

ДЕРЖАВНИЙ ЗАКЛАД «ПІВДЕННОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ
ПЕДАГОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
імені К. Д. УШИНСЬКОГО»

Кафедра фізики

**МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ ДО ПРАКТИЧНИХ ЗАНЯТЬ
ТА ОРГАНІЗАЦІЇ САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ
З НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ
«ЗАГАЛЬНА ФІЗИКА (Електричний струм)»**

для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти
спеціальності 014 Середня освіта (Фізика)

ОДЕСА 2023

УДК: 378.147:537.31

Рекомендовано до друку вченою радою
Державного закладу «Південноукраїнський національний педагогічний
університет імені К. Д. Ушинського»
протокол від «_28_» вересня 2023 року №_3_

РЕЦЕНЗЕНТИ:

Гоцульскій В. Я. – доктор фізико-математичних наук, професор, завідувач кафедри фізики та астрономії Одеського національного університету імені І. І. Мечникова

Совкова Т С. – кандидат фізико-математичних наук, доцент кафедри інноваційних технологій та методики навчання природничих дисциплін

Укладач:

Шкатуляк Н. М. – кандидат фізико-математичних наук, доцент кафедри фізики

Методичні рекомендації до проведення практичних занять та організації самостійної роботи з навчальної дисципліни «Загальна фізика (електрика та магнетизм)»/ укладач Н. М. Шкатуляк – Одеса, Університет Ушинського, 2023. 26 с.

Методичні рекомендації до практичних занять та організації самостійної роботи з навчальної дисципліни «Загальна фізика (електрика та магнетизм)» мають на меті допомогти студентам засвоїти теоретичний матеріал та знайти підходи до розрізування типових задач та завдань підвищеної складності з теми «Електричний струм».

В роботі представлено методичні рекомендації щодо розв'язування задач з теми «Електричний струм» (модуль «Електричне поле в вакуумі»). Наведено приклади розв'язування задач, алгоритм розв'язування задач та оформлення запису умови задачі та розв'язку.

Рекомендовано для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти спеціальності 014 Середня освіта (Фізика) та 014 Середня освіта (Природничі науки) з метою закріплення, поглиблення й узагальнення знань, одержаних під час навчання.

ЗМІСТ

ВСТУП	4
СТРУКТУРА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ	5
1. (Змістовий модуль «Електричний струм»	5
2. ОСНОВНІ ПОНЯТТЯ ТА ВЕЛИЧИНИ	6
3. ПРИКЛАДИ РІШЕННЯ ЗАДАЧ	10
4. ЗАВДАННЯ ДЛЯ САМОСТІЙНОГО РІШЕННЯ	20
5. ТЕСТИ НА ТЕМУ «ЕЛЕКТРИЧНИЙ СТРУМ»	22
РЕКОМЕНДОВАНІ ДЖЕРЕЛА ІНФОРМАЦІЇ	26

ВСТУП

Важливою задачею сучасної вищої школи України є всебічне вдосконалення навчального процесу на основі впровадження передових освітніх технологій.

Приєднання вищої освіти України до Болонського процесу підготовки бакалаврів привело до перерозподілу навчального навантаження: зменшилась кількість аудиторних годин та збільшився час, що відводиться на самостійну роботу здобувачів вищої освіти. Збільшення обсягу годин на самостійну роботу у навчальних планах дисциплін у вищих освітніх закладах є цілком виправданим, оскільки дозволяє не лише вдосконалювати практичні вміння студентів, а й максимально наблизити академічну освіту до майбутньої професійної діяльності. Самостійна робота передбачає, що студент виконує різного роду завдання, що включають програмний матеріал, який не висвітлювався під час аудиторних занять. Даний вид діяльності повинен сприяти розвитку та активізації творчої діяльності студентів і може розглядатися як головний резерв підвищення якості підготовки фахівців.

Дані методичні рекомендації призначені для самостійної роботи і контролю знань по розділу “Електричне поле” навчальної дисципліни «Загальна фізика» для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти зі спеціальності «014 Середня освіта. Фізика» за змістовим модулем «Електричний струм».

Представлено поняття, формули і довідкові значення фізико-хімічних величин, необхідні для рішення задач, приклади рішення задач, набір задач для самостійного рішення. Методичні рекомендації можуть бути використані також для контролю знань по відповідних розділах загальної фізики.

1. ЕЛЕКТРИЧНЕ ПОЛЕ

Змістовий модуль 1. Електричний струм

Тема 3. Постійний струм. Електричний струм. Закон Ома для ділянки кола. Опір провідника. Диференційна форма закону Ома. Сторонні сили. Електрорушійна сила. Закон Ома для ділянки кола яка містить ЕРС і для замкнутого кола. Робота і потужність в колі постійного струму. Закон Джоуля-Ленца. Диференційна форма закону Джоуля-Ленца. Розгорнуті ланцюги. Правила Кірхгофа.

Електричний струм в електролітах. Електричний струм в газах.

Тема 4. Електропровідність твердих тіл. Класифікація твердих тіл (провідники, діелектрики, напівпровідники). Природа струму в металах. Досліди Мандельштама і Папалексі, Томсона і Стюарта. Класична теорія електропровідності металів і висновок із неї законів Ома і Джоуля-Ленца. Залежність опору метала від температури. Важливість класичної теорії. Поняття про напівпровідність. Власна і домішкова провідність напівпровідників, її залежність від температури. Освітлювання. Термо і фото опір.

Тема 5. Термоелектрична емісія і контактні явища в металах і напівпровідниках. Робота виходу електронів з металу. Термоелектронна емісія. Струм в вакуумі. Електрична лампа(діод, тріод). Та їх застосування. Контактна різниця потенціалів в металах і напівпровідниках. Закон Вольти. Термоелектричні явища, термоелектричні генератори струму. Напівпровідникові діоди і транзистори.

