться, якщо напруженість  $E = \frac{U}{d}$  поля в конденсаторі буде дорівнює напруженості  $E_i$  поля, при якій виникає ударна іонізація повітря:

$$E_i = \frac{U}{d} \quad \Rightarrow \quad d = \frac{U}{E_i}$$

$$[d] = \frac{\text{В}}{\frac{\text{В}}{\text{м}}} = \text{м} \quad d = \frac{6 \cdot 10^3}{3 \cdot 10^6} = 2 \cdot 10^{-3} \text{ (м)}$$

**Відповідь:**  $d = 2 \text{ мм}$ .

## V. ПІДБИТТЯ ПІДСУМКІВ УРОКУ

### Бесіда за питаннями

1. Чому за звичайних умов газ не проводить електричний струм?
2. Що таке йонізація? Які існують види йонізації?
3. Який розряд у газі називають самостійним? несамостійним?

4. *Опишіть механізм ударної йонізації.*  
 5. *Опишіть основні види самостійних газових розрядів: за яких умов вони виникають; який мають вигляд; де їх застосовують.*  
 6. *Що таке плазма?*

## **VI. ДОМАШНЄ ЗАВДАННЯ**

Опрацювати § 7, Вправа № 7 (2, 4)

### **Урок 16 Електричний струм у напівпровідниках**

#### **Мета уроку:**

**Знання:** Надати уявлення про природу струму в чистих провідниках; розкрити механізм електропровідності напівпровідників при наявності домішок; формувати знання про основні закономірності електронно-діркового переходу; ознайомити учнів з будовою та призначенням основних напівпровідникових приладів.

**Розвивальна.** Розвивати уявлення учнів про електричний струм у різних середовищах. Сприяти збагаченню словникового запасу; формуванню пізнавальної самостійності; розвитку спостережливості, уваги, пам'яті, уяви, мислення; виробленню звички до планування своїх дій.

**Виховна.** Виховувати уважність, зібраність, спостережливість.

**Тип уроку:** комбінований

**Наочність і обладнання:** навчальна презентація, комп'ютер, підручник.

#### **Хід уроку**

### **I. ОРГАНІЗАЦІЙНИЙ ЕТАП**

### **II. АКТУАЛІЗАЦІЯ ОПОРНИХ ЗНАТЬ ТА ВМІНЬ**

Технічна можливість створення невеликих за габаритами та масою електронних приладів (радіоприймачі, плеєри, мобільні телефони) з'явилася завдяки розробкам у галузі напівпровідників.

Що ж це за матеріали – напівпровідники – та чому вони надають такі величезні можливості?

### **III. ВИВЧЕННЯ НОВОГО МАТЕРІАЛУ**

#### **1. Напівпровідники**

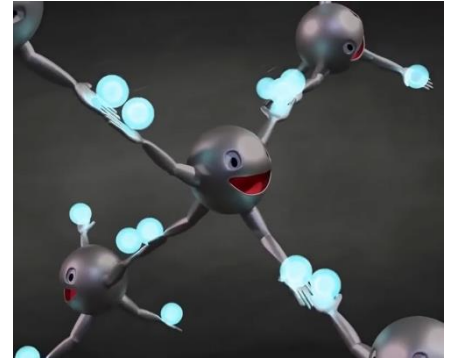
**Напівпровідники – це речовини, значення електропровідності яких лежить в межах між провідностями провідників та діелектриків.**

#### ***Властивості напівпровідників:***

- 1) питомий опір напівпровідників зазвичай зменшується з підвищенням температури;
- 2) питомий опір більшості напівпровідників зменшується зі збільшенням освітленості;
- 3) різко зменшити питомий опір напівпровідників може введення домішок.

## 2. Власна провідність напівпровідників

Пояснимо властивості напівпровідників, розглянувши їхню будову на прикладі чотиривалентного елемента *Германію*. Взаємодія пари сусідніх атомів у кристалі германію здійснюється завдяки *ковалентному зв'язку* (тобто його забезпечують пари валентних електронів, кожний із яких «належить» двом атомам).



