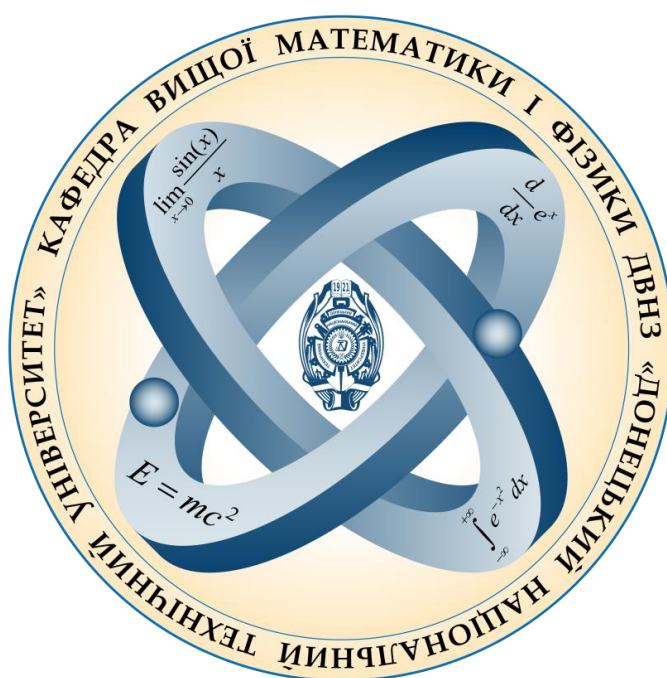


МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ ВИЩИЙ НАВЧАЛЬНИЙ ЗАКЛАД
ДОНЕЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Кафедра вищої математики і фізики

МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ
щодо організації практичних занять
з фізики. Електродинаміка
для студентів технічних спеціальностей
денної та заочної форм навчання



Покровськ, 2020

УДК 53(072)
М54

Методичні рекомендації щодо організації практичних занять з фізики. Електродинаміка для студентів технічних спеціальностей денної та заочної форм навчання / уклад. Л.Г. Сергієнко. – Покровськ: ДВНЗ ДонНТУ, 2020. – 50 с.

Мета даних рекомендацій – надати методичну та організаційну допомогу студентам для організації та реалізації самостійної підготовки з практичного курсу фізики.

Методичні рекомендації містять також перелік програми курсу фізики (електродинаміка), перелік екзаменаційних питань з електродинаміки, приклади рішення задач з цієї теми, а також завдання для самостійного опрацювання.

Укладач: Сергієнко Л. Г., к.п.н., доцент кафедри ВМФ

Рецензент: Новікова Ю.В., к.ф.-м.н., доц. кафедри ВМФ

Відповідальний за випуск: Медведєва М. І., зав. кафедрою ВМФ

Затверджено навчально-методичним відділом ДонНТУ,
протокол № 12 від 30.06.2020 р.

Розглянуто на засіданні кафедри вищої математики і фізики,
протокол № 5 від 25.05.2020 р.

Зміст

Вступ	4
1. Програма курсу фізики	6
2. Екзаменаційні питання з фізики	8
3. Короткий теоретичний курс	
3.1. Електростатика	10
3.2. Електричний струм	13
3.3. Електромагнетизм	15
3.4. Електромагнітні коливання та хвилі	18
4. Приклади рішення задач.	19
5. Завдання для самостійної роботи - 1.....	28
6. Завдання для самостійної роботи – 2.....	40
7. Питання для самоконтролю	46
Список рекомендованої літератури	49

ВСТУП

Фізика - одна з основних природничих наук. Вона вивчає закономірності найбільш загальних форм руху матерії.

«Матерія - філософська категорія для позначення об'єктивної реальності, що дана людині в його відчуттях, що копіюється, фотографується, відображається нашими відчуттями, існуючи незалежно від них». Матерія існує тільки в русі. До фізичних форм руху матерії відносяться механічна, молекулярна, електромагнітна і ядерна. Матерія, що рухається, існує в просторі і часі. Виходить, простір і час — форми існування матерії.

Фізика - наука дослідна, експериментальна. Усі фізичні закони, фізичні дослідження починаються з досвіду чи підтверджуються дослідом. Дані нових досвідів уточнюють фізичні закони чи визначають границі їхньої застосовності. Фізика - наука точна, тому широко використовує математичний апарат.

Основна особливість даних рекомендацій в тім, що фізика розглядається в ньому як єдина наука, усі розділи якої взаємозалежні. Мета цього навчального посібника - продемонструвати єдність усіх методів дослідження при рішенні задач та допомогти студентам організувати та реалізувати самостійний навчальний досвід.

У даних методичних рекомендаціях представлені задачі, постачені докладними рішеннями. Усі рішення побудовані по єдиному, найбільш доцільному плані: складання необхідних рівнянь, рішення їх у загальному виді, підстановка числових даних та їх перевірка.

До кожної теми дані короткі вказівки, що стосуються загальної методики рішення задач, і перелік основних формул, використовуваних при рішенні.

Вивчення курсу загальної фізики є одним з найважливіших елементів підготовки висококваліфікованого інженера, воно сприяє розвитку логічного мислення, підвищенню загального наукового рівня і виробленню навичок дослідження прикладних питань.

Мета даних методичних рекомендацій – допомогти студентам у самостійній організації та реалізації їхньої роботи з вивчення “Електродинаміки”. Посібник містить технологічні плани-карти лекцій, лабораторних і практичних занять. Докладний перелік тем кожної лекції супроводжується докладними літературними посиланнями через відсутність фундаментального підручника для студентів технічних спеціальностей різних форм навчання. Особливо виділяються ті питання, що виносяться на самостійне вивчення.

По всіх темах практичних занять приводяться номери задач, які необхідно вирішити для успішного засвоєння курсу. Частина цих задач вирішується на заняттях в аудиторії (приклади їхнього рішення приводяться в даному посібнику), а частина - складає завдання студенту для самостійного рішення.

Контрольні та індивідуальні завдання виконуються після вивчення студентами відповідних розділів курсу з урахуванням наступних вимог:

1. Студент виконує завдання тільки відповідно до свого варіанту.
2. Контрольні роботи виконуються в окремих зошитах або на аркушах формату А-4, залишаючи поля для зауважень рецензента.
3. На титульному листі обов’язково вказується предмет (фізика), номер контрольної роботи, прізвище та ім’я по-батькові, номер варіанту, дату виконання роботи і домашню адресу студента.
4. Перш за все, необхідно уважно прочитати умову завдання, записати його в повній і стислій формах.
5. Вказати основні закони та формули, на яких базується рішення цієї задачі, дати пояснення цих законів.
6. Навести креслення, яке пояснює зміст задачі (якщо це необхідно та можливо).
7. Супроводити рішення задачі короткими, але вичерпними поясненнями.

8. Завдання з невеликою кількістю розрахунків слід виконувати в загальному вигляді, а потім у одержані формули підставити чисельні значення величин. Зробити їх перевірку.
9. Для завдань з великою кількістю розрахунків необхідно спочатку показати загальний засіб рішення, скласти відповідні рівняння, які зручніше потім виконувати з підставленими численними значеннями.
10. Результати, які одержані під час виконання завдань, слід перевіряти та обґрунтовувати. Оцінити правдоподібність одержаних численних результатів, зробити висновки.
11. Якщо під час виконання завдань, або при вивченні навчальної літератури з фізики та спеціальних дисциплін виникають труднощі, необхідно звернутися за консультацією до викладача, вказуючи при цьому на особисті міркування щодо рішення цієї задачі.
12. Якщо студент отримав роботу, яка не залікована, то необхідно виправити усі помилки, вказані рецензентом. Виправлення виконуються в тім же зошиті в кінці самої роботи з вказівкою: “Доробка контрольної роботи”.

1. ПРОГРАММА КУРСУ “ЕЛЕКТРОДИНАМІКА”

Тема 1. Електричне поле у вакуумі

Закон збереження та квантування заряду. Закон Кулона. Електричне поле. Напруженість поля. Принцип суперпозиції. Потенціал. Енергія взаємодії системи зарядів. Диполь. Циркуляція і ротор електростатичного поля. Теорема Остроградського-Гауса для електростатичного поля.

Література [(1), § 77-86, (3,9)].

Тема 2. Електричне поле в діелектриках

Полярні і неполярні діелектрики. Напруженість поля в діелектрику. Поляризованість. Об'ємні і поверхневі зв'язані заряди. Сегнетоелектрики.

Література [(1) §87-91, (2)].

Тема 3. Провідники в електричному полі

Рівновага зарядів на провіднику. Провідник у зовнішнім електричному полі. Електроємність. Конденсатори.

Література [(1) §92-94, (3,9)].

Тема 4. Енергія електричного поля

Енергія зарядженого провідника. Енергія зарядженого конденсатора. Енергія електричного поля.

Література [(1) §95, (3)].

Тема 5. Постійний електричний струм

Електричний струм, сила та густина струму. Рівняння безперервності. Сторонні сили. Електрорушійна сила. Закон Ома. Опір провідників. Закон Ома для неоднорідної ділянки ланцюга. Розгалужені ланцюги. Правила Кірхгофа для розгалужених кіл. Потужність струму. Закон Джоуля-Ленца.

Література [(1) §96-101, (3)].

Тема 6. Магнітне поле у вакуумі

Взаємодія струмів. Магнітне поле та його характеристики. Поле заряду, що рухається. Закон Біо-Савара-Лапласа. Сила Лоренца. Закон Ампера. Контур зі струмом у магнітному полі. Робота, чинена при переміщенні струму в магнітному полі. Дивергенція і ротор магнітного поля. Теорема Остроградського-Гауса для магнітного поля. Поле соленоїда і тороїда.

Література [(1) §109-121, (3,9)].

Тема 7. Магнітне поле в речовині

намагнічення магнетика. Напруженість магнітного поля. Види магнетиків. Діамагнетизм. Парамагнетизм. Феромагнетизм.

Література [(1) §131-136].

Тема 8. Електромагнітна індукція

Явище електромагнітної індукції. Електрорушійна сила індукції. Явище самоіндукції. Індуктивність. Взаємна індукція. Енергія магнітного поля.

Література [(1) §122-123;130, (3,9)].

Тема 9. Основи теорії Максвела

Вихрове електричне поле. Струми зміщення. Рівняння Максвела.

Література [(1) §137-139, (2,3)].

Тема 10. Класична теорія електропровідності металів

Природа носіїв струму в металах. Елементарна класична теорія металів. Ефект Холла.

Література [(1) §102-103; 117].

Тема 11. Електричний струм в газах.

Самостійна та несамостійна провідність. Газовий розряд. Газорозрядна плазма. Тліючий розряд. Дуговий розряд. Іскровий та коронний розряди.

Література [(1) §104-108].

Тема 12. Електромагнітні коливання і хвилі.

Квазістаціонарні струми. Вільні коливання в контурі без активного опору. Вільні згасаючі коливання. Вимушені електричні коливання. Резонанс. Вимушений струм. Змінний струм. Резонанс напруги та струму.

Література [(1) §146-152; 161-164].

2. ЕКЗАМЕНАЦІЙНІ ПИТАННЯ З ФІЗИКИ (ЕЛЕКТРОДИНАМІКА)

БЛОК № 1 ЕЛЕКТРОСТАТИКА

1. Електричний заряд. Закон збереження та квантування електричного заряду. Електричне поле та його характеристики (напруженість, індукція). Графічне зображення електричного поля.
2. Електричні заряди та їх взаємодія. Закон Кулона. Діелектрична проникність.
3. Напруженість електричного поля як градієнт потенціалу. Принцип суперпозиції електростатичних полів. Поле диполя.
4. Потік вектору напруженості електростатичного поля.
5. Теорема Остроградського-Гауса для електростатичних полів та її застосування до розрахунку електричних полів.
6. Циркуляція вектору напруженості електростатичного поля.
7. Електричне поле в речовинах. Провідники та діелектрики і їх застосування. Сегнетоелектрики.

8. Енергетична характеристика електричного поля: потенціал. Електроємність провідника та конденсатора.
9. Конденсатори та їх застосування.
10. Робота переміщення в електростатичному полі.
11. Енергія електричного поля та об'ємна густина.

БЛОК №2 ЕЛЕКТРИЧНИЙ СТРУМ

1. Сталий електричний струм, його характеристики та умови існування.
2. Сторонні сили та джерела струму. Електрорушійна сила (ЕРС) струму.
3. Закон Ома в диференціальному вигляді та його використання.
4. Закон Ома в інтегральному вигляді та його використання. Наслідки з цього закону.
5. Опір провідників. Закони послідовного та паралельного з'єднання провідників.
6. Робота та потужність сталого струму.
7. Правила Кірхгофа для розгалужених провідників та його використання.
8. Теплова дія електричного струму. Закон Джоуля–Ленца в диференціальному вигляді.
9. Електричний струм у різних середовищах (металах, рідинах, газах, вакуумі). Плазма.
10. Термоелектричні явища та їх використання. Термоелектронна емісія. Робота виходу електрону із металу.
11. Термоелектронні лампи та їх застосування.

БЛОК №3 ЕЛЕКТРОМАГНЕТИЗМ

1. Магнітне поле та його характеристики (напруженість і індукція). Графічне зображення магнітного поля. Дія магнітного поля на нерухомі заряди (сила Ампера).
2. Магнітне поле струму. Закон Біо-Савара-Лапласа та його застосування.
3. Вихровий характер магнітного поля. Закон повного струму та його використання.
4. Дія магнітного поля на рухомі заряди. Сила Лоренца.