Структура навчальної дисципліни

Назви змістових модулів і тем	Кількість годин				
	усього	у тому числі			
		л	п	лаб.	с.р.
Модуль 1					
Змістовий модуль 2. Постійний струм.					
Тема 3.Постійний струм.	30	2	4	6	16
Тема 4. Електропровідність твердих тіл.	24	2	4	2	16
Тема 5. Термoeлектрична емісія і контактні явища в металах і напівпровідниках.	20	2	2		16
Разом за змістовим модулем 2	74	6	10	8	48

2. ОСНОВНІ ПОНЯТТЯ ТА ВЕЛИЧИНИ

Електроємність

$$C = q/\varphi \text{ або } C = q/U,$$

де φ — потенціал провідника (за умови, що в нескінченності потенціал провідника приймається рівним нулю); U — різниця потенціалів пластин конденсатора.

Електроємність плоского конденсатора

$$C = \frac{\varepsilon \varepsilon_0 S}{d},$$

де S — площа пластини (однієї) конденсатора; d — відстань між пластинами.

Електроємність батареї N конденсаторів:

а) $\frac{1}{C} = \sum_{i=1}^N \frac{1}{C_i}$ — при послідовному з'єднанні;

б) $C = \sum_{i=1}^N C_i$ — при паралельному з'єднанні.

Енергія зарядженого конденсатора:

$$W = \frac{qU}{2}, \quad W = \frac{CU^2}{2}, \quad W = \frac{q^2}{2C}.$$

Сила постійного струму

$$I = \frac{dq}{dt},$$

де q — заряд, що пройшов через поперечний переріз провідника за час t .

Густина струму $j = \frac{I}{S},$

где S — площа поперечного перерізу провідника.

Зв'язок густини струму з середньою швидкістю $\langle v \rangle$ спрямованого руху заряджених частинок

$$j = qn\langle v \rangle,$$

де q — заряд частинки; n — концентрація заряджених частинок.

Закон Ома:

а) $I = \frac{\varphi_1 - \varphi_2}{R} = \frac{U}{R}$ для однорідної ділянки кола (що не містить ЕРС),

де $\varphi_1 - \varphi_2 = U$ різниця потенціалів (напруга) на кінцях ділянки кола; R — опір ділянки;

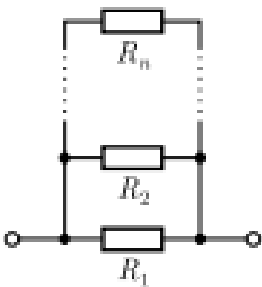
б) $I = \frac{\varphi_1 - \varphi_2 \pm \varepsilon}{R}$ для неоднорідної ділянки кола (ділянки, що містить ЕРС),

де ε — ЕДС джерело струму; R — повний опір ділянки кола (сума зовнішніх і внутрішніх опорів);

в) $I = \frac{\varepsilon}{R + r}$ для замкнутого (повного) ланцюга,

де R — зовнішній опір ланцюга; r — внутрішній опір ланцюга.

Послідовне і паралельне з'єднання провідників:

	
$I = I_1 = I_2 = \dots = I_n = \text{const}$	$U = U_1 = U_2 = \dots = U_n = \text{const}$
$U = U_1 + U_2 + \dots + U_n$	$I = I_1 + I_2 + \dots + I_n$
$R = \sum_{i=1}^n R_i$	$\frac{1}{R} = \sum_{i=1}^n \frac{1}{R_i}$

Для розгалужених кіл мають місце два правила (закони) Кірхгофа.

Перше правило Кірхгофа виражає закон збереження заряду в будь якій точці кола постійного струму і стосується вузлів розгалуженого кола: *алгебрична сума сил струмів, які сходяться у вузлі, дорівнює нулеві*

$$\sum_i I_i = 0$$

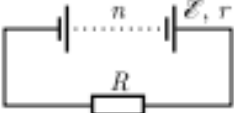
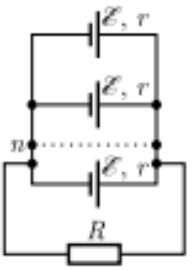
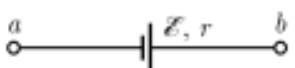
Або сума струмів, що входять у вузол, дорівнює сумі струмів, що виходять із нього.

Друге правило Кірхгофа є узагальненням закону Ома на розгалужені електричні кола і стосується контурів.

У замкненому контурі алгебрична сума спадів напруг (добутків сил струмів на опори відповідних ділянок) дорівнює алгебричній сумі електрорушійних сил, які діють у цьому контурі.

$$\sum_i I_i R_i = \sum_i \mathcal{E}_i .$$

З'єднання n однакових елементів (джерел струму) електричного кола постійного струму

Схема електричного кола	Закон Ома	Схема електричного кола	Закон Ома
	$I = \frac{n\varepsilon}{R + nr}$		$I = \frac{\varepsilon}{R + \frac{r}{n}}$
	$I = \frac{\varepsilon - U_{ab}}{r}$		

(r – внутрішній опір кожного провідника; R – зовнішній опір кола; ε – ЕРС джерела).

Опір R і провідність G

$$R = \frac{\rho l}{S}, \quad G = \frac{\sigma S}{l},$$

де ρ — питомий електричний опір; σ — питома електрична провідність; l — довжина провідника; S — площа поперечного перерізу провідника.

Опір системи провідників:

а) $R = \sum_i R_i$ при послідовному з'єднанні;

б) $\frac{1}{R} = \sum_i \frac{1}{R_i}$ при паралельному з'єднанні,

де R_i — опір i -го провідника.