**Ковалентний зв'язок – це хімічний зв'язок, який утворюється за рахунок спільних електронних пар.**

У темноті й за низьких температур, ковалентні зв'язки германію досить міцні, і він є *діелектриком*.

За підвищення температури кристала (або під дією опромінення світлом, рентгенівськими променями, або за впливу сильних електричних чи магнітних полів) ковалентні зв'язки руйнуються, і, отже, деякі *електрони стають вільними*.

**Електронна провідність – це провідність напівпровідників, зумовлена наявністю в них вільних електронів.**

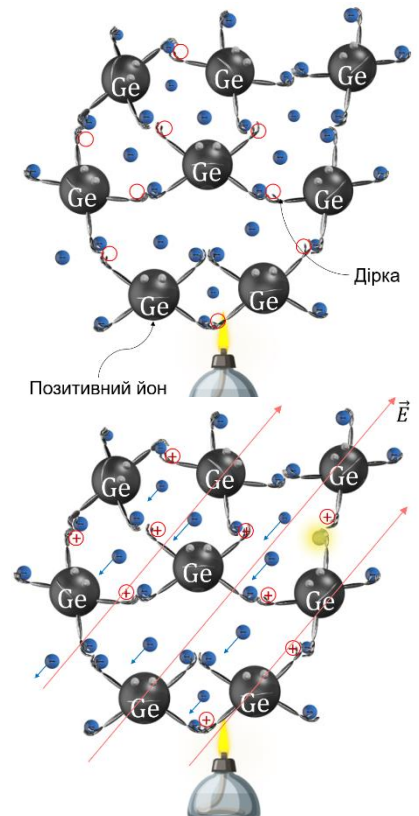
На місці кожного розірваного зв'язку утворюється вакантне місце з нестачею електрона. Така конфігурація називається *діркою*.

**Дірка – це вакантне місце з відсутнім електроном в ковалентному зв'язку.**

На вакантне місце (в дірку) може «перестрибнути» електрон від сусіднього зв'язку. Тоді дірка з'явиться біля сусіднього атома. Послідовність таких «стрибків» виглядає так, ніби дірка (позитивний заряд) переміщується в кристалі.

**Діркова провідність – це провідність напівпровідників, зумовлену переміщенням дірок.**

**Власна провідність напівпровідників – це провідність, зумовлена рухом вільних електронів та дірок в чистому напівпровіднику.**



## 3. Провідність напівпровідників з домішками

### *Проблемне питання*

- Чи впливають на провідність напівпровідників домішки?

Власна провідність напівпровідників невелика, оскільки малою є кількість вільних носіїв струму – електронів і дірок. Дуже важлива особливість напівпровідників полягає в тому, що за наявності домішок у них поряд із власною провідністю виникає додаткова – *домішкова провідність*.

**Домішкова провідність напівпровідника – це провідність, зумовлена**

### наявністю домішок в напівпровіднику.

Додамо у кристал германію домішку п'ятивалентного елемента, наприклад Арсену. Частина атомів Германію буде замінена атомами Арсену. Чотири валентні електрони атома Арсену утворюють парні електронні зв'язки із сусідніми атомами Германію; п'ятому валентному електрону зв'язку не вистачить, тому він легко може стати вільним. У результаті майже кожен атом домішки дасть вільний електрон.

**Донорні домішки** (від латин. *donare* – дарувати, жертвувати) – це домішки, атоми яких відносно легко віддають електрони.

В напівпровідниках із донорними домішками концентрація вільних електронів є значно вищою, ніж концентрація дірок.

**Напівпровідники *n*-типу** (від латин. *negativus* – негативний) – це напівпровідники з переважно електронною провідністю.

Додамо у кристал германію домішку тривалентного елемента, наприклад Індію. Атом Індію має три валентні електрони, тому він може «встановити зв'язки» тільки з трьома атомами Германію. Щоб утримати структуру кристалічної ґратки, відсутній електрон (четвертий) Індії «запозичує» в атомів Германію. У результаті кожен атом Індію спричиняє утворення дірки.

**Акцепторні домішки** (від латин. *acceptor* – той, що приймає) – це домішки, атоми яких «запозичують» електрони. У наслідок цього у сусідніх атомах утворюються позитивні дірки.