5. Рух заряджених частинок в магнітному полі. Магнітні прискорювачі та їх використання.
6. Ефект Холла та його використання.
7. МГД-генератор та його використання.
8. Магнітний потік. Теорема Остроградського-Гауса для магнітного поля.
9. Робота переміщення провідника і контуру із струмом у магнітному полі.
10. Явище електромагнітної індукції. Досліди та закон Фарадея. Правило Ленца.
11. Явище самоіндукції та його використання. Індуктивність.
12. Магнітне поле в речовинах. Типи магнетиків. Природа феромагнетизму.
13. Основи теорії Максвелла. Рівняння Максвелла для електромагнітного поля.
14. Змінний електричний струм та його характеристики. Закон Ома для змінного струму.
15. Трансформатори та їх застосування.

БЛОК №4 ЕЛЕКТРОМАГНІТНІ КОЛИВАННЯ Й ХВИЛІ

1. Електромагнітні коливання. Електричний коливальний контур. Диференціальне рівняння електромагнітних коливань.
2. Електромагнітні хвилі. Основні властивості електромагнітних хвиль. Шкала електромагнітних хвиль. Вектор Умова-Пойнтинга.
3. Роботи Герца. Радіо А. Попова.

3. Короткий теоретичний курс

3.1. ЕЛЕКТРОСТАТИКА

За законом Кулона сила електростатичної взаємодії між двома зарядженими тілами, розміри яких малі в порівнянні з відстанню r між ними, визначається формулою:

$$F = \frac{q_1 \cdot q_2}{4\pi\epsilon_0 r^2},$$

де q_1 і q_2 - електричні заряди тіл,

ϵ - відносна діелектрична проникність середовища,

$\varepsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{12} \text{ Ф/м}$ - електрична постійна.

Напруженість електричного поля визначається формулою: $E = \frac{F}{q}$,

де F — сила, що діє на заряд q .

Напруженість поля точкового заряду: $E = \frac{q}{4\pi\varepsilon_0\varepsilon r^2}$,

Напруженість електричного поля декількох зарядів знаходиться за правилом векторного додавання, тобто за допомогою принципу суперпозиції.

По теоремі Гауса потік напруженості крізь будь-яку замкнуту поверхню:

$$N_E = \frac{1}{\varepsilon_0\varepsilon} \sum qi,$$

де $\sum qi$ – алгебраїчна сума зарядів, що знаходяться усередині цієї поверхні.

Потік електричного зсуву крізь будь-яку замкнуту поверхню:

$$N_E = \sum q_i$$

Напруженість поля, утвореного зарядженою нескінченно довгою ниткою:

$$E = \frac{\tau}{2\pi\varepsilon_0\varepsilon a},$$

де τ - лінійна щільність заряду на нитці a - відстань від нитки.

Напруженість поля, утвореного зарядженою нескінченно протяжною площиною:

$$E = \frac{\sigma}{2\varepsilon_0\varepsilon},$$

де σ поверхнева щільність заряду на площині.

Напруженість поля, утвореного різнойменно зарядженими рівнобіжними нескінченними площинами:

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon_0\varepsilon}.$$

Напруженість поля, утвореного зарядженою кулею: $E = \frac{q}{4\pi\varepsilon_0\varepsilon r^2}$,

де q - заряд кулі радіусом R ;

r - відстань від центра кулі.

Електричний зсув D визначається співвідношенням: $D = \varepsilon_0 \varepsilon E = \sigma$

Різниця потенціалів між двома точками електричного поля визначається роботою, яку треба виконати, щоб одиницю позитивного заряду перенести з однієї точки в іншу:

$$U = \varphi_1 - \varphi_2 = \frac{A}{q}.$$

Потенціал поля точкового заряду: $E \frac{q}{4\pi\varepsilon_0\varepsilon \cdot r^2}$,

де r - відстань від заряду.

Напруженість електричного поля і потенціал зв'язані співвідношенням:

$$E = \frac{d\varphi}{dr} = - \mathbf{grad} \varphi$$

У випадку однорідного поля плоского конденсатора напруженість: $E = \frac{U}{d}$,

де U - різниця потенціалів між пластинами конденсатора

d - відстань між ними.

Потенціал відокремленого провідника і його заряд зв'язані співвідношенням:

$$q = C\varphi$$

де C - ємність провідника.

Ємність плоского конденсатора:

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

де S - площа кожної пластини конденсатора.

Ємність сферичного конденсатора:

$$C = \frac{4\pi\varepsilon_0\varepsilon R}{R - r}$$

де r і R - радіуси внутрішньої і зовнішньої сфер.

Ємність відокремленої кулі:

$$C = 4\pi\varepsilon_0\varepsilon r$$

Ємність циліндричного конденсатора:

$$C = \frac{2\pi\varepsilon_0\varepsilon L}{\ln(R/r)}$$

де L - висота коаксіальних циліндрів,

r і R - радіуси внутрішнього і зовнішнього циліндрів.

Ємність системи конденсаторів:

- при рівнобіжній сполуці конденсаторів:

$$C_1 + C_2 + C_3 + \dots$$

при послідовній сполуці:

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} + \dots$$

Енергія відокремленого зарядженого провідника може бути знайдена по одній з наступних формул:

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

У випадку плоского конденсатора енергія визначається:

$$W = \frac{\epsilon_0 \epsilon S U^2}{2d} = \frac{\epsilon_0 \epsilon E^2 S d}{2} = \frac{\sigma^2 S d}{2\epsilon \epsilon_0}$$

де S - площа кожної пластини конденсатора,

σ - поверхнева щільність заряду на пластинах,

U - різниця потенціалів між пластинами,

d - відстань між ними.

Об'ємна щільність енергії електричного поля:

$$W_0 = \frac{\epsilon_0 \epsilon E^2}{2} = \frac{E \cdot D}{2}$$

Сила притягання між пластинами плоского конденсатора:

$$F = \frac{\epsilon_0 \epsilon E^2}{2} = \frac{\epsilon_0 \epsilon S U^2}{2d^2} = \frac{\sigma^2 S}{2\epsilon_0 \epsilon}$$

3.2. ЕЛЕКТРИЧНИЙ СТРУМ

Сила струму I чисельно дорівнює кількості електрики, що проходить через поперечний переріз провідника в одиницю часу:

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

Якщо сила струму $I = \text{const}$, то $I = \frac{q}{t}$.

Щільність електричного струму:

$$j = \frac{I}{S}$$

Струм, що тече по ділянці однорідного провідника, підкоряється закону

Ома:
$$I = \frac{U}{R}$$

де U - різниця потенціалів на конках ділянки,

R - опір цієї ділянки.

Опір провідника:

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

ρ - питомий опір;

γ - питома провідність;

l - довжина провідника;

S - площа поперечного перерізу провідника.

Питомий опір металів залежить від температури в такий спосіб:

$$\rho_1 = \rho_0(1 + \alpha t)$$

де ρ_0 - питомий опір при 0°C ,

α - температурний коефіцієнт опору.

Робота електричного струму на ділянці ланцюга:

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

Для замкнутого ланцюга закон Ома має вид:

$$I = \frac{\mathcal{E}}{R + r}$$

де $\mathcal{E}$ - ЕРС електрорушійна сила джерела струму;

R - зовнішній опір,

r – внутрішнє опір.

Повна потужність, яка виділяється в електричному колі:

$$P = \mathcal{E}I$$

Для розгалужених ланцюгів мають місце два правила (закони) Кірхгофа:

1) алгебраїчна сума струмів, що сходяться у вузлі, дорівнює нулю:

$$\sum I_i = 0$$

2) у будь-якому замкнутому контурі алгебраїчна сума падінь потенціалу на окремих ділянках ланцюга дорівнює алгебраїчній сумі ЕРС, що зустрічаються в цьому контурі:

$$\sum I_i R_i = \sum \varepsilon_i$$

3) Для електричного струму мають місце два закони Фарадея:

1) маса речовини при електролізі:

$$m = k I t = k q,$$

де q - кількість речовини, що пройшла крізь електроліт,

k - електричний еквівалент даної речовини.

2) електрохімічний еквівалент пропорційний хімічному еквіваленту:

$$K = \frac{1}{F} \cdot \frac{A}{Z}, \text{ де}$$

A - молярна маса,

Z - валентність,

$F = 9,65 \cdot 10^7$ кл/моль - постійна Фарадея.

3.3. ЕЛЕКТРОМАГНЕТИЗМ

За законом Біо-Савара-Лапласа елемент контуру dl , по якому тече струм I , застеле в деякій крапці A простору, магнітне поле напруженістю:

$$dH = \frac{I \sin \alpha}{4\pi r^2} dl$$

де r - відстань від крапки A до елемента струму dl ,

α - кут між радіусом-вектором r і елементом струму dl . Напруженість магнітного поля в центрі колового струму:

$$H = \frac{I}{2R}$$

Напруженість магнітного поля, створеного нескінченно довгим прямолінійним провідником:

$$H = \frac{I}{2\pi a},$$

де a - відстань від точки, де шукається напруженість, до провідника зі струмом.

Напруженість магнітного поля на осі колового струму:

$$H = \frac{R^2 I}{2(R^2 + a^2)^{3/2}},$$

де R - радіус колового контуру зі струмом;

a - відстань від точки, де шукається напруженість, до площини контуру.

Напруженість магнітного поля усередині тороїда і нескінченно довгого соленоїда:

$$H = nI,$$

де n - число витків на одиницю довжини соленоїда (тороїда).

Магнітна індукція B зв'язана з напруженістю H магнітного поля співвідношенням:

$$B = \mu_0 \mu H,$$

де μ - магнітна проникність середовища,

$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ Гн/м – магнітна стала.

Об'ємна щільність енергії магнітного поля:

$$W = \frac{HB}{2}$$

Потік магнітної індукції крізь контур:

$$\Phi = BS \cos \varphi,$$

де φ - кут між нормаллю до площини контуру і напрямком магнітного поля.

Потік магнітної індукції крізь тороїд:

$$\Phi = \frac{\mu_0 \mu I N S}{l},$$

де N - загальне число витків тороїда,

l - його довжина,

S - площа його поперечного перерізу ,

μ - відносна магнітна проникність матеріалу сердечника.

Якщо тороїд має повітряний зазор:

$$\Phi = \frac{IN}{\frac{l_1}{S\mu\mu_0} + \frac{l_2}{S\mu\mu_0}},$$

де l_1 - довжина залізного сердечника,

l_2 - довжина повітряного зазору.

На елемент dl провідника зі струмом, що знаходиться в магнітному полі, діє сила Ампера:

$$dF = IB \sin \alpha \, dl,$$

де α - кут між напрямками струму і індукції магнітного поля.

Магнітний момент контуру зі струмом:

$$P = IS$$

Обертний момент:

$$M = BIS \sin \alpha$$

Два рівнобіжних нескінченно довгих прямолінійних провідників зі струмами I_1 і I_2 , вони взаємодіють між собою із силою:

$$F = \mu\mu_0 \frac{I_1 I_2 l}{2\pi d},$$

де l - довжина ділянки провідників,

d - відстань між ними.

Робота переміщення провідника зі струмом у магнітному полі:

$$A = I \, d\Phi$$

Сила, що діє на заряджену частинку, яка рухається зі швидкістю V у магнітному полі, визначається формулою (законом) Лоренца:

$$F = qBV \sin \alpha,$$

де α - кут між напрямками швидкості частинки і індукцією магнітного поля.

Явище електромагнітної індукції полягає в появі в контурі ЕРС індукції при всякій зміні магнітного потоку Φ крізь поверхню S , охоплювану контуром.

ЕРС індукції визначається рівнянням:

$$E_i = - \frac{d\Phi}{dt}$$

Зміна магнітного потоку досягається зміною струму в самому контурі (явище самоіндукції). При цьому ЕРС самоіндукції визначається формулою:

$$E_s = - L \frac{dl}{dt},$$

де L - індуктивність контуру.

Індуктивність соленоїда:

$$L = \mu \mu_0 n^2 IS$$

Магнітна енергія контуру зі струмом:

$$W = \frac{LI^2}{2}$$

Зміна потоку магнітної індукції може досягатися також зміною струму в сусідньому контурі (явище взаємної індукції):

$$E = - L_{12} \frac{dl}{dt},$$

де L_{12} - взаємна індуктивність контурів

3.4. ЕЛЕКТРОМАГНІТНІ КОЛИВАННЯ ТА ХВИЛІ

Період електромагнітних коливань у контурі, що складається з ємності C , індуктивності L і активного опору R , визначається формулою Томсона:

$$T = \frac{2\pi}{\sqrt{\frac{1}{LC} - \left(\frac{R}{2L}\right)^2}}$$

Якщо опір контуру настільки малий, тобто: $\left(\frac{R}{2L}\right)^2 \leq \frac{1}{LC}$, то період коливань:

$$T = 2\pi\sqrt{LC}$$

Якщо опір контуру R не дорівнює нулю, то коливання будуть згасаючими:

$$U = U_0 I^{-\delta} \cos \omega t$$

Тут $\delta = R/2L$ - коефіцієнт загасання

$\alpha e = \delta T$ логарифмічний декремент згасання

Якщо $\delta = 0$, то коливання незатухаючі

$$U = U_0 \cos \omega t$$

Закон Ома для змінного струму:

$$I = \frac{U_{yo}}{Z},$$

де $I_{\text{эф}}$ і $U_{\text{эф}}$ - ефективні значення струму і напруги, зв'язані з амплітудними значеннями I_0 і U_0 співвідношеннями:

$$I_{\text{ef}} = I_0 / \sqrt{2} \quad U_{yo} = U_0 / \sqrt{2},$$

де Z - повний опір ланцюга.