Робота струму:

$$A = IUt = I^2 Rt = \frac{U^2 t}{R}.$$

Потужність струму:

$$P = IU = I^2 R = \frac{U^2}{R}.$$

Закон Джоуля—Ленца

$$Q = I^2 Rt.$$

Закон Ома в диференціальній формі

$$\mathbf{j} = \sigma \mathbf{E},$$

де σ — питома електрична провідність; $\mathbf{E}$ — напруженість електричного

поля; $\mathbf{j}$ — густина струму.

3. ПРИКЛАДИ РІШЕННЯ ЗАДАЧ

Задача 1. Сила струму в провіднику рівномірно наростає від $I_0=0$ А до $I=3$ А протягом часу $t=10$ с. Визначте заряд q , що пройшов в провіднику.

Розв’язання: Умови рівномірного зростання струму є лінійною залежністю I від часу: $I=a t+b$, де a і b константи.

Оскільки $I_0=0$ А, то $I=a t$ і $a=0,3$. Таким чином, залежність $I(t)$ має вид $I=0,3t$.

За визначенням

$$I = \frac{dq}{dt},$$

звідси $dq=Idt$.

$$dq = a t dt = 0,3 t dt.$$

Інтегруючи останню рівність, отримуємо

$$q = \frac{0,3t^2}{2} + C$$

де C – константа інтегрування. Вона визначається з початкових умов: в момент часу $t=0$: $q=0$, тому $C=0$. Остаточного отримаємо

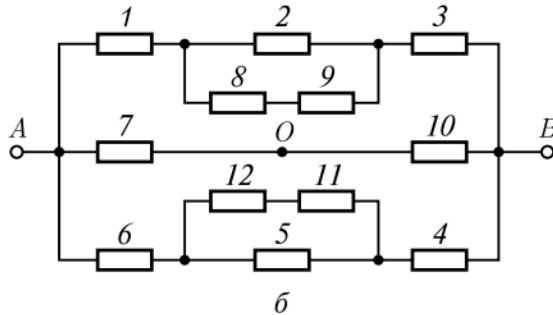
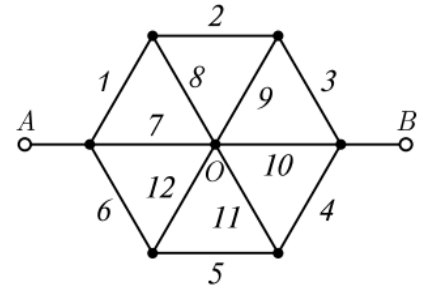
$$q = \frac{0,3t^2}{2}$$

Підставляючи значення $t=10$ с, знаходимо заряд $q=15$ Кл.

Відповідь: $q=15$ Кл.

Задача 2. Визначте загальний опір між точками А і В ланцюга провідників у вигляді шестикутника (рис.). Опір кожного дроту 1 Ом.

Розв'язання: В силу симетрії струми, що течуть по опорам 8, 9, 11 і 12, однакові. Тому струм у вузлі О дорівнює нулю. Тоді схема буде еквівалентною схемі, що задана у вигляді шестикутника.



Опори 8 і 9 з'єднані між собою послідовно і паралельно з опором 2. Тоді

$$\frac{1}{R_{2,8,9}} = \frac{1}{r} + \frac{1}{2r} = \frac{3}{2r} \quad R_{2,8,9} = \frac{2r}{3}$$

$$R_{1-3} = \frac{2r}{3} + 2r = \frac{8r}{3}$$

$$R_{6-4} = \frac{2r}{3} + 2r = \frac{8r}{3}$$

$$R_{7,10} = 2r$$

Для паралельного з'єднання:

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_{2,8,9}} + \frac{1}{R_{2,8,9}} + \frac{1}{R_{7,10}}$$

Тоді

$$\frac{1}{R} = \frac{3}{8r} + \frac{3}{8r} + \frac{1}{2r} \quad \frac{1}{R} = \frac{10}{8r},$$

звідси шуканий опір

$$R = \frac{4r}{5}$$

Підставивши числові значення в останню формулу, отримаємо

$$R = 0,8 \text{ Ом}$$

Відповідь: $R = 0,8 \text{ Ом}$

Задача 3. Дві батареї ($\varepsilon_1 = 1,2\text{В}$, $r_1 = 0,1 \text{ Ом}$ і $\varepsilon_2 = 0,9 \text{ В}$, $r_2 = 0,3 \text{ Ом}$) з'єднані

однойменними полюсами. Опір R з'єднувальних дротів дорівнює $0,2$ Ома. Визначте силу струму I в колі.

Розв'язання: Електрорушійні сили (ЕРС) батарей спрямовані в протилежні сторони, тому підсумкова ЕРС буде дорівнювати $\varepsilon = \varepsilon_1 - \varepsilon_2$. Закон Ома в замкненому колі:

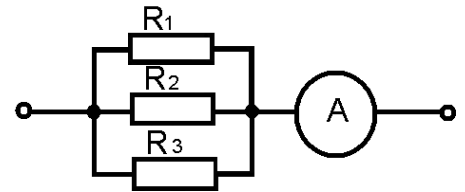
$$I = \frac{\varepsilon}{R + r_1 + r_2}.$$

Підставляючи дані умови задачі, отримаємо $I=0,5\text{A}$.

Відповідь: $I=0,5\text{A}$.

Задача 4. Опори $R_2=20$ Ом и $R_3=15$ Ом (рис.).

Через опір R_2 тече струм $I_2=0,3$ А. Амперметр показує струм $I=0,8$ А. Знайти опір R_1 .