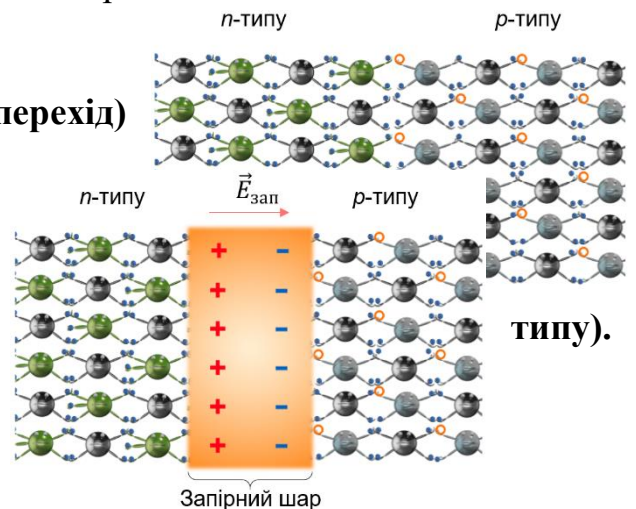
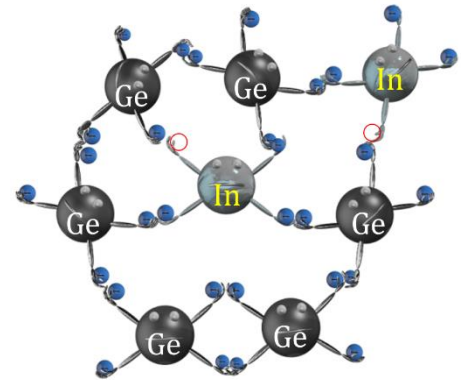
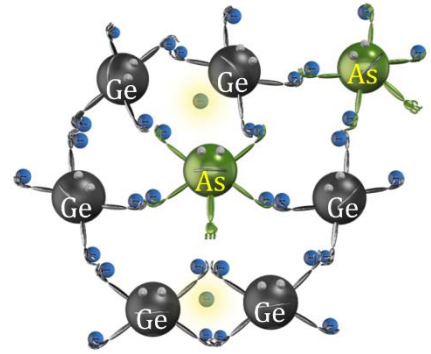
У напівпровідниках із акцепторними домішками основні носії струму – дірки.

**Напівпровідниками *p*-типу** (від латин. *positivus* – позитивний) – це напівпровідники з переважно дірковою провідністю.

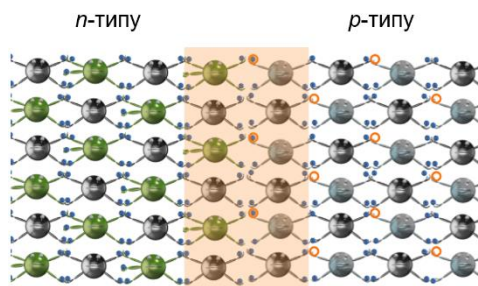
Змінюючи концентрацію домішки, можна істотно змінити кількість носіїв заряду того або іншого знака, а отже, створити напівпровідники з переважаючою концентрацією або позитивно, або негативно заряджених носіїв.

## 4. Електронно-дірковий перехід

**Електронно-дірковий перехід (*p-n*-перехід)** – це ділянка контакту двох напівпровідників із різними типами провідності – дірковою (напівпровідник *p*-типу) та електронною (напівпровідник *n*-





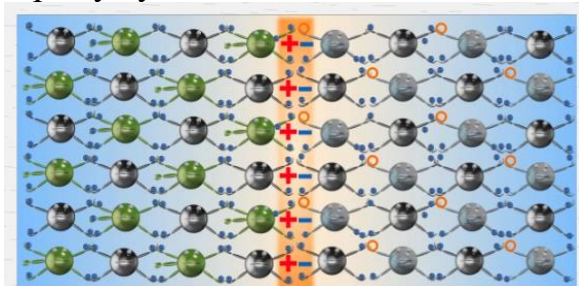
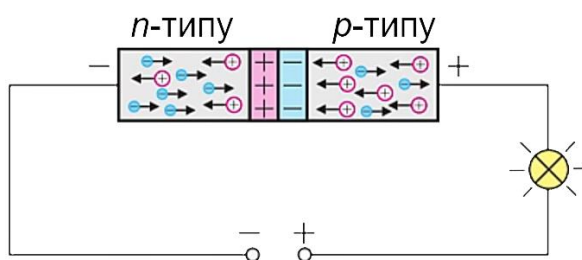