Якщо ланцюг містить опір R , ємність C і індуктивність L , з'єднані послідовно, то:

$$Z = \sqrt{R^2 + (\omega L - \frac{1}{\omega C})^2}$$

При цьому зсув фаз між напругою і струмом :

$$\tan \varphi = \frac{\omega L - \frac{1}{\omega C}}{R}$$

Повна потужність змінного струму: $P = IU$.

4. ПРИКЛАДИ РІШЕННЯ ЗАДАЧ

1. На рис. 1 маємо: АА - заряджена нескінченна площина й В - однойменно заряджена кулька з масою $m = 0.4$ мг і зарядом $q = 667$ пКл. Сила натягу нитки, на якій висить кулька, $T = 0.49$ мН. Визначте поверхневу щільність заряду на площині АА.

Дано:	СІ:	у	Д
$m = 0.4$ мг	$0.4 \cdot 10^{-6}$ кг		
$q = 667$ пКл	$667 \cdot 10^{-12}$ Кл		
$T = 0.49$ мН	$0.49 \cdot 10^{-3}$ Н		

$\sigma = ?$			

Рис.1

Рішення

Площина й кулька заряджені однойменно, тому на кульку діє електростатична сила відштовхування F . Крім того, на кульку діє сила ваги mg і сила натягу нитки T . Нитка відхиляється від вертикалі доти, поки всі сили, що діють на кульку, не зрівноважать одна одну. Запишемо умову рівноваги:

$$\mathbf{F} + \mathbf{mg} + \mathbf{T} = \mathbf{0}.$$

По теоремі Піфагора з прямокутного трикутника CDB маємо:

$$F = \sqrt{T^2 - (mg)^2}$$

Напруженість поля нескінченно зарядженої площини $E = \frac{\sigma}{2\epsilon\epsilon_0}$, з іншого боку,

$$E = \frac{F}{q}. \quad \text{Тоді маємо: } \frac{\sigma}{2\epsilon\epsilon_0} = \frac{\sqrt{T^2 - (mg)^2}}{q}$$

Звідси поверхнева щільність заряду площини AA

$$\sigma = \frac{2\epsilon\epsilon_0 \sqrt{T^2 - (mg)^2}}{q} = 7,8 \cdot 10^{-6} \text{ Кл/м}^2.$$

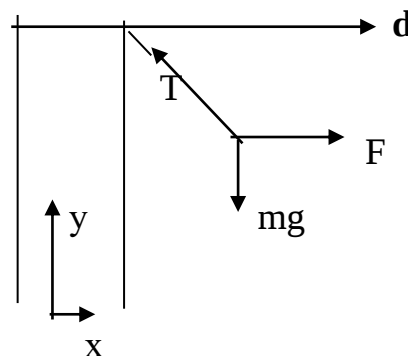
2. Між двома вертикальними пластинами, що знаходяться на відстані $d=1\text{см}$ друг від друга, на нитці висить заряджена кулька масою $m=0.1\text{г}$. Після подачі на пластини різниці потенціалів $U=1\text{кВ}$ нитка з кулькою відхилилася на кут $\alpha=10^\circ$. Знайти заряд q кульки.

Дано:

СІ:

Рішення:

$d=1\text{см}$	$0,01\text{м}$
$\alpha=10^\circ$	
$U=1\text{кВ}$	1000В
$M=0.1\text{мг}$	$0,1 \cdot 10^{-3} \text{ кг}$



$q=?$

На кульку діє сила електричного поля $F=qE$, сила натягу нитки T і сила ваги mg . Умова рівноваги $\mathbf{F} + \mathbf{T} + \mathbf{mg} = \mathbf{0}$. У проекціях на осі x і y відповідно маємо два рівняння: $F - T \sin \alpha = 0$ (1) і $T \cos \alpha - mg = 0$ (2). Напруженість поля

плоского конденсатора $E=U/d$. Таким чином, після підстановки попередніх даних, отримаємо: $\frac{gU}{d} = mgtga$, звідки: $g = \frac{dmgtga}{U} = 1,73 \text{ нКл}$.

3. Площа пластин плоского повітряного конденсатора $S = 0,01 \text{ м}^2$, відстань між ними $d=5 \text{ мм}$. До пластин конденсатора прикладена різниця потенціалів $U=3 \text{ кВ}$. Яка буде напруженість E поля конденсатора, якщо, не відключаючи його від джерела напруги, пластини розсунути до відстані $d_2 = 5 \text{ см}$? Знайти енергії W_1, W_2 конденсатора до і після розсування пластин.

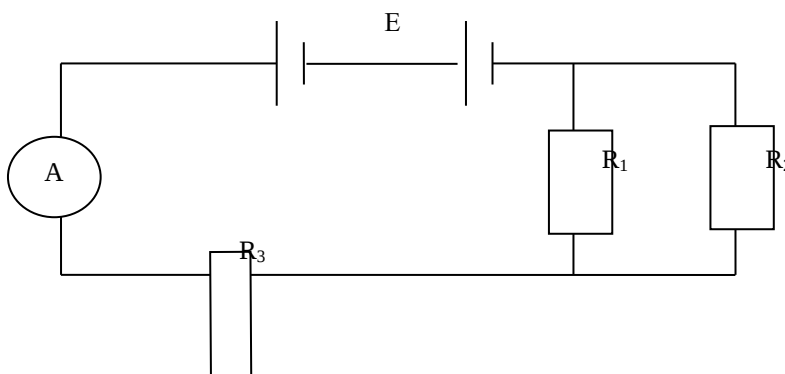
Дано:	СІ:	Рішення:
$S = 0,01 \text{ м}^2$		Тому що конденсатор постійно підключений до
$d=5 \text{ мм}$	$0,05 \text{ м}$	джерела струму, то напруга на ньому не зміниться
$U=3 \text{ кВ}$	3000 В	Напруженість поля конденсатора при розсунутих
$d_2 = 5 \text{ см}$	$0,05 \text{ см}$	пластинах визначається: $E = U / d_2$; $E=60 \text{ кВ/м}$. Ємність
		плоского конденсатора $C = S\epsilon\epsilon_0 / d$. При збільшенні
$W_1 - ?$		відстані між пластинами ємність зменшується.
$W_2 - ?$		

З формули для енергії $W = CU^2 / 2$ конденсатора через ємність і напругу, випливає, що енергія конденсатора також зменшиться.

Енергія конденсатора до розсування пластин: $W_1 = \frac{\epsilon\epsilon_0 S U^2}{2d_1} = 20 \text{ мкДж}$

Енергія конденсатора після розсування пластин: $W_2 = \frac{\epsilon\epsilon_0 S U^2}{2d_2} = 8 \text{ мкДж}$

4. ЕРС батареї $\mathcal{E} = 120 \text{ В}$, опори $R_3 = 30 \text{ Ом}$, $R_2 = 60 \text{ Ом}$. Амперметр показує струм $I=2 \text{ А}$. Знайти потужність P , що виділяється в опорі R_1 .



Рішення:

Потужність, що виділяється в ланцюзі, визначається співвідношенням $P=UI$, де U -падіння напруги на даній ділянці, I -струм, що протікає через нього. Спадання напруги на опорі R_1 : $U_1 = \varepsilon - R_3 I = 60V$.

Струм у рівнобіжній ділянці ланцюга $I = I_1 + I_2$.

За законом Ома $I_2 = \frac{U_1 r}{R_2} = 1A, I_1 = I - I_2, I_1 = 1A$

Звідси шукана потужність: $P_1 = I_1 U_1 = 60W$.

5. На плитці потужністю $P=0,5$ кВт знаходиться чайник, в якому налитий об'єм $V=1$ л води при $t_0=16^\circ C$. Вода в чайнику закипіла через час $t=20$ хв після включення плитки. Яка кількість теплоти загублена при цьому на нагрівання самого чайника, на випромінювання тощо.

Дано:

СІ:

Рішення:

$P = 0,5 \text{ кВт}$	500 Вт	Якби втрат тепла не було, на нагрівання води до температури кипіння T_k треба було витратити кількість тепла $Q_1 = mc\Delta T = V\rho c(T_k - T_0)$.
$V = 1 \text{ л}$	1000 м^3	
$t_0 = 16^\circ C$		
$\tau = 20 \text{ мин}$	1200 с	
$Q - ?$		Насправді було витрачено кількість тепла $Q_2 = P\tau$. Звідси втрати тепла склали:

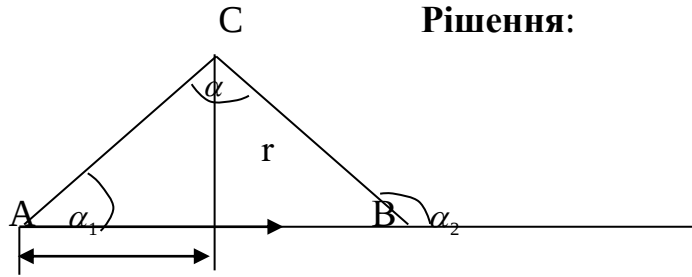
$$Q = Q_2 - Q_1 = P\tau - V\rho c(T_k - T_0) = 2,5 \cdot 10^5 \text{ Дж}.$$

6. Знайти напруженість H магнітного поля, створюваного відрізком АВ прямолінійного провідника зі струмом, у точці С, розташованій на перпендикулярі до середини цього відрізка на відстані $a=5$ см від нього. По провіднику тече струм $I=20$ А. Відрізок АВ провідника видний із точки С під кутом 60° .

Дано: $a=5\text{ см}$
 $I=20\text{ А}$
 $\alpha = 60^\circ$

СІ:
 $0,05\text{ м}$

Рішення:



Н-?

За законом Біо-Савара-Лапласа елемент контуру dl , по якому тече струм I , створює в деякій крапці A простору магнітне поле напруженістю $dH = \frac{I \sin \alpha}{4\pi \cdot r^2} dl$, де r - відстань від крапки A до елемента струму dl , α - кут між

радіус-вектор $\vec{r}$ і елементом струму dl . Напруженість магнітного поля в крапці C буде дорівнює $H = \int_{\alpha_2}^{\alpha_1} \frac{1 \cdot \sin \alpha}{4 \cdot \pi \cdot r^2} dl$. Але $l = a \cot \alpha$ і $dl = \frac{a \cdot d \cdot \alpha}{\sin^2 \alpha}$. Далі

$$r = \frac{a}{\sin \alpha}. \text{ Отже } H = -\frac{I}{4 \cdot \pi \cdot a} \int_{\alpha_2}^{\alpha_1} \sin \alpha d\alpha = \frac{I}{4 \cdot \pi \cdot a} (\cos \alpha_1 - \cos \alpha_2) = 31,8 \text{ А/м},$$

де $\alpha_2 = 180^\circ - 60^\circ = 120^\circ$.

7. Скільки ампер-витків буде потрібно для того, щоб усередині соленоїда малого діаметра і довжиною $L=30\text{ см}$ об'ємна щільність магнітного поля була рівною $W_0 = 1,75 \text{ Дж/м}^3$.

Дано:

СІ:

Рішення:

$L=30\text{ см}$

$0,3\text{ м}$

Об'ємна щільність енергії визначається: $W_0 = \frac{HB}{2}$.

$W_0 = 1,75 \text{ Дж/м}^3$

Напруженість магнітного поля соленоїда, який в

ІН-?

даних умовах можна вважати нескінченно довгим,

визначається співвідношенням: $H=In=IN/L$,

де IN - шукане число ампер-витків. Оскільки $B = \mu\mu_0 H$, то можна записати

$$W_0 = \frac{\mu\mu_0 H^2}{2}, \text{ або } W_0 = \frac{\mu\mu_0 (IN)^2}{2L^2}, \text{ відкіля } IN = \sqrt{\frac{2 \cdot W_0 \cdot L^2}{\mu^2}} = 500 \text{ А} \cdot \text{в}.$$

8. Знайти кінетичну енергію W (в електрон-вольтах) протона, що рухається по дузі кола радіусом $R=60\text{см}$ у магнітному полі з індукцією $B=1\text{Тл}$.

Дано:

$R=0,60\text{м}$

$B=1\text{Тл}$

Рішення:

На протон, що рухається в магнітному полі, діє сила Лоренца $F=q(VB)$. Оскільки протон рухається вздовж кола без поступального руху, отже

W -? вектор сили F перпендикулярний вектору швидкості V , і отже вектору магнітної індукції B . Тоді рівняння можна записати у виді $F=qVB$. Щоб протон удержався на круговій орбіті, потрібно виконання рівності

$F = ma_n$. Дорівнюючи ці рівняння, одержимо $qVB = \frac{mV^2}{R}$. Кінетична енергія

протона дорівнює $W = \frac{mV^2}{2}$ або $W = \frac{q^2 B^2 R^2}{2m}$. Підставляючи числові дані

$W = 0,28 \cdot 10^{-4} \text{ Дж}$, або $W = 0,28 \cdot 10^{-4} / 1,6 \cdot 10^{-19} = 1,75 \cdot 10^6 \text{ эВ}$.

9. На соленоїд довжиною $L=144\text{см}$ і діаметром $D=5\text{см}$ надягнутий дрововий виток. Обмотка соленоїда має $N=2000$ витків, і по ній тече струм $I=2\text{А}$. Соленоїд має залізний сердечник. Яка середня ЕРС ε індукціюється в надягнутому на соленоїд витку, коли струм у соленоїді виключається в перебігу часу $t=2\text{мс}$?