Розв'язання: За законом Ома напруга на третьому опорі:

$$U_2 = I_2 R_2 = 6 \text{ В} = U_1 = U_3 \quad (U_1 = U_2 = U_3 - \text{паралельне з'єднання провідників}).$$

За законом Ома для ділянки кола

$$I_3 = \frac{U_3}{R_3} = 0,4 \text{ А}.$$

За першим правилом Кірхгофа:

$$I_1 = I_A - I_2 - I_3 = 0,1 \text{ А}.$$

Звідси, для першого опорі:

$$R_1 = \frac{U_1}{I_1} = 60 \text{ Ом}.$$

Відповідь: $R_1 = 60$ Ом.

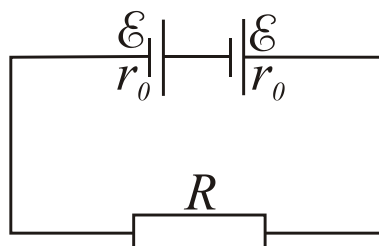
Задача 5. Два однакових джерела струму з'єднані спочатку послідовно, а потім паралельно і замкнуті на зовнішній опір 1 Ом. При якому внутрішньому опорі джерела струму сила струму у зовнішньому колі в обох випадках буде однакова?

Дано:

$$R=1 \text{ Ом}$$

$$I_1 = I_2$$

$$r_0 - ?$$



Розв'язання: При послідовному з'єднанні джерел сила струму за законом Ома дорівнює:

$$I_1 = \frac{2\varepsilon}{R + 2r_0}$$

При паралельному з'єднанні джерел струму:

$$I_2 = \frac{\varepsilon}{R + r_0/2} = \frac{2\varepsilon}{2R + r_0}$$

За умовами задачі:

$$I_1 = I_2 \Rightarrow \frac{2\varepsilon}{R + 2r_0} = \frac{2\varepsilon}{2R + r_0}$$

Тоді

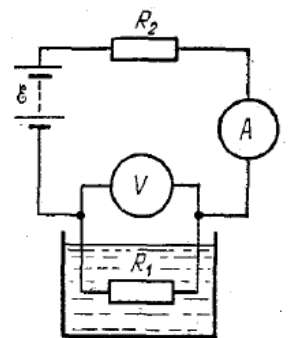
$$R + 2r_0 = 2R + r_0, \quad 2r_0 - r_0 = 2R - R$$

Звідки

$$r_0 = R = 1 \text{ Ом}$$

Відповідь: $r_0 = R = 1 \text{ Ом}$.

Задача 6. Калориметр має спіраль опором R_1 , яка підключена в електричне коло, як показано на рис. Е.р.с. батареї $\varepsilon = 110 \text{ В}$, к.к.д. спіралі $\eta = 80\%$. В калориметр налита маса $m = 500 \text{ г}$ гасу. Амперметр показує струм $I = 2 \text{ А}$, вольтметр показує напругу $U = 10,8 \text{ В}$. Знайти опір спіралі? Знайти питому теплоємність c гасу, якщо за час $\tau = 5 \text{ хв}$.



протікання струму гас нагрівся на $\Delta t = 5^\circ \text{C}$. Визначити опір R_2 ? Опір вольтметра вважати нескінченно великим.

Розв'язання: Кількість теплоти, яка необхідна для нагрівання гасу на Δt :

$$Q_1 = cm\Delta t.$$

За законом Джоуля-Ленца, кількість теплоти, що виділяє спіраль за час τ є

$$Q_2 = IU\tau.$$

За законом збереження енергії

$$Q_1 = \eta Q_2 \text{ чи } cm\Delta t = \eta IU\tau.$$

Звідки питома теплоємність гасу

$$c = \frac{\eta IU\tau}{m\Delta t}.$$

З закону Ома для ділянки кола опір

$$R_1 = \frac{U}{I} = 5,4 \text{ Ом.}$$

За законом Ома для повного кола струм дорівнює

$$I = \frac{\varepsilon}{R_1 + R_2}.$$

Звідси опір $R_2 = \frac{\varepsilon}{I} - R_1 = 49,6 \text{ Ом.}$

Відповідь: $R_1 = 5,4 \text{ Ом, } c = 2,07 \text{ кДж/(кг} \cdot \text{К), } R_2 = 49,6 \text{ Ом.}$

Задача 7. У провіднику за час 10 с при рівномірному зростанні силі струму від 0 до 2 А виділилася кількість теплоти 6 кДж. Знайти опір провідника.

Дано:

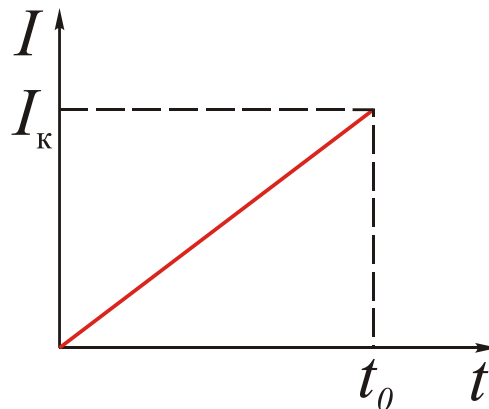
$$t = 10 \text{ с}$$

$$I_{\text{н}} = 0$$

$$I_{\text{к}} = 2 \text{ А}$$

$$Q = 6 \text{ кДж}$$

$R - ?$



Розв'язання: Залежність сили струму від часу можна записати у вигляді:

$$I(t) = \frac{I_{\text{к}} - I_{\text{н}}}{t_0} t = \frac{I_{\text{к}}}{t_0} t$$

Тоді кількість тепла, що виділиться у провіднику:

$$Q = \int_0^{t_0} R \cdot I^2(t) \cdot dt = \int_0^{t_0} R \cdot \frac{I_K^2}{t_0^2} \cdot t^2 \cdot dt = R \cdot \frac{I_K^2}{t_0^2} \cdot \int_0^{t_0} t^2 \cdot dt =$$

$$= R \cdot \frac{I_K^2}{t_0^2} \cdot \frac{t_0^3}{3} = \frac{R \cdot I_K^2 \cdot t_0}{3}$$