Відразу після того як відбувся контакт двох напівпровідників із різними типами провідності, починається процес дифузії електронів і дірок. Електрони дифундують у напівпровідник  $p$ -типу, і деякі з них рекомбінують із дірками; дірки «дифундують» у напівпровідник  $n$ -типу, і деякі з них рекомбінують із вільними електронами. Тобто відбуваються процеси відновлення зав'язків. Унаслідок цих процесів:

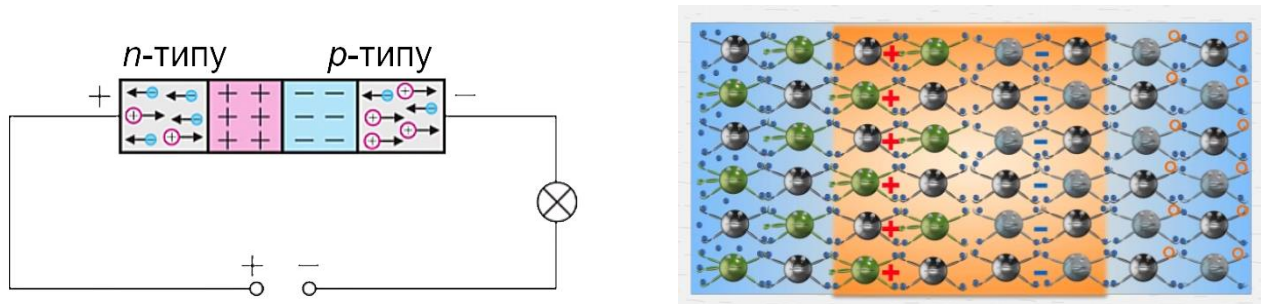
- 1) у прилеглих до місця контакту ділянках напівпровідників зменшується концентрація вільних носіїв струму ( $n$ -ділянка втрачає вільні електрони,  $p$ -ділянка – дірки), тому опір ділянки біля місця контакту істотно збільшується;
- 2) прилегла до місця контакту  $n$ -ділянка набуває позитивного заряду; прилегла до місця контакту  $p$ -ділянка набуває негативного заряду.

Таким чином, навколо місця контакту формується подвійний *запірний шар* ( $p$ - $n$ -перехід), електричне поле якого ( $\vec{E}_{\text{зап}}$ ) перешкоджає подальшій дифузії електронів і дірок.

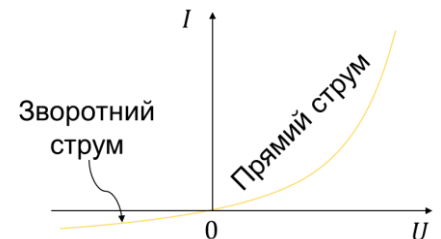
Якщо підключити  $p$ - $n$ -перехід у *прямому ввімкненні*, тобто приєднати позитивний полюс джерела струму до  $p$ -зони, а негативний – до  $n$ -зони, то заряд через  $p$ - $n$ -перехід переноситимуть *основні носії* заряду (дірки з  $p$ -зони та електрони з  $n$ -зони). При цьому запірний шар звужується.



Якщо підключити  $p$ - $n$ -перехід у *зворотному ввімкненні*, тобто приєднати позитивний полюс джерела струму до  $n$ -зони, а негативний – до  $p$ -зони, то заряд через  $p$ - $n$ -перехід переноситимуть *неосновні носії* заряду (електрони з  $p$ -зони та дірки з  $n$ -зони). При цьому запірний шар стає більш широким.