Дано:

СІ:

Рішення:

$D=5\text{см}$

$0,05\text{м}$

$I=2\text{А}$

$t=2\text{мс}$

$N=2000$

змінюю струму в соленоїді. При цьому індукційна ЕРС

визначається: $\varepsilon = -L_{12} \frac{\Delta I}{\Delta t}$, де

$L_{12} = \mu_0 \cdot \mu \cdot n_1 \cdot n_2 \cdot S \cdot I$ – взаємна індуктивність витка і

Е-?

соленоїда. Для соленоїда: $n_1 = \frac{N}{l}$ – число витків на одиницю

довжини, $S = \frac{\pi D^2}{4}$ – площа поперечного перерізу, тоді $L_{12} = \mu_0 \cdot \mu \cdot N \cdot \frac{\pi D^2}{4}$ – тому

що для витка $n_2 = 1$. Вважаючи початковий час і кінцевий струм рівним нулю, одержуємо $\Delta t = -t$ і $\Delta I = I$, тоді ЕРС можна переписати у вигляді:

$$\varepsilon_{cp} = \mu_0 \cdot \mu \cdot N \cdot I \frac{\pi D^2}{4t}. \quad \text{Напруженість магнітного поля соленоїда}$$

$$H = I \cdot n_1 = \frac{IN}{l} = 2,77 \cdot 10^3 \text{ А/м}, \text{ за графіком знаходимо значення магнітної}$$

$$\text{індукції } B = 1,6 \text{ Тл. Оскільки } B = \mu \cdot \mu_0 \cdot H, \text{ то } \mu \cdot \mu_0 = \frac{B}{H} = 0,575 \text{ мГн/м}.$$

Підставляючи знайдене значення в рівняння для ЕРС, отримаємо: $\varepsilon_{cp} = 1,61 \text{ В}$.

10. Через котушку, індуктивність якої $L=21 \text{ мГн}$, тече струм, що змінюється згодом за законом $I = I_0 \sin t$, $dI_0 = 5 \text{ А}$, $\omega = \frac{2\pi}{T}$ і $T=0,02 \text{ с}$. Знайти залежність від часу: а) ЕРС самоіндукції, що виникає в котушці; б) енергію W магнітного поля або котушки.

Дано:	Сі:	Рішення:
$L=21 \text{ мГн}$	$21 \cdot 10^{-3} \text{ Гн}$	а) ЕРС самоіндукції визначається формулою:
$I = I_0 \sin \omega t$		$\varepsilon_c = -L \frac{dI}{dt}.$
$I_0 = 5 \text{ А}$		
$T=0,02 \text{ с}$		За умовою струм змінюється з часом згідно
		закону: $I = I_0 \sin \omega t$. Одержуємо:
		$\varepsilon_c = -L \frac{d(I_0 \sin \omega t)}{dt} = -L \cdot I_0 \cdot \omega \cdot \cos \omega t,$
		де $\omega = \frac{2 \cdot \pi}{T}$, тоді $\varepsilon_c = -33 \cos 100\pi t$.

б) магнітна енергія контуру зі струмом визначається наступною формулою:

$$W = \frac{LI_0^2 \sin^2 \omega \cdot t}{2} = 0,263 \sin^2 100\pi t.$$

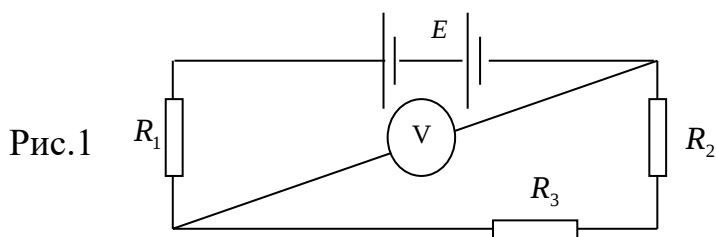
5. ЗАВДАННЯ ДЛЯ САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ – 1

1. У вершинах рівностороннього трикутника зі стороною $a=6\text{см}$ розташовані заряди $q_1 = 6\text{нКл}$, $q_2 = q_3 = -8\text{нКл}$. Визначити напрямок і величину сили, що діє на заряд $q=6,67\text{нКл}$, який знаходиться в центрі трикутника.

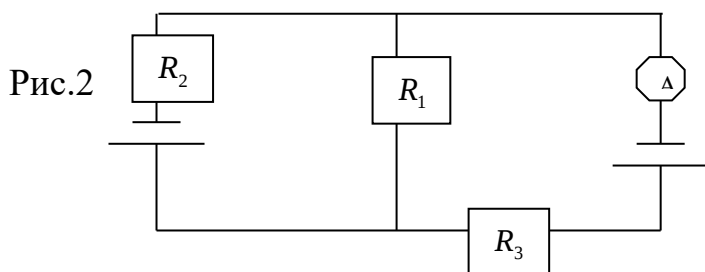
2. Між двома вертикальними пластинами на однакових відстанях від них падає порошина. У відсутності сили опору повітря порошина падає з постійною швидкістю $v=0,4\text{см/с}$. Через який час t після подачі на пластини різниці потенціалів $U=1,5\text{кВ}$ порошина досягне однієї з пластин? Яку відстань пролетить до влучення на пластину? Відстань між пластинами $d=0,4\text{см}$, маса порошини $m=0,4\text{нг}$, її заряд $q = 3,25 \cdot 10^{-17}\text{ Кл}$.

3. Дві кульки однакових радіуса $R=1\text{см}$ і маси $m=0,15\text{кг}$ заряджені до однакового потенціалу $\varphi = 3\text{кВ}$ і знаходяться на деякій відстані r_1 друг від друга. При цьому їхня енергія гравітаційної взаємодії кульок $W_{gp} = 10^{-11}\text{ Дж}$. Кульки зближаються до відстані r_2 . Робота, необхідна для зближення кульок, $A = 2 \cdot 10^{-6}\text{ Дж}$. Знайти енергію W_{el} електростатичної взаємодії кульок після їхнього зближення.

4. ЕРС батареї $\mathcal{E}=100\text{В}$, опори $R_1 = 100\text{Ом}$, $R_2 = 200\text{Ом}$, $R_3 = 300\text{Ом}$, опір вольтметра $R_v = 2\text{кОм}$. Яку різницю потенціалів U показує амперметр (рис. 1)?



5. Батареї мають ЕРС $\mathcal{E}_1 = 2\text{В}$, $\mathcal{E}_2 = 3\text{В}$, опори $R_1 = 1\text{кОм}$, $R_2 = 0,5\text{кОм}$, $R_3 = 0,2\text{кОм}$, опір амперметра $R_A = 0,2\text{кОм}$. Знайти показання амперметра (рис. 2).



6. Батареї мають ЕРС $E_1=3\text{В}$ і $E_2=2\text{В}$, опір $R_3=1,5\text{ кОм}$, опір амперметра $R_a=0,5\text{ кОм}$ (рис. 3). Падіння потенціалу на опорі R_2 рівно $U_2=1\text{ В}$ (струм через R_2 спрямований зверху вниз), Знайти показання амперметра.

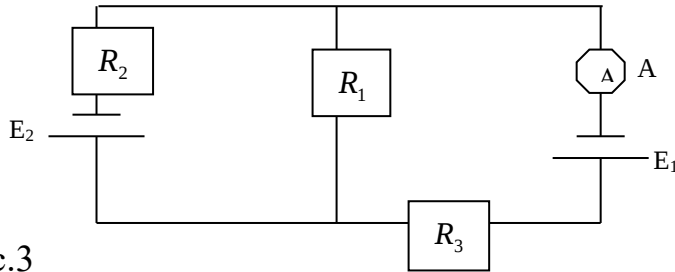


Рис.3

7. ЕРС батареї $E=120\text{ В}$, опір $R_3=30\text{ Ом}$ $R_2=60\text{ Ом}$. Амперметр показує струм $I=2\text{ А}$. Знайти потужність P , що виділяється в опорі R_1 (рис. 4)

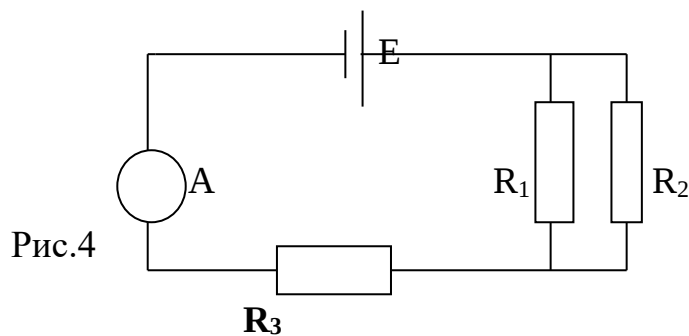


Рис.4

ТАБЛИЦЯ ВАРІАНТІВ ДО САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ № 3

Варі- ант	Номери задач							
0	3.00	3.10	5.20	3.30	3.40	3.50	3.60	3.70
1	3.01	3.11	3.21	3.31	3.41	3.51	3.61	3.71
2	3.02	3.12	3.22	3.32	3.42	3.52	3.62	3.72
3	3.03	3.13	3.23	3.33	3.43	3.53	3.63	3.73
4	3.04	3.14	3.24	3.34	3.44	3.54	3.64	3.74
5	3.05	3.15	3.25	3.35	3.45	3.55	3.65	3.75
6	3.06	3.16	3.26	3.36	3.46	3.56	3.66	3.76
7	3.07	3.17	3.27	3.37	3.47	3.57	3.67	3.77

8	3.08	5.18	3.28	3.38	3.48	3.58	3.68	3.78
9	3.09	3.19	3.29	3.39	3.49	3.59	3.69	3.79

3.00. Дві кульки вагою $P = 2 \cdot 10^{-2} \text{ Н}$ кожна підвішені у повітрі на тонких шовкових нитках довжиною $L=2\text{м}$. Кулькам надаються однойменні заряди $q = 5 \cdot 10^{-8} \text{ Кл}$. Визначити відстань між центрами кульок.

3.01. У вершинах рівностороннього трикутника зі стороною $a=6\text{см}$ розташовані заряди $q_1 = 6\text{нКл}$, $q_2 = q_3 = -8\text{нКл}$. Визначити напрямок і величину сили, що діє на заряд $q=6,67\text{нКл}$, який знаходиться в центрі трикутника.

3.02. Два точкових заряди $q_1 = 7,5\text{нКл}$, $q_2 = -14,7\text{нКл}$ розташовані на відстані $r=5\text{см}$. Знайти напруженість E електричного поля в точці, що знаходиться на відстанях $a=3\text{см}$ від позитивного заряду і $b=4\text{см}$ від негативного заряду.

3.03. Дві кульки однакових радіуса і маси підвішені на нитках однакової довжини так, що їхні поверхні стикаються. Який заряд q потрібно повідомити кулькам, щоб сила натягу ниток стала рівної $T=98\text{мН}$? Відстань від центра кульки до крапки підвісу $L=10\text{см}$, маса кожної кульки $m=5\text{г}$.

3.04. Однойменно заряджена кулька з масою $m=0,5\text{г}$ і зарядом $q=0,5\text{нКл}$ висить на нитці, що утворює кут α з нескінченно зарядженою площиною з поверхневою щільністю заряду $\sigma = 20\text{мкКл/м}^2$. Який кут α із площиною утворить нитка, на якій висить кулька?

3.05. Дві довгі однойменно заряджені нитки розташовані на відстані $r=10\text{см}$ друг від друга. Лінійна щільність заряду на нитках $\tau_1 = \tau_2 = 10\text{мкКл/м}$. Знайти модуль і напрямок напруженості результуючого електричного поля в точці, що знаходиться на відстані $a=10\text{см}$ від кожної нитки.

3.06. Два негативних точкових заряди $q_1 = -6\text{нКл}$, $q_2 = -36\text{нКл}$ розташовані на відстані $r = 3\text{м}$ друг від друга. Коли в деякій точці помістили заряд q , то всі три заряди виявилися в рівновазі. Знайти заряд і відстань між ним і зарядами q_1 і q_2 .

3.07. Три однакових точкових заряди $q=20\text{нКл}$ розташовані у вершинах рівностороннього трикутника. На кожен заряд діє сила $F=10\text{мН}$. Знайти довжину a сторони трикутника.

3.08. Навколо негативного точкового заряду $q_0 = -5\text{нКл}$ рівномірно рухається по колу під дією сили притягання маленька заряджена куля. Чому дорівнює відношення заряду кульки до її маси, якщо кутова швидкість обертання кульки $\omega = 5\text{рад/с}$, радіус кола $R=3\text{см}$?

3.09. Дві однакових заряджених кульки підвішені на нитках рівної довжини в одній крапці і занурені в рідину. Щільності матеріалу кульок і рідини рівні $\rho_{\text{ж}}, \rho$. При якій діелектричній проникності рідини кут розбіжності ниток у рідині й у повітрі буде той самий?

3.10. Між двома вертикальними пластинами на однаковій відстані від них падає порошина. Внаслідок опору повітря порошина падає з постійною швидкістю $v=2\text{см/с}$. Через який час t після подачі на пластини різниці потенціалів $U=3\text{кВ}$ порошина досягне однієї з пластин? Яку відстань по вертикалі пролетить порошина до влучення на пластину? Відстань між пластинами $d=2\text{см}$, маса порошини $m=2\text{нг}$, її заряд $q = 6,5 \cdot 10^{-17} \text{ Кл}$.