Звідки

$$R = \frac{3Q}{I_K^2 \cdot t_0} :$$

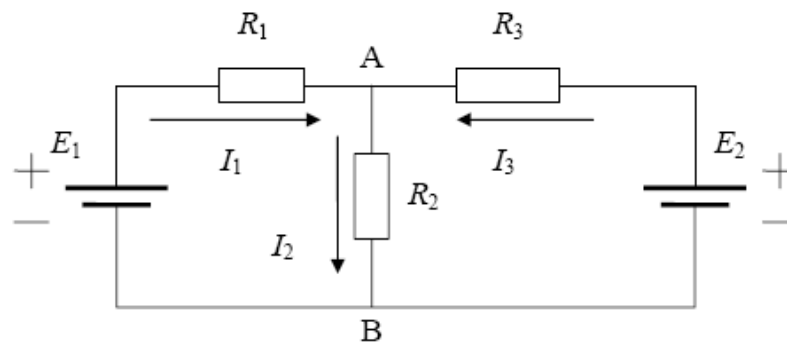
Підставляючи значення, отримаємо

$$R = \frac{3Q}{I_K^2 \cdot t_0} = \frac{3 \cdot 6 \cdot 10^3 \text{ Дж}}{4 \text{ А}^2 \cdot 10 \text{ с}} = 450 \frac{\text{В} \cdot \text{А} \cdot \text{с}}{\text{А}^2 \cdot \text{с}} = 450 \text{ Ом}$$

Відповідь: $R = 450 \text{ Ом}$.

Задача 8. Визначте силу струму I_3 в резисторі опором R_3 у схемі, що показана на рисунку, та напругу U_3 на кінцях резистора, якщо $E_1 = 4 \text{ В}$, $E_2 = 3 \text{ В}$, $R_1 = 2 \text{ Ом}$, $R_2 = 6 \text{ Ом}$, $R_3 = 1 \text{ Ом}$. Внутрішніми опорами джерел струму знехтувати.

Розв'язання: Струми, що течуть через резистори, і їх напрямки вказані на рисунку. Сили струмів в розгалуженому ланцюзі визначають за допомогою законів Кірхгофа.



Застосування другого закону Кірхгофа вимагає попереднього вибору довільного замкнутого контуру в ланцюзі і вибору напрямку обходу цього контуру. Якщо напрямок ЕРС в контурі збігається з напрямком обходу, то ЕРС береться зі знаком плюс, а якщо немає, то зі знаком мінус. Якщо напрямок струму через деякий резистор збігається з напрямком обходу, то падіння напруги на ньому (добутку сили струму на опір) береться зі знаком плюс, а якщо немає, то зі знаком мінус.

З урахуванням зазначеного правила знаків, другий закон Кірхгофа формулюється так: алгебраїчна сума падінь напруги в довільному замкнутому контурі ланцюга дорівнює алгебраїчній сумі ЕРС, що діють в цьому контурі. Застосування другого закону Кірхгофа для контуру АЕ₁В дає:

$$I_1 R_1 + I_2 R_2 = E_1 ,$$

а для контуру АЕ₂В маємо:

$$I_3 R_3 + I_2 R_2 = E_2 .$$

Отримані рівняння являють собою систему трьох рівнянь з трьома невідомими струмами I_1 , I_2 і I_3 . Вирішуючи цю систему, знайдемо всі три невідомі величини струмів. Зокрема:

$$I_3 = \frac{E_2 R_1 + E_2 R_2 - E_1 R_2}{R_1 R_2 + R_1 R_3 + R_2 R_3} .$$

Напруга на кінцях резистора дорівнює $U_3 = I_3 R_3$. Підстановка чисельних значень задачі дає наступний результат: $I_3 = 0$ і $U_3 = 0$.

Відповідь: $I_3 = 0$ і $U_3 = 0$.

Задача 9. У коло, що складається з джерела струму ЕРС і резистора $R = 10$ Ом, підключають вольтметр, спочатку паралельно, а потім послідовно резистору, при цьому показники вольтметра однакові. Визначте внутрішній опір джерела струму ЕРС, якщо опір вольтметра $R_v = 500$ Ом.

Дано:

$$R = 10 \text{ Ом}$$

$$R_v = 500 \text{ Ом}$$

$$U_1 = U_2$$

r - ?

Розв'язання: Згідно з умовами задачі, вольтметр один раз підключають до резистора паралельно (рис. а), другий – послідовно (рис. б), при цьому його показники однакові.

Силу струму знайдемо згідно з законом Ома для повного кола:

- при паралельному з'єднанні

$$I_1 = \frac{\varepsilon}{\frac{RR_1}{R+R_v} + r}.$$

- при послідовному з'єднанні

$$I_2 = \frac{\varepsilon}{R + R_v + r},$$

де ε – ЕРС джерела.

Падіння напруги на вольтметрі

- при паралельному з'єднанні

$$U_1 = \frac{\varepsilon}{\frac{RR_1}{R+R_v} + r} \cdot \frac{RR_v}{R+R_v},$$

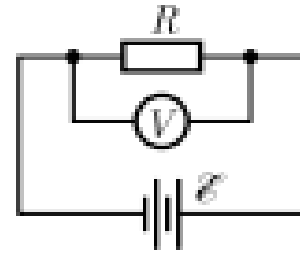
($\frac{RR_1}{R+R_v}$ – опір паралельного з'єднання вольтметра і резистора);

- при послідовному з'єднанні

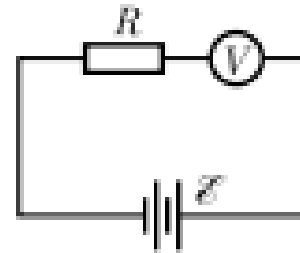
$$U_2 = \frac{\varepsilon}{R + R_v + r} R_v.$$