*p-n-перехід має односторонню провідність: він пропускає помітний струм від *p*- до *n*-зони і лише дуже малий струм у зворотному напрямі.*



## 5. Приклади напівпровідникових пристроїв

**Напівпровідниковий діод – це пристрій, що містить *p-n*-перехід і здатен пропускати струм в одному напрямку та не пропускати в протилежному.**

**Термо- і фоторезистори – це прилади, дія яких ґрунтується на використанні залежності опору напівпровідників від температури (освітленості).**

**Транзистор – це напівпровідниковий елемент електронних схем із трьома електродами, один з яких служить для керування струмом між двома іншими.**

**Світлодіод (англ. *LED – light-emitting diode*) – це напівпровідниковий пристрій, що випромінює світло, коли через нього проходить електричний струм.**

**Інтегральна мікросхема – мініатюрний мікроелектронний виріб, елементи якого нерозривно зв'язані конструктивно, технологічно та електрично.**

## IV. ЗАКРІПЛЕННЯ НОВИХ ЗНАНЬ І ВМІНЬ

1. Щоб дістати домішкову провідність потрібного типу, в напівпровідниковій техніці часто застосовують фосфор, галій, миш'як, індій та сурму. Який з цих елементів можна ввести в германій як домішку, щоб мати електронну провідність?

Валентність германію дорівнює 4, отже, для отримання домішки електронної провідності в германій необхідно додати в якості домішки елементи з валентністю 5. Серед перерахованих в умові завдання це фосфор, миш'як, сурма.

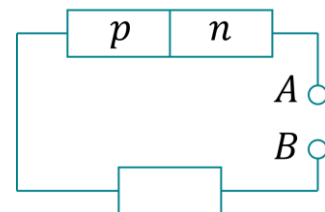
2. Доведіть міркуванням, що сполука InAs (арсенід індію), в якій кількості речовини (в молях) індію та миш'яку однакові, матиме провідність типу власної провідності елементів четвертої групи (Ge, Si). Якого типу буде провідність, якщо збільшити концентрацію індію? миш'яку?

Так як кількість речовини індію та миш'яку рівні, то утворюється однакова

кількість вільних електронів і дірок. В цьому випадку утворюється власна електропровідність. При збільшенні концентрації індію буде діркова провідність, миш'яку – електронна.

3. На рисунку наведено схему прямого ввімкнення напівпровідника з  $p$ - $n$ -переходом у коло постійного струму. Якою є полярність підключення джерела струму до клем  $A$  і  $B$ ?

Щоб підключити  $p$ - $n$ -перехід у *прямому напрямі*, необхідно приєднати позитивний полюс джерела струму до  $p$ -зони ( $B$  «+»), а негативний – до  $n$ -зони ( $A$  «-»), то заряд через  $p$ - $n$ -перехід переноситимуть *основні носії* заряду (дірки з  $p$ -зони та електрони з  $n$ -зони). При цьому запірний шар звувається.



4. До кінців кола, що складається з послідовно ввімкнених термістора та резистора опором 1 кОм, подали напругу 20 В. При кімнатній температурі сила струму в колі була 5 мА. Коли термістор занурили у гарячу воду, сила струму стала 10 мА. У скільки разів змінився опір термістора?

**Дано:**

$$R_p = 1 \text{ кОм} =$$

$$= 1 \cdot 10^3 \text{ Ом}$$

$$U = 20 \text{ В}$$

$$I_1 = 5 \text{ мА} = 5 \cdot 10^{-3} \text{ А}$$

$$I_2 = 10 \text{ мА}$$

$$= 10 \cdot 10^{-3} \text{ А}$$

$$\frac{R_{T1}}{R_{T2}} - ?$$

$$\frac{R_{T1}}{R_{T2}}$$

**Розв'язання**

Опір кола, що складається з послідовно ввімкнених термістора опором  $R_T$  та резистора опором  $R_p$ :

$$R = R_T + R_p$$

Сила струму в колі при початковій температурі дорівнює:

$$I_1 = \frac{U}{R_1} = \frac{U}{R_{T1} + R_p} \Rightarrow R_{T1} = \frac{U}{I_1} - R_p$$