3.11. У плоскому горизонтально розташованому конденсаторі, відстань між пластинами якого $d=1\text{см}$, знаходиться заряджена крапелька олії. Під час відсутності електричного поля крапелька падає з постійною швидкістю $v_1 = 0,11\text{мм/с}$. Якщо на пластини подати різниця потенціалів $U=150\text{В}$, то крапелька падає зі швидкістю $v_2 = 0,43\text{мм/с}$. Знайти радіус r крапельки і її заряд q . Динамічна в'язкість повітря $\eta = 1,82 \cdot 10^{-5} \text{ Па} \cdot \text{с}$, щільність олії більше щільності газу, у якому падає крапелька, на $\Delta\rho = 0,9 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$.

3.12. Між двома вертикальними пластинами на однакових відстанях від них падає порошина. У відсутності сили опору повітря порошина падає з постійною швидкістю $v=0,4\text{см/с}$. Через який час t після подачі на пластини різниці потенціалів $U=1,5\text{кВ}$ порошина досягне однієї з пластин? Яку

відстань пролетить до влучення на пластину? Відстань між пластинами $d=0,4\text{см}$, маса порошини $m=0,4\text{нг}$, її заряд $q = 3,25 \cdot 10^{-17}\text{ Кл}$.

3.13. Між двома вертикальними пластинками, що знаходяться на відстані $d=1\text{см}$, друг від друга, на нитці висить заряджена бузинова кулька масою $m=0,1\text{г}$. Після подачі на пластини різниці потенціалів $U=1\text{кВ}$ нитка з кулькою відхилилася на кут $\alpha = 10^\circ$. Знайти заряд кульки.

3.14. Електрон з деякою початковою швидкістю v_0 влітає в плоский горизонтально розташований конденсатор паралельно пластинам на рівній відстані від них. Різниця потенціалів між пластинами конденсатора $U=200\text{В}$, відстань між пластинами $d=2\text{см}$, довжина конденсатора $l=10\text{см}$. Яка повинна бути гранична початкова швидкість електрона, щоб електрон не вилетів з конденсатора?

3.15. Електрон з деякою швидкістю влітає в плоский горизонтально розташований конденсатор паралельно пластинам на рівній відстані від них. Напруженість поля в конденсаторі $E=100\text{В/м}$, відстань між пластинами $d=4\text{см}$. Через який час t після того, як електрон влетів у конденсатор, він потрапить на одну з пластин? На якій відстані від початку конденсатора електрон потрапить на пластину, якщо він прискорений різницею потенціалів $U=60\text{В}$?

3.16. Електрон влітає в плоский горизонтально розташований конденсатор паралельно пластинам зі швидкістю $v_0 = 9 \cdot 10^6\text{ м/с}$. Різниця потенціалів між пластинами $U=100\text{В}$, відстань між пластинами $d=1\text{см}$. Знайти повне a , нормальне a_n і тангенціальне a_r прискорення електрона через час $t=10\text{нс}$ після початку його руху в конденсаторі.

3.17. Електрон влітає в плоский горизонтально розташований конденсатор паралельно його пластинам зі швидкістю $v_0 = 10 \cdot 10^7\text{ м/с}$. Напруженість поля в конденсаторі $E=10\text{кВ/м}$, довжина конденсатора $L=5\text{см}$. Знайти модуль і напрямок швидкості v електрона при вильоті його з конденсатора.

3.18. Пучок електронів, прискорених різницею потенціалів $U=300\text{В}$, при проходженні через незаряджений плоский горизонтально розташований конденсатор паралельно його пластинам, дає світлу пляму на флюоресцируючому екрані, розташованому на відстані $x=12\text{см}$ від кінця конденсатора. При зарядці конденсатора пляма на екрані зміщується на відстань $y=3\text{см}$. Відстань між пластинами $d=1,4\text{ см}$, довжина конденсатора $L=6\text{см}$. Знайти різницю потенціалів U , прикладену до пластин конденсатора.

3.19. Протон і α – частинка, рухаючись з однаковою швидкістю, влітають у плоский конденсатор паралельно пластинам. У скільки разів відхилення протона полем конденсатора буде більше відхилення α – частинки?

3.20. Дві кульки однакових радіуса $R=1\text{см}$ і маси $m=0,15\text{кг}$ заряджені до однакового потенціалу $\varphi = 3\text{кВ}$ і знаходяться на деякій відстані r_1 друг від друга. При цьому їхня енергія гравітаційної взаємодії кульок $W_{gp} = 10^{-11}\text{Дж}$. Кульки зближаються до відстані r_2 . Робота, необхідна для зближення кульок, $A = 2 \cdot 10^{-6}\text{Дж}$. Знайти енергію $W_{эл}$ електростатичної взаємодії кульок після їхнього зближення.

3.21. Куля 1 радіусом $R_1=10\text{см}$, заряджена до потенціалу $\varphi = 3\text{кВ}$, після відключення від джерела напруги з'єднується дротиком (ємністю якої можна зневажити) спочатку з вилученою незарядженою кулею 2, а потім після від'єднання від кулі 2, з вилученою незарядженою кулею 3. Кулі 2 і 3 мають радіуси $R_2 = R_3 = 10\text{см}$. Знайти: а)первісну енергію W_1 кулі 1; б)енергії W_1^1, W_2^1 куль 1 і 2 після споуки і роботу A розряду при споуці; с) енергії W_1^1, W_3^1 куль 1 і 3 після споуки і роботу A розряду при споуці.

3.22. Дві металевих кульки, перша із зарядом $q_1 = 10\text{нКл}$ і радіусом $R_1 = 3\text{см}$ і друга з потенціалом $\varphi = 9\text{кВ}$ і радіусом $R_2 = 2\text{см}$, з'єднані дротиком, ємністю якого можна зневажити. Знайти: а)потенціал φ_1 першої кульки до розряду; б) заряд q_2 другої кульки до розряду; с) енергії W_1, W_2 кожної кульки до розряду; d) заряд q_1^1 і потенціал φ_1^1 першої кульки після розряду; і) заряд q_2^1 і потенціал

φ_2^1 другої кульки після розряду; f) енергію W з'єднаних провідником кульок;
е) роботу A розряду.

3.23. Площа пластин плоского повітряного конденсатора $S = 12,5 \text{ см}^2$, відстань між ними $d_1 = 5 \text{ мм}$. До пластин конденсатора прикладена різниця потенціалів $U = 6 \text{ кВ}$. Пластини конденсатора розсовуються до відстані $d_2 = 1 \text{ см}$. Знайти зміну ємності конденсатора ΔC , потоку напруженості ΔN_E крізь площу електронів і об'ємної щільності енергії ΔW_0 електричного поля, якщо джерело напруги перед розсуванням: а) не відключається; б) відключається.

3.24. Простір між пластинами плоского конденсатора обсягом $V = 20 \text{ см}^3$ заповнено діелектриком ($\varepsilon = 5$). Пластини конденсатора приєднані до джерела напруги. При цьому поверхнева щільність зв'язаних зарядів на діелектрику $\sigma_{\text{св}} = 8,35 \text{ мкКл/м}^2$. Яку роботу A треба зробити проти сил електричного поля, щоб видалити діелектрик з конденсатора? Задачу вирішити, якщо видалення діелектрика виробляється: а) до відключення джерела напруги; б) після відключення джерела напруги.

3.25. Знайти об'ємну щільність енергії W_0 електричного поля в точці, що знаходиться: а) на відстані $x = 2 \text{ см}$ від поверхні зарядженої кулі радіусом $R = 1 \text{ см}$; б) поблизу нескінченної протяжної зарядженої площини; с) на відстані $x = 2 \text{ см}$ від нескінченної довгої зарядженої нитки. Поверхнева щільність заряду на кулі і площині $\sigma = 16,7 \text{ мкКл/м}^2$, лінійна щільність заряду на нитці $\tau = 167 \text{ нКл/м}$. Діелектрична проникність середовища $\varepsilon = 2$.

3.26. Площа пластин плоского повітряного конденсатора $S = 0,01 \text{ м}^2$, відстань між ними $d = 5 \text{ мм}$. До пластин конденсатора прикладена різниця потенціалів $U = 3 \text{ кВ}$. Яка буде напруженість E поля конденсатора, якщо, не відключаючи його від джерела напруги, пластини розсунути до відстані $d_2 = 5 \text{ см}$? Знайти енергії W_1, W_2 конденсатора до і після розсування пластин.

3.27. Площа пластин плоского повітряного конденсатора $S = 0,01 \text{ м}^2$, відстань між ними $d = 5 \text{ мм}$. До пластин конденсатора прикладена різниця потенціалів $U = 3 \text{ кВ}$. Яка буде напруженість E полючи конденсатора, якщо, відключаючи

його від джерела напруги, пластини розсунути до відстані $d_2 = 5\text{см}$? Знайти енергії W_1, W_2 конденсатора до і після розсування пластин.

3.28. Площа пластин плоского повітряного конденсатора $S = 0,01\text{м}^2$, відстань між ними $d_1 = 1\text{мм}$. До пластин конденсатора прикладена різниця потенціалів $U = 0,1\text{кВ}$. Пластини розсовуються до відстані $d_2 = 25\text{мм}$. Знайти енергії W_1, W_2 конденсатора до і після розсування пластин, якщо джерело напруги перед розсуванням: а) не відключається; б) відключається.

3.29. Куля, занурена в гас, має потенціал $\varphi = 4,5\text{кВ}$ і поверхневу щільність заряду $\sigma = 11,3\text{мкКл/м}^2$. Знайти радіус R , заряд q , ємність C і енергію W кулі.

3.30. Напруга на затисках елемента в замкнутому ланцюзі $U = 2,1\text{В}$ опори $R_1 = 50\text{Ом}, R_2 = 60\text{Ом}, R_3 = 30\text{Ом}$. Який струм I показує амперметр (рис.1)

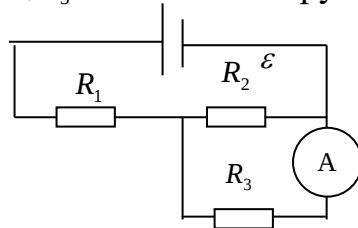


Рис. 1

3.31. Дана батарея, яка має значення ЕРС $\varepsilon = 100\text{В}$, опори $R_1 = R_3 = 40\text{Ом}, R_2 = 80\text{Ом}, R_4 = 34\text{Ом}$. Знайти струм I_2 , що тече через опір R_2 , і падіння потенціалу U на ньому (рис. 2).

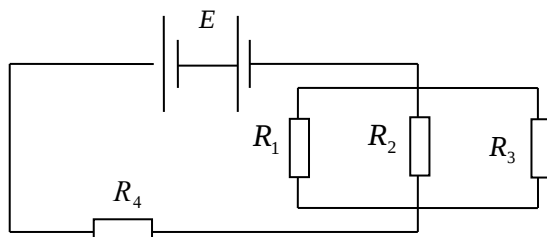
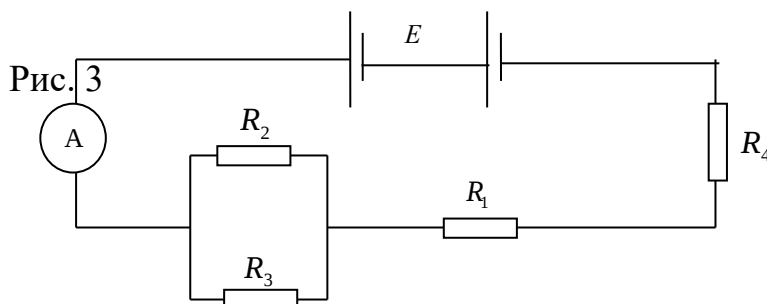
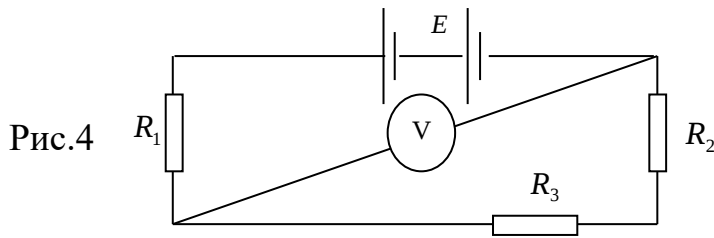


Рис.2

3.32. ЕРС батареї $\varepsilon = 120\text{В}$, опори $R_3 = 20\text{Ом}, R_4 = 25\text{Ом}$. Падіння потенціалу на опорі R_1 дорівнює $U_1 = 40\text{В}$. Амперметр показує струм $I = 2\text{А}$. Знайти опір R_2 (див. рис. 3).



3.33. ЕРС батареї $\varepsilon = 100\text{В}$, опори $R_1 = 100\text{Ом}$, $R_2 = 200\text{Ом}$, $R_3 = 300\text{Ом}$, опір вольтметра $R_v = 2\text{кОм}$. Яку різницю потенціалів U показує амперметр (рис. 4)?



3.34. Опір $R_1 = R_2 = R_3 = 200\text{Ом}$ (рис. 4), опір вольтметра $R_v = 1\text{кОм}$. Вольтметр показує різниця потенціалів $U = 100\text{В}$. Знайти ЕРС ε батареї.

3.35. Знайти показання амперметра і вольтметра в схемах, зображених на мал. 5. ЕРС батареї $\varepsilon = 110\text{В}$, опір $R_1 = 400\text{Ом}$, $R_2 = 600\text{Ом}$, опір вольтметра $R_v = 1\text{кОм}$.