Прирівнюючи вирази (1) і (2), згідно умові $U_1 = U_2$, отримаємо

$$\frac{RR_v}{\left(\frac{RR_1}{R+R_v} + r\right)(R+R_v)} = \frac{R_v}{R+R_v+r}$$



а



б

або

$$\frac{R}{RR_v + Rr + R_v r} = \frac{1}{R + R_v + r}.$$

Звідки після елементарних перетворень, шуканий внутрішній опір дорівнює:

$$r = \frac{R^2}{R_v}.$$

Підставивши числові значення в останню формулу, отримаємо

$$r = \frac{R^2}{R_v} = 0,2 \text{ Ом}.$$

Відповідь: $r = 0,2 \text{ Ом}$.

Задача 10. Три джерела е. р. с. $E_1 = 11 \text{ В}$, $E_2 = 4 \text{ В}$, $E_3 = 6 \text{ В}$ і три реостати з опорами $R_1 = 5 \text{ Ом}$, $R_2 = 10 \text{ Ом}$ і $R_3 = 2 \text{ Ом}$ з'єднані так, як показано на рис. 40. Визначити сили струмів у реостатах. Внутрішніми опорами джерел струмів знехтувати.

Розв'язання: На представленій схемі виберемо напрямки струмів I_1 , I_2 і I_3 та напрямки обходу контурів (за годинниковою стрілкою). Оскільки нам необхідно визначити величини трьох струмів, то складемо три рівняння, які пов'язуватимуть ці струми. Скористаємось для цього законами Кірхгофа.

Для вузла А: $I_1 + I_2 - I_3 = 0$;

Для контуру ABCD: $I_1 R_1 - I_2 R_2 = E_1 - E_2$;

Для контуру BAEF: $I_2 R_2 + I_3 R_3 = E_2 - E_3$;

Тобто маємо систему рівнянь:

$$\begin{cases} I_1 + I_2 - I_3 = 0 \\ 5I_1 - 10I_2 = 7 \\ 10I_2 + 2I_3 = -2 \end{cases}$$

Для розв'язку цієї системи рівнянь скористаємось методом визначників (методом Крамера). Для цього складемо головний визначник Δ та допоміжні визначники системи Δ_1 , Δ_2 , Δ_3 , які отримують заміною відповідних стовпців визначника стовпцями, складеними з вільних членів трьох вищенаведених рівнянь:

$$\Delta = \begin{vmatrix} 1 & 1 & -1 \\ 5 & -10 & 0 \\ 0 & 10 & 2 \end{vmatrix} = -20 - 50 - 10 = -80$$

$$\Delta_{I_1} = \begin{vmatrix} 0 & 1 & -1 \\ 7 & -10 & 0 \\ -2 & 10 & 2 \end{vmatrix} = 0 + 0 - 70 + 20 - 14 = -64$$

$$\Delta_{I_2} = \begin{vmatrix} 1 & 0 & -1 \\ 5 & 7 & 0 \\ 0 & -2 & 2 \end{vmatrix} = 14 + 10 = 24$$

$$\Delta_{I_3} = \begin{vmatrix} 1 & 1 & 0 \\ 5 & -10 & 7 \\ 0 & 10 & -2 \end{vmatrix} = 20 + 10 - 70 = -40$$

Враховуючи, що

$$I_1 = \frac{\Delta}{\Delta_{I_1}},$$

$$I_2 = \frac{\Delta}{\Delta_{I_2}},$$

$$I_3 = \frac{\Delta}{\Delta_{I_3}},$$

і підставивши числові значення, отримаємо

$$I_1 = 0,8 \text{ A}, I_2 = -0,3 \text{ A}, I_3 = 0,2 \text{ A}.$$

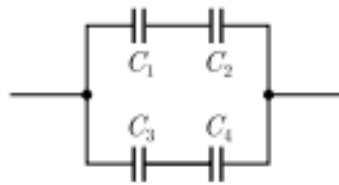
Знак «-» для струму I_2 означає, що напрямок цього струму був вибраний помилково. Але методика розв'язування задач на закони Кірхгофа дозволяє виправити цю помилку таким чином: на рисунку вибрати напрямок струму протилежний довільно вибраному (що дозволяє методика розв'язування задач на закони Кірхгофа), а у відповіді написати знак «+».

Відповідь: $I_1 = 0,8 \text{ A}$, $I_2 = -0,3 \text{ A}$, $I_3 = 0,2 \text{ A}$.

4. ЗАВДАННЯ ДЛЯ САМОСТІЙНОГО РІШЕННЯ

Задача 1. Два плоских повітряних конденсатора однакової ємності з'єднанні паралельно та зарядженні до різниці потенціалів $U = 150$ В. Визначте різницю потенціалів цієї системи, якщо простір між обкладинками одного з конденсаторів заповнено парафіном ($\varepsilon = 2$).

Задача 2. Визначте ємність C батареї конденсаторів, зображеної на рисунку. Електроємність кожного конденсатора $C_i = 1$ пФ ($i = 1, \dots, 4$).



Задача 3. Напруга на затискачах елемента в замкнутому ланцюзі $U = 2,1$ В, опори $R_1 = 5$ Ом, $R_2 = 6$ Ом і $R_3 = 3$ Ом (рис.1). Який струм I показує амперметр?

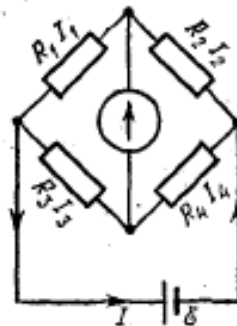


Рис.1.