Сила струму в колі після нагрівання дорівнює:

$$I_2 = \frac{U}{R_2} = \frac{U}{R_{T2} + R_p} \Rightarrow R_{T2} = \frac{U}{I_2} - R_p$$

$$\frac{R_{T1}}{R_{T2}} = \frac{\frac{U}{I_1} - R_p}{\frac{U}{I_2} - R_p} \quad \left[ \frac{R_{T1}}{R_{T2}} \right] = \frac{\frac{20}{5 \cdot 10^{-3}} - 1000}{\frac{20}{10 \cdot 10^{-3}} - 1000} = \frac{3000}{1000} = 3$$

$$\frac{R_{T1}}{R_{T2}} = \frac{\frac{20}{5 \cdot 10^{-3}} - 1 \cdot 10^3}{\frac{20}{10 \cdot 10^{-3}} - 1 \cdot 10^3} = \frac{3 \cdot 10^3}{1 \cdot 10^3} = 3$$

**Відповідь:**  $\frac{R_{T1}}{R_{T2}} = 3$ .

5. Знайдіть загальну силу струму в ділянці кола (див. рисунок) під час протікання струму: 1) від  $A$  до  $B$ ; 2) від  $B$  до  $A$ . Діод є ідеальним, всі резистори мають однаковий опір 2 Ом, напруга, підведена до ділянки кола, 36 В.

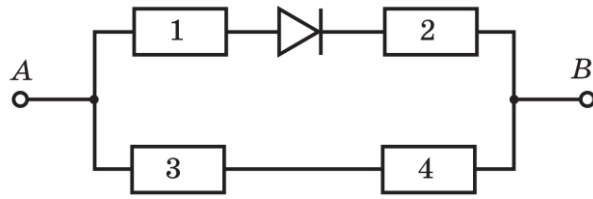
**Дано:**

$$R_1 = R_2 = R_3 = R_4 \\ = R_0 = 2 \text{ Ом}$$

$$U = 36 \text{ В}$$

$$I_{AB} - ?$$

$$I_{BA} - ?$$

**Розв'язання**1) Струм протікає від *A* до *B*:

На ділянці 1-2 діод має пряме ввімкнення, тому струм протікає.

$$R_{12} = R_1 + R_2 = 2R_0$$

$$R_{34} = R_3 + R_4 = 2R_0$$

$$\frac{1}{R_{AB}} = \frac{1}{R_{12}} + \frac{1}{R_{34}} = \frac{1}{R_0} \quad R_{AB} = R_0$$

$$I_{AB} = \frac{U}{R_{AB}} = \frac{U}{R_0} \quad [I_{AB}] = \frac{\text{В}}{\text{Ом}} = \frac{\text{В}}{\frac{\text{В}}{\text{А}}} = \text{А}$$

$$I_{AB} = \frac{36}{2} = 18 \text{ (А)}$$

2) Струм протікає від *B* до *A*:

На ділянці 1-2 діод має зворотнє ввімкнення, тому струм не протікає.

$$R_{BA} = R_{34} = R_3 + R_4 = 2R_0$$

$$I_{BA} = \frac{U}{R_{BA}} = \frac{U}{2R_0} \quad [I_{BA}] = \frac{\text{В}}{\text{Ом}} = \frac{\text{В}}{\frac{\text{В}}{\text{А}}} = \text{А}$$

$$I_{BA} = \frac{36}{2 \cdot 2} = 9 \text{ (А)}$$

**Відповідь:**  $I_{AB} = 18 \text{ А}$ ;  $I_{BA} = 9 \text{ А}$ .**V. ПІДБИТТЯ ПІДСУМКІВ УРОКУ****Бесіда за питаннями**

1. Якими є основні властивості напівпровідників?
2. Поясніть механізм власної провідності напівпровідників.
3. Як зміниться опір чистого напівпровідника, якщо додати домішку?
4. Яку домішку називають донорною?
5. Яку домішку потрібно ввести, щоб одержати напівпровідник *p*-типу?
6. Як можна виготовити кристал із електронно-дірковим переходом?
7. Чому напівпровідниковий кристал із *p-n*-переходом має однобічну провідність?

**VI. ДОМАШНЄ ЗАВДАННЯ**

Опрацювати § 9, Вправа № 9 (1, 3)