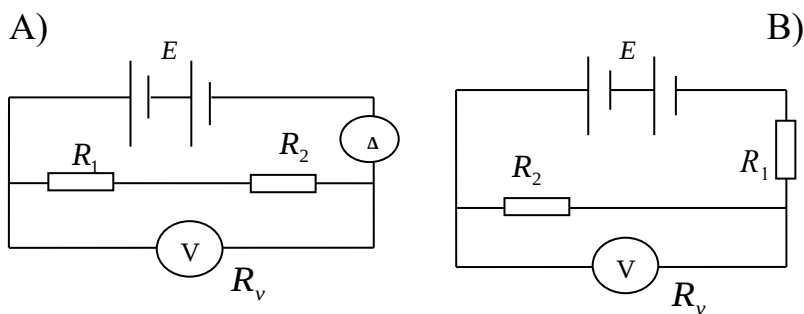
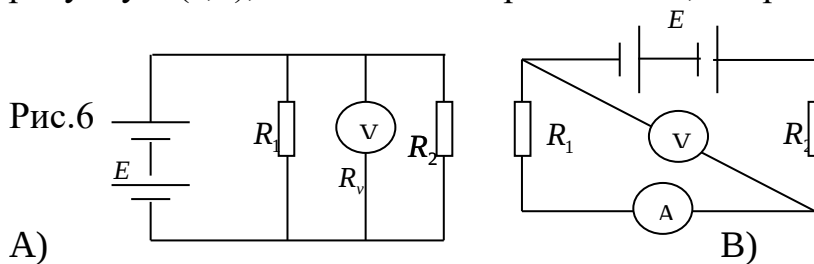


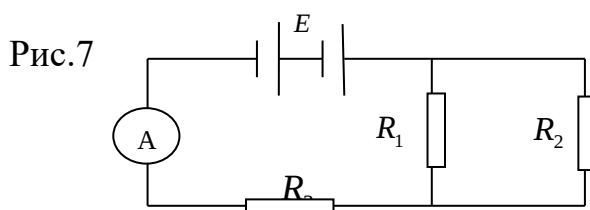
Рис. 5

3.36. Знайти показання амперметра і вольтметра в схемах, зображених на рисунку 6 (а,б), якщо ЕРС батареї $\varepsilon = 110\text{В}$, опори $R_1 = 400\text{Ом}$, $R_2 = 600\text{Ом}$, опір



вольтметра $R_v = 1\text{кОм}$.

3.37. ЕРС батареї $\varepsilon = 100\text{В}$, її внутрішній опір $r = 2\text{Ом}$, опори $R_1 = 25\text{Ом}$, $R_3 = 78\text{Ом}$. На опорі R_1 виділяється потужність, $P_1 = 16\text{Вт}$. Який струм I показує амперметр (рис. 7)?



3.38. ЕРС батареї $\varepsilon = 120\text{В}$, опори $R_1 = 250\text{Ом}$, $R_2 = R_3 = 1000\text{Ом}$. Знайти потужність P_1 , що виділяється на опорі R_1 (рис. 8).

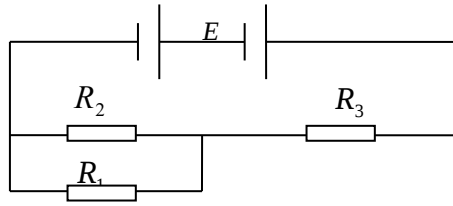


Рис.8

3.39. Калориметр має спіраль опором R_1 , яка включена в ланцюг як показано на мал. 9. ЕРС батареї $\varepsilon = 110\text{В}$, ККД спіралі $\eta = 80\%$. У калориметр налита маса $m = 500\text{г}$ гасу. Амперметр показує струм $I = 2\text{А}$, вольтметр показує напруга $U = 10,8\text{В}$. Який опір R_1 спіралі? Знайти питому теплоємність гасу, якщо за час $t = 5\text{хв}$ пропущення струму гас нагрівся на $\Delta t = 5^\circ\text{С}$. Який опір R_2 ? Опір вольтметра вважати нескінченно великим (рис. 9).

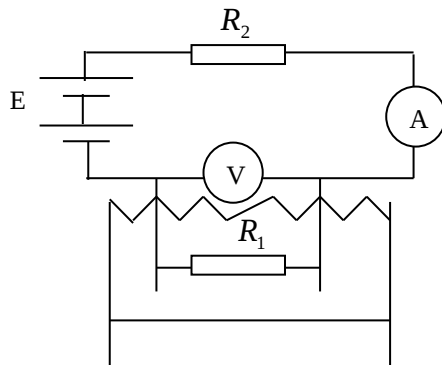


Рис. 9

3.40. Знайти струми I_1 в окремих галузях містка Уїтстона (рис. 10) за умови, що через гальванометр йде струм $I_r = 0$. ЕРС елемента $\varepsilon = 2\text{В}$, опори $R_1 = 300\text{Ом}$, $R_2 = 450\text{Ом}$, $R_3 = 200\text{Ом}$.

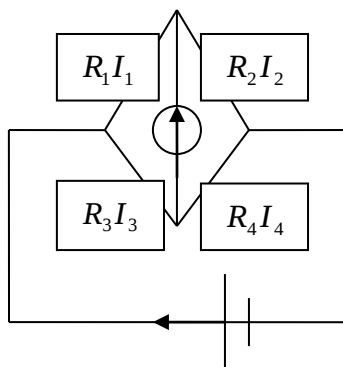


Рис. 10

3.41. Електричний чайник, що містить обсяг $V = 600\text{см}^3$ води при $t_0 = 9^\circ\text{C}$, забули виключити. Опір нагрівача чайника $R=16\text{Ом}$. Через який час t після включення вода в чайнику закипить? Напруга в мережі $U=120\text{кВ}$, ККД нагрівача $\eta = 60\%$.

3.42. Два елементи з однаковими ЕРС $\varepsilon_1\varepsilon_2 = 2\text{В}$ і внутрішніми опорами $r_1 = 1\text{Ом}, r_2 = 2\text{Ом}$ замкнуті на зовнішній опір R . Через елемент із ЕРС ε_1 тече струм $I=1\text{А}$. Знайти опір R і струм I_2 поточний через елемент із ЕРС ε_2 . Який струм I тече через опір R (рис. 11)?

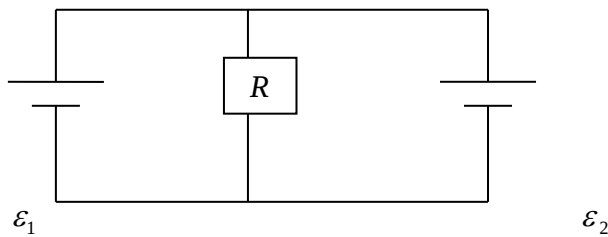


Рис. 11

3.43. Батареї мають ЕРС $\varepsilon_1 = 110\text{В}$ і $\varepsilon_2 = 220\text{В}$, опори $R_1 = R_2 = 100\text{Ом}, R_3 = 500\text{Ом}$. Знайти показання амперметра (рис.12).

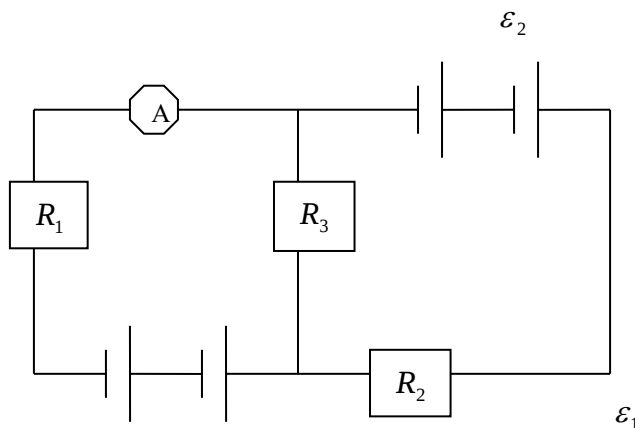


Рис. 12

3.44. Батареї мають ЕРС $\varepsilon_1 = 2\text{В}, \varepsilon_2 = 3\text{В}$, опори $R_1 = 1\text{кОм}, R_2 = 0,5\text{кОм}, R_3 = 0,2\text{кОм}$, опір амперметра $R_A = 0,2\text{кОм}$. Знайти показання амперметра (рис. 13).

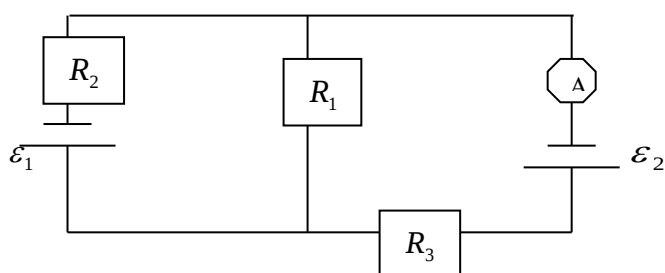


Рис.13

3.45. Батареї мають ЕРС $\varepsilon_1 = 2\text{В}, \varepsilon_2 = 3\text{В}, \varepsilon_3 = 6\text{В}$, опори $R_1 = 4\text{Ом}, R_2 = 6\text{Ом}, R_3 = 8\text{Ом}$. Знайти струми I_1 у всіх ділянках ланцюга (рис. 14).

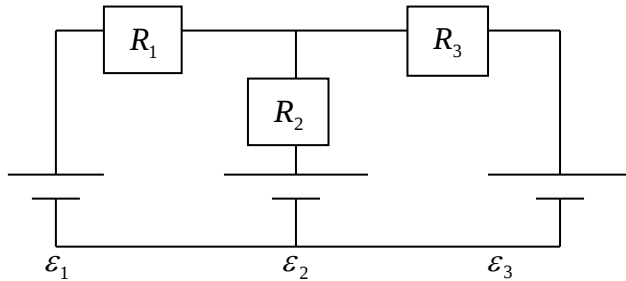


Рис. 14

3.46. Батареї мають ЕРС $E_1=E_2=E_3=6\text{В}$. Опір $R_1=20\text{ Ом}, R_2=12\text{ Ом}$ (рис. 14). При короткому замиканні верхнього вузла схеми з негативним затиском батарей через замикаючий провід тече струм $I=1,6\text{ А}$. Знайти струми I у всіх ділянках ланцюга й опір R_3 .

3.47. Батареї мають ЕРС $E_1=E_2=100\text{ В}$, опір $R_1=20\text{ Ом}, R_2=10\text{ Ом}, R_3=40\text{ Ом}, R_4=30\text{ Ом}$. Знайти показання амперметра (рис.15)

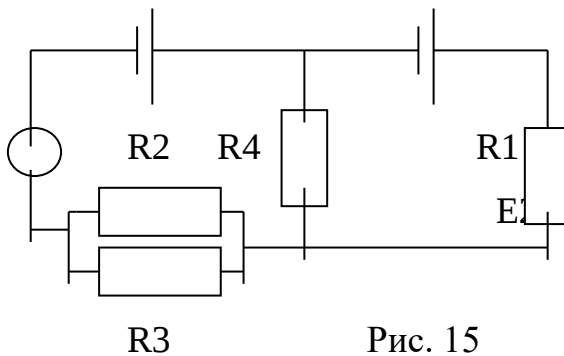


Рис. 15

3.48. Батареї мають ЕРС $E_1 = 2E_2$ опір $R_1=R_3=20\text{ Ом}$, $R_2=15\text{ Ом}$ і $R_4=30\text{ Ом}$ (мал.15) Через амперметр тече струм $I=1.5\text{ А}$, спрямований знизу нагору. Знайти ЕРС E_1 і E_2 , а також струми I_2 і I_3 поточні через опори R_2 і R_3 .

3.49. Два однакових елементи мають ЕРС $E_1=E_2=2\text{ В}$ і внутрішні опори $r_1=r_2=0,5\text{ Ом}$, а також струм I через елемент із ЕРС E_1 (рис.16)

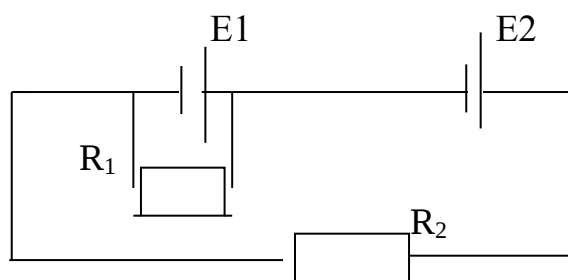


Рис.16

3.50. Електричне коло має елемент ЕРС $E=200$ В, опори $R_1=2$ кОм і $R_2=3$ кОм; опори вольтметрів $R_{v1}=3$ кОм і $R_{v2}=2$ кОм. Знайти показання вольтметрів V_1 і V_2 якщо ключ K : 1) розімкнутий 2) замкнутий. Задачу вирішити, застосовуючи правила Кірхгофа (рис.17)

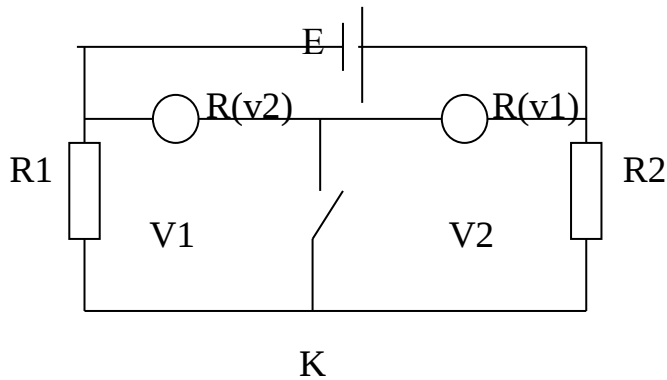


Рис.17

3.51. Елементи мають ЕРС $E_1=E_2=1,5$ В і внутрішній опір $r_1=r_2=0,5$ Ом, опори $R_1=R_2=5$ Ом, опір амперметра $R_a=3$ Ом. Знайти показання амперметра (рис.18).