Задача 4. Знайти струми I_i в окремих гілках містка Уїтстона (рис. 1) за умови, що через гальванометр те не йде. ЕРС елемента $\varepsilon = 2$ В, опори $R_1 = 30$ Ом, $R_2 = 45$ Ом і $R_3 = 200$ Ом.

Задача 5. По двох паралельних нескінченно довгих дротах течуть в однакових напрямках струми силою $I = 100$ А. Відстань між дротами $d = 0,1$ м. Визначити магнітну індукцію $\mathbf{B}$ у точці, віддаленій від одного провідника на відстань $r_1 = 5$ см і від іншого – на відстань $r_2 = 12$ см.

Задача 6. З тонкого дроту завдовжки $l=20$ см виготовили круглий виток і помістили його в магнітне поле ($B=10$ мТл) так, що площа витка складає кут 45° з напрямом вектора магнітної індукції. По дроту пропустили струм $I=50$ А. Визначити момент сили, діючої на виток.

Задача 7. Опори $R_2 = 20$ Ом і $R_3 = 15$ Ом (рис. 2). Через опір R_2 тече струм $I_2 = 0,3$ А. Амперметр показує струм $I = 0,8$ А. Знайти опір R_1 .

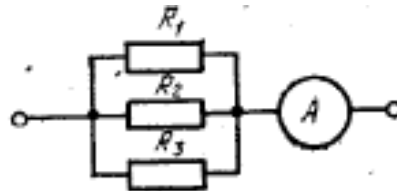


Рис. 2.

Задача 8. ЕРС Елементів $\varepsilon_1 = 2,1$ В і $\varepsilon_2 = 1,9$ В, опори $R_1 = 45$ Ом, $R_2 = 10$ Ом і $R_3 = 10$ Ом (рис. 3). Знайти струми I_i у всіх гілках ланцюга.

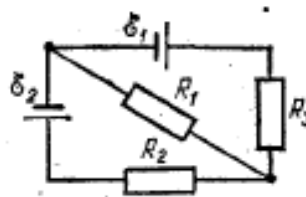


Рис.3

Задача 9. ЕРС батареї $\varepsilon = 100$ В опори $R_1 = R_3 = 40$ Ом, $R_2 = 80$ Ом і $R_4 = 34$ Ом (рис. 4). Знайти струм I_2 , що тече через опір R_2 , і падіння потенціалу на ньому.

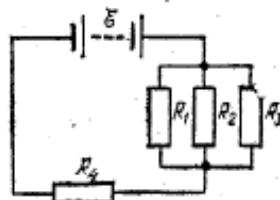


Рис. 4

Задача 10. Два елементи з однаковими ЕРС $\varepsilon_1 = \varepsilon_2 = 2$ В і внутрішніми опорами $r_1 = 0,6$ Ом і $r_2 = 0,4$ Ом замкнуті на зовнішній опір R (рис. 5). Через елемент з

ЕРС ε_1 тече струм $I_1 = 1$ А. Знайти опір R і струм I_2 , що тече через елемент з ЕРС ε_2 . Який струм I тече через опір R ?

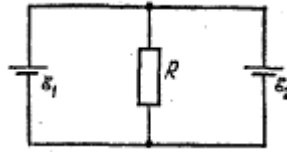
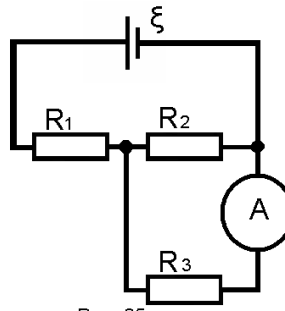


Рис. 5.

Задача 11. Джерело ЕРС спочатку замикають на резисторі опором R_1 , а потім на резисторі опором R_2 , при цьому в обох випадках виділяється однакова кількість теплоти. Визначте внутрішній опір r джерела струму.

Задача 12. Напруга на затискачах елемента в замкнутому ланцюзі $U=2,1$ В, опору $R_1=5$ Ом, $R_2=6$ Ом і $R_3=3$ Ом (рис.). Який струм I показує амперметр?

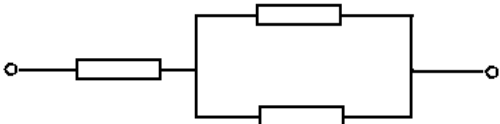


5. ТЕСТИ НА ТЕМУ «ЕЛЕКТРИЧНИЙ СТРУМ»

1.	Густиною електричного струму називається...	1. Вектор, що збігається з напрямом швидкості позитивних носіїв заряду в точці, що розглядається, і чисельно рівний силі струму через одиницю площі поверхні перпендикулярної напрямку швидкості носіїв заряду. 2. скаляр, що дорівнює силі струму крізь одиницю площі поверхні перпендикулярного напрямку струму. 3. скаляр рівний відношенню сили струму до площі поперечного перерізу провідника.
----	---	---