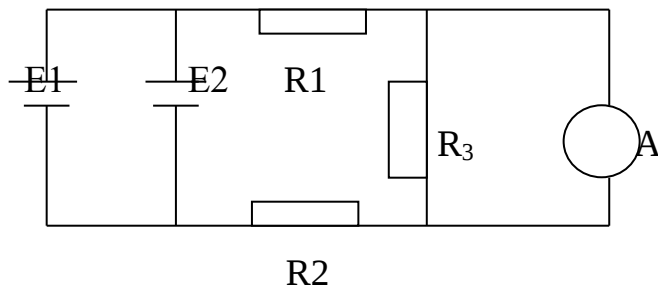


рис.18

3.52. Батареї мають ЕРС $E_1=E_2$. Опори $R_1=R_2=100$ Ом, опір вольтметра $R_v=150$ Ом. Показання вольтметра $U=150$ В. Знайти ЕРС E_1 і E_2 батарей (рис. 18).

3.53. Батареї мають ЕРС $E_1=E_2=110$ В, опори $R_1=R_2=0,2$ кОм, опір $R_3=1$ кОм (мал.18). Знайти показання амперметра.

3.54. Батареї мають ЕРС $E_1=E_2$, опори $R_2=2R_1$ (рис.18) У скільки разів струм, що тече через амперметр, більше струму, що тече через опір R_2 ?

3.55. У схемі, зображеній на рис.14 струм I_1 і I_3 спрямовані з права ліворуч, струм I_2 – зверху вниз. Падіння потенціалу на опорах R_1 , R_2 , R_3 рівні $U_1=U_3=U_2=10$ В. Знайти ЕРС E_2 і E_3 якщо ЕРС $E_1=25$ В.

3.56. Батареї мають ЕРС $E_1=2\text{В}$ і $E_2=3\text{В}$, опір $R_3=1,5\text{ кОм}$, опір амперметра $R_a=0,5\text{ кОм}$ (рис.13). Падіння потенціалу на опорі R_2 рівно $U_2=1\text{ В}$ (струм через R_2 спрямований зверху вниз), Знайти показання амперметра.

3.57. Батареї мають ЕРС $E_1=30\text{ В}$ і $E_2=5\text{ В}$, опори $R_2=10\text{ Ом}$, $R_3=20\text{ Ом}$ (рис.12). Через амперметр тече струм $I=1\text{А}$, спрямований від R_3 до R_1 . Знайти опір R_1 .

3.58. Яка різниця потенціалів U виходить на затисках двох елементів , включених паралельно, якщо їх ЕРС $E_1=1,4\text{ В}$ і $E_2=1,2\text{ В}$ і внутрішні опір $r_1=0,6\text{ Ом}$ і $r_2=0,4\text{ Ом}$?

3.59. Потужність, яка виділяється на опорі R_1 , $P_1=16\text{Вт}$ (рис.19). Опори $R_1=25\text{ Ом}$, $R_2=R_3=100\text{ Ом}$. Знайти ЕРС батареї.

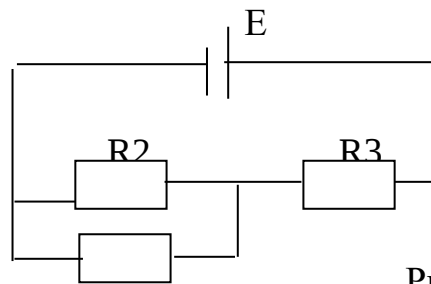


Рис.19

R_1

3.60. ЕРС батареї $E=120\text{ В}$, опір $R_3=30\text{ Ом}$ $R_2=60\text{ Ом}$. Амперметр показує струм $I=2\text{А}$. Знайти потужність P , що виділяється в опорі R_1 (рис.20)

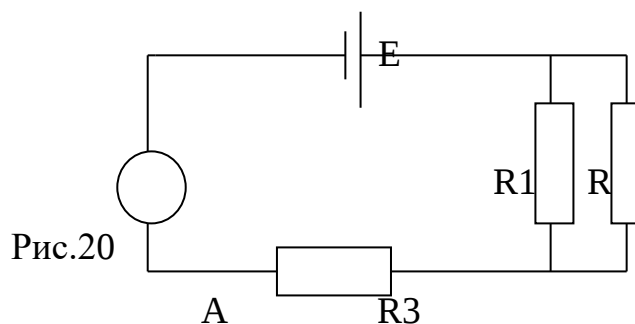


Рис.20

6. ЗАВДАННЯ ДЛЯ САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ -2

САМОСТІЙНА РОБОТА №4

4.00. Знайти напруженість H магнітного поля в центрі колового дротового витка радіусом $R=1\text{см}$, по якому тече струм $I=1\text{А}$.

4.01. Два прямолінійних довгих провідники розташовані паралельно на відстані $d=10\text{см}$ друг від друга. По провідниках течуть струми $I_1=I_2=5\text{А}$ у протилежних напрямках. Знайти модуль і напрямок напруженості H магнітного поля в точці, що знаходиться на відстані $a=10\text{см}$ від кожного провідника.

4.02. Знайти напруженість H магнітного поля, створеного відрізком АВ прямолінійного провідника зі струмом, у точці С, розташованій на перпендикулярі до середини цього відрізка на відстані $a=5\text{см}$ від нього. По провіднику тече струм $I=20\text{А}$. Відрізок АВ провідника видний із точки С під кутом 60° .

4.03. Струм $I=20\text{А}$, йде по довгому провіднику, зігнутому під прямим кутом. Знайти напруженість H магнітного поля в точці, що лежить на бісектрисі цього кута і віддаленої від вершини кута на відстані $a=10\text{ см}$.

4.04. Струм $I=20\text{А}$, протікаючи по кільцю з мідного дроту перетину $S=1\text{мм}^2$, створює в центрі кільця напруженість магнітного поля $H=178\text{А/м}$. Яка різниця потенціалів U прикладена до кінців дроту, що утворює кільце?

4.05. Два кругових витки $R=4\text{ см}$ кожний розташовані в рівнобіжних площинах на відстані $d=10\text{ см}$ друг від друга. По витках течуть струми $I_1=I_2=2\text{А}$. Знайти напруженість H магнітного поля на осі витків у точці, що знаходиться на рівній відстані від них, коли: а) струми у витках течуть в одному напрямку; б) струми у витках течуть у протилежних напрямках.

4.08. Два кругових витки $R=4\text{см}$ кожний розташовані в рівнобіжних площинах на відстані $d=5\text{см}$ друг від друга. По витках течуть струми $I_1=I_2=4\text{А}$. Знайти напруженість H магнітного поля в центрі одного з витків. Задачу вирішити, коли: а) струми у витках течуть в одному напрямку; б) струми у витках течуть у протилежних напрямках.

- 4.09.** Знайти напруженість H магнітного поля на осі кругового контуру на відстані $a=3\text{см}$ від його площини. Радіус контуру $R=4\text{см}$, струм у контурі $I=2\text{А}$.
- 4.10.** Два кругових витки розташовані в двох взаємно перпендикулярних площинах так, що центри цих витків збігаються. Радіус кожного витка $R=2\text{см}$, струм у витках $I_1=I_2=5\text{А}$. Знайти напруженість H магнітного поля в центрі цих витків .
- 4.11.** З дроту довжиною $l=1\text{м}$ зроблена квадратна рамка, вздовж якої тече струм $I=10\text{А}$. Знайти напруженість H магнітного поля в центрі рамки.
- 4.12.** По дротовій рамці, що має форму правильного шестикутника, йде струм $I=2\text{А}$. При цьому в центрі рамки утворюється магнітне поле напруженістю $H=33\text{А/м}$. Знайти довжину l дроту, з якого зроблена рамка.
- 4.13.** В однорідному магнітному полі напруженістю $H=79,6\text{кА/м}$ розміщена квадратна рамка, площа якої складає з напрямком магнітного поля кут 45° . Сторона рамки $a=4\text{см}$. Знайти магнітний потік Φ , що пронизує рамку.
- 4.14.** Скільки ампер-витків буде потрібно для того, щоб усередині соленоїда малого діаметра і довжиною $l=30\text{см}$ об'ємна щільність енергії магнітного поля була $W=1,75\text{Дж/м}^3$?
- 4.15.** Довжина залізного сердечника тороїда $l_1=2,5\text{м}$, довжина повітряного зазору $l_2=1\text{см}$. Число витків в обмотці тороїда $N=1000$. При струмі $I=20\text{А}$ індукція магнітного поля в повітряному зазорі $B=1,6\text{Тл}$. Знайти магнітну проникність залізного сердечника при цих умовах. (Залежність B від H для заліза невідома).
- 4.16.** Довжина залізного сердечника тороїда $l_1=1\text{м}$, довжина повітряного зазору $l_2=3\text{мм}$. Число витків в обмотці тороїда $N=2000$. Знайти напруженість магнітного поля H_1 у повітряному зазорі при струмі $I=1\text{А}$ в обмотці тороїда.
- 4.17.** Електрон, прискорений різницею потенціалів $U=1\text{кВ}$, влітає в однорідне магнітне поле, напрямок якого перпендикулярний до напрямку його руху. Індукція магнітного поля $B=1,19\text{мТл}$. Знайти радіус R кола, по якому рухається електрон, період обертання T і момент імпульсу L електрона.

- 4.18.** Електрон, прискорений різницею потенціалів $U=300\text{В}$, рухається паралельно прямолінійному проводу на відстані $a=4\text{мм}$ від нього. Яка сила F діє на електрон, якщо по провіднику пустити струм $I=5\text{А}$?
- 4.19.** Знайти кінетичну енергію W (у електрон вольтах) протона, що рухається по дузі кола радіусом $R=60\text{см}$ у магнітному полі з індукцією $B=1\text{Тл}$.
- 4.20.** Протон і електрон, рухаючись з однаковою швидкістю, влітають в однорідне магнітне поле. В скільки разів радіус кривизни R_1 траєкторії протона більше радіуса кривизни R_2 траєкторії електрона?
- 4.21.** Протон і електрон, прискорені однаковою різницею потенціалів, влітають в однорідне поле. В скільки разів радіус кривизни R_1 траєкторії протона більше радіуса кривизни R_2 траєкторії електрона?
- 4.22.** Заряджена частинка рухається в магнітному полі по колу зі швидкістю $V=10^6\text{ м/с}$. Індукція магнітного поля $B=0,3\text{Тл}$. Радіус кола $R=4\text{см}$. Знайти заряд q частинки, якщо відомо, що її енергія $W=12\text{кеВ}$.
- 4.23.** Альфа частинка, кінетична енергія якої $W=500\text{еВ}$, влітає в однорідне магнітне поле, перпендикулярне її руху. Індукція магнітного поля $B=0,1\text{Тл}$. Знайти силу F , що діє на альфа частинку, радіус R кола, по якому рухається альфа частинка і період обертання альфа частинки.
- 4.24.** Однозарядні іони ізотопів калію з відносними атомними масами 39 і 41 прискорюються різницею потенціалів $U=300\text{В}$; потім вони попадають в однорідне магнітне поле, перпендикулярне напрямку їхнього руху. Індукція магнітного поля $B=0,08\text{Тл}$. Знайти радіуси кривизни R_1 і R_2 траєкторій цих іонів.
- 4.25.** Пучок електронів, прискорених різницею потенціалів $U=300\text{ В}$, влітає в однорідне магнітне поле, спрямоване до нас. Ширина поля $L=2,5\text{см}$. У відсутності магнітного поля пучок електронів дає пляму в крапці А флуоресціюючого екрану, розташованого на відстані $L=5\text{см}$ від краю полюсів магніту. При включенні магнітного поля пляма зміщується в крапку В.

Знайти зсув $x=AB$ пучка електронів, якщо відомо, що індукція магнітного поля $B=14,6\text{мкТл}$.

4.26. Магнітне поле напруженістю $H=8\text{кА/м}$ і електричне поле напруженістю $E=1\text{кВ/м}$ спрямовані однаково. Електрон влітає в електромагнітне поле зі швидкістю $V=10^5\text{ м/с}$. Знайти нормальне a_n , тангенціальне a_τ і повне a прискорення електрона. Задачу вирішити, якщо швидкість електрона спрямована а) паралельно напрямку електричного поля, б) перпендикулярно до напрямку електричного поля.

4.27. Електрон прискорений різницею потенціалів $U=6\text{кВ}$ влітає в однорідне магнітне поле під кутом 30° до напрямку поля і рухається по гвинтовій траєкторії. Індукція магнітного поля $B=13\text{мТл}$. Знайти радіус R і крок h гвинтової траєкторії.

4.28. В однорідному магнітному полі, індукція якого $B=0,01\text{Тл}$, рівномірно обертається котушка, яка складається з $N=100$ витків дроту. Частота обертання котушки $n=5\text{с}^{-1}$, площа поперечного переріза котушки $S=0,01\text{мм}^2$. Вісь обертання перпендикулярна до осі котушки і напрямку магнітного поля. Знайти максимальну ЕРС індукції $E_{\text{мах}}$ в котушці, яка обертається.