		4. скаляр рівний відношенню заряду до площі поперечного перерізу провідника та часу.
2.	2. Електрорушійною силою (е.р.с.), що діє на ділянці ланцюга 1-2, називається величина ...	1. рівна сумі потенціалів у точках ланцюга 1 і 2. 2. чисельно дорівнює зміні потенційної енергії позитивного заряду при переміщенні його ділянці ланцюга 1-2. 3. рівна силі, що діє на заряд, під дією якої відбувається його переміщення з точки 1 до точки 2 ланцюга. 4. чисельно рівна роботі, що здійснюється сторонніми силами при переміщенні ділянкою ланцюга 1-2 одиничного позитивного заряду.
3.	Закон Ома для повного кола (I - сила струму, $\varphi_1 - \varphi_2$ різниця потенціалів, $\mathcal{E}$ - э.р.с., R – опір, r – внутрішній опір джерела струму, $\vec{J}$ - густина струму, ρ - питомий електричний опір γ - питома електрична провідність, $\vec{E}$ - напруженість електричного поля):	1. $I = \frac{\varphi_1 - \varphi_2 + \mathcal{E}}{R}$. 2. $I = \frac{\varphi_1 - \varphi_2}{R}$. 3. $I = \frac{\mathcal{E}}{R + r}$. 4. $\vec{J} = \gamma \vec{E}$.
4.	Закон Ома у диференціальній формі має вигляд: (U – напруга, I – струм на ділянці кола опором R , E – напруженість електричного поля в опорі довжиною d , J - густина струму в опорі з поперечним перерізом S , γ - питома електрична провідність)	1. $I = \frac{U}{R}$. 2. $I = \frac{Ed}{R}$ 3. $J = \frac{U}{RS}$ 4. $\vec{J} = \gamma \vec{E}$
5.	Перше правило Кірхгофа:	1. Сила струму в будь-якому перерізі ділянки ланцюга одна й та сама. 2. Сила струму у будь-якому перерізі ділянки ланцюга дорівнює нулю. 3. Алгебраїчна сума струмів у будь-якому вузлі ланцюга дорівнює нулю.

		4. Векторна сума густин струмів у будь-якому вузлі ланцюга дорівнює нулю.
6.	Друге правило Кірхгофа:	1. Алгебраїчна сума падінь напруг на всіх ділянках замкнутого контуру дорівнює сумі алгебри е.д.с. 2. Алгебраїчна сума падінь напруги на всіх ділянках замкнутого контуру завжди дорівнює нулю. 3. Сума модулів напруг на всіх ділянках ланцюга дорівнює сумі модулів е.р.с. 4. Алгебраїчна сума падінь напруг на всіх ділянках ланцюга дорівнює сумі алгебри е.д.с.
7.	При збільшенні сили струму, що проходить через резистор, вдвічі його опір через нагрівання зменшився вдвічі., При цьому потужність, що виділяється на опорі....	1. збільшиться в 2 рази. 2. збільшиться в 4 рази. 3. не зміниться. 4. збільшиться, приблизно, в 1,4 рази.
8.	Електричним струмом називається...	1. хаотичний рух заряджених частинок. 2. тільки упорядкований рух електронів. 3. тільки упорядкований рух іонів. 4. упорядкований рух заряджених частинок, або мікроскопічних тіл.
9.	Силою струму I називається фізична величина, яка визначається виразом (U – напруга, j - густина струму, R - опір провідника, R_0 - опір середовища, q - заряд, t - час, ε - ЕРС)	1. $I = j^2 S$. 2. $I = \frac{U^2}{R}$. 3. $I = \frac{dq}{dt}$. 4. $I = \frac{\varepsilon}{R + R_0}$.
10.	Закон Ома для однорідної ділянки кола (без джерела ЕРС) має вигляд... У приведених формулах: ε – ЕРС джерела; R_0 – внутрішній опір джерела; $\gamma = \frac{1}{\rho}$ – питома	1. $I = \frac{\varphi_1 - \varphi_2 + \varepsilon_{12}}{R + R_0}$. 2. $I = \frac{\varphi_1 - \varphi_2}{R} = \frac{U}{R}$. 3. $I = \frac{\varepsilon}{R + R_0}$.

	провідність; ρ – питомий опір.	4. $\vec{j} = \gamma \vec{E} = \frac{1}{\rho} \vec{E}$.
11	Якщо опори всіх резисторів однакові и дорівнюють 4 Ом, то загальний опір на схемі ділянки кола дорівнює... 	1. 6 Ом. 2. 12 Ом. 3. 8 Ом. 4. 4,5 Ом.
12	Якщо провідник (дріт) розрізати на декілька частинок та з'єднати паралельно, то загальний опір...	1. збільшиться. 2. зменшиться. 3. не зміниться. 4. може як зменшитись так і збільшитись.

РЕКОМЕНДОВАНІ ДЖЕРЕЛА ІНФОРМАЦІЇ

1. Скіцько І.Ф., Скіцько О.І Фізика: підручник: Київ: НТУУ КПІ імені Ігоря Сікорського, 2017. 513 с. URL:
<https://ela.kpi.ua/handle/123456789/19035?mode=full>
2. Кармазін В. В., Семенець В. В. Курс загальної фізики: навчальний посібник для вищих навчальних закладів. Київ.: Кондор, 2016. 786 с
3. Фізика: навчальний посібник з розв'язування задач з курсу загальної фізики / Вербицький Б. І., Король А. М., Котікова С. М., Медвідь Н. В. К.: ІНКОС, 2016. 376 с. URL:
<http://dspace.nuft.edu.ua/jspui/bitstream/123456789/23788/1/posibnyk1.pdf>
4. Галушак М.О., Федоров О.Є. Курс фізики. Електромагнетизм: підручник. Івано-Франківськ: ІФНТУНГ, 2016. 405 с.
5. Герасимов О.І., Андріанова І.С., Фізика в задачах: підручник. Одеський державний екологічний університет. Одеса: ТЭС, 2017. 564с. URL:
https://www.researchgate.net/profile/Iryna-Andrianova/publication/341057029_Fizika_v_zadacah/links/5eab4af0299bf18b958a72f6/Fizika-v-zadacah.pdf
6. Клубіс Я. Д., Шкатуляк Н. М. Основи електродинаміки. – Державний заклад «Південноукраїнський національний педагогічний університет імені К. Д. Ушинського» від 24 грудня 2020 р., пр. № 7. Одеса: Університет Ушинського, 2020. 208 с.
7. Клубіс Я. Д. , Шкатуляк Н. М. Збірник задач з електродинаміки. Навчальний посібник. 2-е вид.: доп., перероб. Одеса: Фенікс, 2014. 284 с.