4.29. На соленоїд довжиною $l=144\text{см}$ і діаметром $d=5\text{см}$ надітий дротовий виток. Обмотка соленоїда має $N=2000$ витків і по ній тече струм $I=2\text{А}$. Соленоїд має залізний сердечник. Яка середня ЕРС $E_{\text{сер}}$ індукціюється в надягнутому на соленоїд витку, коли струм у соленоїді виключається в перебіг у часу $t=2\text{мс}$?

4.30. Котушка довжиною $l=21\text{см}$ має $N=400$ витків. Площа поперечного переріза котушки $S=9\text{см}^2$. Знайти індуктивність L_1 котушки. Яка буде індуктивність L_2 котушки, якщо усередину котушки введений залізний сердечник? Магнітна проникність матеріалу сердечника 400.

4.31. На соленоїд довжиною $l=21\text{см}$ і площею поперечного переріза $S=10\text{см}^2$ надіта котушка, що складається з $N_1=50$ витків. Котушка з'єднана з балістичним гальванометром, опір якого $R=1\text{кОм}$. По обмотці соленоїда, який має $N_2=200$ витків, йде струм $I=5\text{А}$. Знайти балістичну постійну C

гальванометра, якщо відомо, що при включенні струму в соленоїди гальванометр дає покидку, рівну 30 розподілам шкали. Опором котушки в порівнянні з опором балістичного гальванометра можна зневажити.

4.32. Електрична лампочка, опір якої в гарячому стані $R=10\text{ Ом}$, підключена через дросель до 12-вольтового акумулятора. Індуктивність дроселя $L=2\text{ Гн}$, опір $r=1\text{ Ом}$. Через який час t після включення, лампочка включиться, якщо вона починає помітно світитися при напрузі на ній $U=6\text{ В}$?

4.33. Мається котушка довжиною $L=20\text{ см}$ і діаметром $D=2\text{ см}$. Обмотка котушки складається з $N=200$ витків мідного дроту, площа поперечного переріза якого $S=1\text{ мм}^2$. Котушка включена в ланцюг з деякою ЕРС. За допомогою перемикача ЕРС вимикається, і котушка замикається на коротко. Через який час t після вимикання ЕРС і струм у ланцюзі зменшиться в 2 рази?

4.34. Через котушку, індуктивність якої $L=21\text{ мГн}$, тече струм, що змінюється згодом за законом $I=I_0 \sin \omega t$, де $I=5\text{ А}$, $\omega = 2\pi/T$ і $T=0,02\text{ с}$. Знайти залежність від часу t : а) ЕРС самоіндукції E_c , що виникає в котушці; б) енергії W магнітного поля котушки.

4.35. Для виміру магнітної проникності заліза з нього був виготовлений тороїд довжиною $l=50\text{ см}$ і площею поперечного переріза $S=4\text{ мм}^2$. Одна з обмоток тороїда мала $N_1=500$ витків і була приєднана до джерела струму, інша мала $N_2=1000$ витків і була приєднана до гальванометра. Переключаючи напрямок струму в первинній обмотці на зворотне, ми викликаємо у вторинній обмотці індукційний струм. Знайти магнітну проникність заліза, якщо відомо, що при переключенні в первинній обмотці напрямок струму $I=1\text{ А}$ через гальванометр пройшло кількість електрики $q=0,06\text{ Кл}$. Опір вторинної обмотки $R=20\text{ Ом}$.

4.36. Дві котушки намотані на один загальний сердечник. Індуктивність першої $L=0,2\text{ Гн}$, другий - $L=0,8\text{ Гн}$, опір другої котушки $R=600\text{ Ом}$. Який струм I_2 потече по другій котушці, якщо струм $I_1=0,3\text{ А}$, що тече у першій котушці, виключити в перебіг часу $t=1\text{ мс}$?

4.37. У соленоїд довжиною $l=50\text{см}$ вставлений сердечник з такого сорту заліза, для якого залежність $B=f(H)$ не відома. Число витків на одиницю довжини соленоїда $N_1=400\text{см}^{-1}$, площа поперечного переріза соленоїда $S=10\text{см}^2$. Знайти магнітну проникність μ матеріалу сердечника при струмі через обмотку соленоїда $I=5\text{А}$, якщо відомо, що магнітний потік, що пронизує поперечний переріз соленоїда із сердечником, $\Phi=1,6\text{мВб}$. Яка індуктивність L соленоїда при цих умовах?

4.38. Соленоїд довжиною $l=50\text{см}$ і площею поперечного перерізу $S=2\text{см}^2$ має індуктивність $L=0,2\text{мкГн}$. При якому струмі I об'ємна щільність енергії магнітного поля усередині соленоїда $W_0=1\text{ мДж/м}^3$?

4.39. Обмотка соленоїда складається з N витків мідного дроту, поперечний переріз якої $S=1\text{мм}^2$. Довжина соленоїда $l=25\text{см}$, його опір $R=0,2\text{ Ом}$. Знайти індуктивність L соленоїда.

4.40. Котушка з мізерно малим активним опором включена в ланцюг змінного струму з частотою 50 Гц . При напрузі 125 В сила струму дорівнює 3 А . Яка індуктивність котушки?

4.41. В послідовному ланцюзі змінного струму, який складається з резистора опором $R=25\text{ Ом}$, конденсатора ємністю $C=4,8\text{ мкФ}$ і котушки індуктивністю $L=0,3\text{ Гн}$ спостерігається електричний резонанс. У скільки разів амплітуда напруги на котушці більше амплітуди прикладеної напруги?

Яка кількість теплоти виділиться на активному опорі $R=10\text{ Ом}$ за 2 періода коливань, якщо миттєве значення змінної напруги на опорі описується рівнянням, $U=15\cos 100\pi t, \text{ В}$?

4.42. Коливальний контур складається з конденсатора ємністю $C=7\text{ мкФ}$ і котушки з індуктивністю $L=0,23\text{ Гн}$ та опором $R=40\text{ Ом}$. Обкладки конденсатора мають заряд $q=0,56\text{ мКл}$. Знайти період T коливань контуру і логарифмічний декремент згасання цих коливань.

7. ПИТАННЯ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЮ

тема «ЕЛЕКТРОМАГНЕТИЗМ»

1. Електричне поле. Силкові характеристики електричного поля. Закон Кулона. Принцип суперпозиції електричних полів.
2. Характеристики електричного поля (сила і щільність). Закон збереження заряду. Рівняння безперервності
3. Диференціальна форма теореми Остроградського-Гауса для електростатичного поля.
4. Потенціал точки, диполя, системи зарядів. Потенціал зарядженої кулі (усередині і поза ним).
5. Рівняння Лапласа для потенціалу.
6. Енергія заряду в електричному полі. Енергія конденсатора. Щільність енергії полю.
7. Поляризація діелектрика електричним полем (вектор поляризації, сприйнятливість, щільність поляризованих зарядів на поверхні й в обсязі речовини).
8. Діелектрична проникність речовини (вектор індукції, властивості безперервності на границі роздїгнула). Рівняння Максвелла для електричного поля в речовині.
9. М'які діелектрики. Полярні діелектрики.
10. Піро- і п'єзоелектричні властивості кристалів. Сегнетоелектрики.
11. Енергія поля в діелектриках, термодинамічні співвідношення. Пондеромоторні сили (по Максвеллу і Гельмгольцу).
12. Сила Ампера. Ефект Холу. Магнітний момент рамки зі струмом.
13. Закон Біо-Савара-Лапласа.
14. Теорема про циркуляцію вектору індукції магнітного поля. Застосування до розрахунку поля соленоїда. Вихровий характер магнітного поля.
15. Чотири інтегральних теореми для статистичного електромагнітного поля, їхній фізичний зміст.

16. Зв'язок магнітного потоку з його струмом, що створює, коефіцієнти взаємо- і самоіндукції. Одиниці потоку та індуктивності. Обчислити індуктивність соленоїда.
17. Формула для щільності енергії магнітного поля (на прикладі соленоїда).
18. Досліди Фарадея по електромагнітній індукції. Закон індукції. Розуміння цього явища по Фарадею і Максвеллу.
19. Струм зсуву. Вираження струму зсуву через електричне поле. Узагальнення закону Біо-Савара-Лапласа. Збереження повного струму.
20. Система рівнянь Максвелла для електромагнітного поля.
21. Поперечність електромагнітної хвилі - наслідок рівнянь Максвелла. Вектор Умова-Пойнтинга.
22. Речовина в магнітному полі, вектор намагніченості, індуковані струми. Рівняння Максвелла для магнітного поля в речовині.
23. Діамагнетики. Парамагнетики. Феромагнетики.
24. Магнітні властивості надпровідників (співвідношення Лондонів, глибина проникнення, ефект Мейснера).
25. Закон Ома (диференціальна форма, коефіцієнт електропровідності). Опір ділянки ланцюга ЕДС. Сторонні джерела струмів.
26. Правила Кірхгофа для електричних мереж.
27. Генерація перемінного струму. Технічне застосування перемінного струму, трифазний струм, сполука зіркою і трикутником.
28. Імпеданс лінійного ланцюга, закон Ома для перемінного струму, зрушення фази, коефіцієнт потужності.
29. Розрахунок RLC - контуру за допомогою векторної діаграми.
30. Резонанс напруги у контурі. Частотна характеристика і добротність контуру.
31. Механізм електропровідності металів (роль зіткнень, час реалізації, формула Друде).

32. Закон Відемана-Франца (класична електронна теорія, протиріччя, квантове трактування).
33. Зонна теорія провідності (роль принципу Паулі в заповненні енергетичних рівнів, енергія Фермі, її обчислення), заборонена енергетична зона та її роль у класифікації речовин по їхній електропровідності.
34. Напівпровідники (будівля енергетичних зон, температурна залежність провідності). Домішкова провідність, напівпровідники р- і п- типів. Провідність р - n переходу, транзистор.
35. Залежність електропровідності від температури; класифікація і характеристика процесів розсіювання електронів, роль чистоти матеріалу. Область низьких температур. Надпровідність.
36. Термоелектронна емісія, робота виходу, формула Річардсона-Дешмана, її застосування.
37. Електроліз. Закон Фарадея, ідея електронної будівлі речовини. Використання законів електролізу в техніці.
38. Вільні загасаючі коливання в контурі. Змушені електричні коливання.
39. Вільні коливання в контурі без активного опору.
40. Змінний електричний струм. Генератор змінного струму.

Список рекомендованої літератури

1. Волков О.Ф. Курс фізики: навчальний посібник для вищих навчальних закладів: у 2-х томах. Том 1 : Фізичні основи механіки. Молекулярна фізика і термодинаміка. Електростатика. Сталій струм. Електромагнетизм / О.Ф. Волков. Т.П. Лумпієва. – Донецьк: ДонНТУ, 2014. – 208 с.
2. Лумпиева, Т. П. Конспект лекций по физике. Часть 2. Колебания и волны, волновая и квантовая оптика, элементы квантовой механики, основы физики твердого тела, элементы физики атомного ядра / Т. П. Лумпиева, А. Ф. Волков. - Донецк: ДонНТУ, 2014. – 120 с.
3. Лумпієва, Т.П. Практикум з фізики. Розв'язання задач. Частина 2: Коливання і хвилі. Хвильова і квантова оптика. Елементи квантової механіки. Основи фізики твердого тіла. Елементи фізики атомного ядра: навч. посіб. / Т.П. Лумпієва, Н.М. Русакова, О.Ф. Волков. - Донецьк: ДонНТУ, 2015. – 227 с.
4. Волков, А.Ф. Лабораторный практикум по физике: учеб. пособие / А.Ф. Волков, Т.П. Лумпиева. - Донецк: ДонНТУ, 2011. - 389 с.
5. Методичні вказівки та індивідуальні завдання для самостійної роботи з фізики / уклад. О.Ф. Волков, Т.П. Лумпієва. – Донецьк: ДонНТУ, 2014. – 124 с.
6. Методичні рекомендації з курсу загальної фізики для студентів технічних спеціальностей всіх форм навчання. Фізика. Частина 2. *Молекулярна фізика і термодинаміка* для студентів денної та заочної форм навчання технічних спеціальностей / уклад. Л.Г. Сергієнко. – Покровськ: ДонНТУ, 2019. – 41 с.
7. Лабораторний практикум з фізики для студентів технічних спеціальностей «Механіка» [Електронний ресурс] / уклад. Ю.А. Артеменко, М.М. Власенко. - Покровськ, 2019. - 39 с.
8. Трофимова Т.И. Курс физики: учеб. Пособие для вузов / Т. И. Трофимова. - 11-е изд., стер. – М.: Издательский центр «Академия», 2006. - 560 с.

9. Савельев, И.В. Курс общей физики: учеб. Пособие в 3-х томах / И.В. Савельев. - 2-е изд., перераб. – М.: Наука, 1982.
10. Курс фізики: підручник / І.Е. Лопатинський, І.Р. Зачек, І.М. Кравчук, Б.М. Романишин. - Львів : Афіша, 2003. - 376 с.
11. Чертов А.Г., Воробьев А.А. Задачник по физике. Учебное пособие для студентов вузов. 5-е издание, переработанное и дополненное. Москва: Высшая школа, 1988. - 527 с.
12. Яворский Б.М., Детлаф А.А. Справочник по физике для студентов вузов, 2-е изд., перераб. – М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы. 1990. – 512 с.