

ФАКУЛЬТЕТ АВТОМАТИКИ, ТЕЛЕМЕХАНІКИ ТА ЗВ'ЯЗКУ

Кафедра фізики

**ЕЛЕКТРОСТАТИКА ТА ПОСТІЙНИЙ СТРУМ.
ЕЛЕКТРОМАГНЕТИЗМ**

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до контрольних робіт № 3 і 4

Харків - 2014

Методичні вказівки розглянуто та рекомендовано до друку на засіданні кафедри фізики 15 серпня 2012 р., протокол № 1.

Наведено програму курсу фізики з розділів «Електростатика та постійний струм» та «Електромагнетизм», розглянуті приклади розв'язування задач, наведені варіанти контрольних завдань.

Методичні вказівки призначені для студентів заочної форми навчання всіх спеціальностей.

Укладачі:

проф. Р.В. Вовк,
доценти Н.В. Глейзер
А.Т. Котвицький

Рецензент

доц. В.Ю. Гресь

ЕЛЕКТРОСТАТИКА ТА ПОСТІЙНИЙ СТРУМ
ЕЛЕКТРОМАГНЕТИЗМ

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до контрольних робіт № 3 і 4

Відповідальний за випуск Глейзер Н.В.

Редактор Решетилова В.В.

Підписано до друку 25.12.12 р.

Формат паперу 60x84 1/16. Папір писальний.

Умовн.-друк.арк. 1,50. Тираж 50. Замовлення №

Видавець та виготовлювач Українська державна академія залізничного транспорту,
61050, Харків-50, майдан Фейербаха, 7.
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 2874 від 12.06.2007 р.

УКРАЇНСЬКА ДЕРЖАВНА АКАДЕМІЯ ЗАЛІЗНИЧНОГО
ТРАНСПОРТУ

ФАКУЛЬТЕТ АВТОМАТИКИ, ТЕЛЕМЕХАНІКИ ТА ЗВ'ЯЗКУ
КАФЕДРА ФІЗИКИ

ЕЛЕКТРОСТАТИКА ТА ПОСТІЙНИЙ СТРУМ.
ЕЛЕКТРОМАГНЕТИЗМ

Методичні вказівки
до контрольних робіт № 3 і 4

Харків - 2012

Методичні вказівки розглянуто та рекомендовано до друку на засіданні кафедри фізики 15 серпня 2012 р., протокол № 1.

Наведено програму курсу фізики з розділів «Електростатика та постійний струм» та «Електромагнетизм», розглянуті приклади розв'язування задач, наведені варіанти контрольних завдань.

Методичні вказівки призначені для студентів заочної форми навчання всіх спеціальностей.

Укладачі:
проф. Р.В. Вовк,
доценти Н.В. Гейзер,
А.Т. Котвицький

Рецензент:
доц. В.Ю. Гресь

ЗМІСТ

Вступ.....	4
1 Електростатика та постійний струм: програма курсу, основні закони та формули, приклади розв'язування задач.....	5
2 Електромагнетизм: програма курсу, основні закони та формули, приклади розв'язування задач.....	23
3 Варіанти контрольних завдань.....	35

ВСТУП

Вміння розв'язувати задачі є необхідною умовою якісного засвоєння навчального матеріалу. Розв'язування задач дозволяє глибше осмислити теоретичний матеріал, звернути увагу на деталі та окремі випадки, стимулює до самостійної роботи над навчальним матеріалом. Отже, розв'язування задач є одним з основних критеріїв оцінювання якості засвоєння студентами матеріалу даного теоретичного розділу і дозволяє провести атестацію найбільш об'єктивно.

Виконання контрольної роботи студент починає після вивчення відповідного розділу фізики та уважного вивчення прикладів розв'язування задач, наведених у даних методичних вказівках.

Загальні вимоги до виконання контрольних робіт:

1 Контрольна робота виконується на стандартних аркушах формату А4 або в учнівських зошитах. Титульний аркуш роботи виконується відповідним шрифтом. Він містить такі дані: номер контрольної роботи, назва відповідного розділу фізики, прізвище, ім'я та по батькові студента, який виконує роботу, номер навчальної групи, шифр, прізвище викладача, що перевіряє роботу, дата виконання роботи.

2 В контрольній роботі студент розв'язує задачі, номери яких вказує викладач. Не допускається виконання задач з іншого навчального посібника.

3 Умови задач в контрольній роботі переписуються повністю, без скорочень.

4 Розв'язання всіх задач слід починати з запису скороченої умови та переведення всіх даних в систему СІ.

5 У тих випадках, де необхідно, слід виконати рисунок, що пояснює умову або розв'язання задачі. Його потрібно виконати чітко, зрозуміло, акуратно.

6 Необхідно вказати основні закони і формули, на яких базується розв'язання, пояснити літерні позначення в формулах.

7 Розв'язання задач слід супроводжувати вичерпними поясненнями.

8 Розв'язання задач слід вести у загальному вигляді, тобто виразити шукану величину в алгебраїчному вигляді через

величини, задані в умові задачі. Отримавши таким чином робочу формулу, підставити числові значення заданих величин та провести обчислення.

9 Визначити розмірність шуканої величини і записати її скорочене найменування.

10 Кожну задачу починати виконувати з нового аркуша, залишивши в кінці місце для коментарів викладача.

11 В кінці контрольної роботи навести список літератури, яка використовувалася під час її виконання.

12 Оформлена вказаним вище способом контрольна робота здається на кафедрі фізики разом з методичними вказівками і аркушем з умовами контрольного завдання.

1 ЕЛЕКТРОСТАТИКА ТА ПОСТІЙНИЙ СТРУМ: ПРОГРАМА КУРСУ, ОСНОВНІ ЗАКОНИ ТА ФОРМУЛИ, ПРИКЛАДИ РОЗВ'ЯЗУВАННЯ ЗАДАЧ

1.1 Програма курсу

- 1 Електричний заряд та його властивості. Закон Кулона.
- 2 Напруженість електростатичного поля. Принцип суперпозиції.
- 3 Силкові лінії електростатичного поля.
- 4 Потік вектора напруженості. Теорема Гаусса для вектора напруженості та її застосування.
- 5 Робота сил електростатичного поля по переміщенню заряду.
- 6 Потенціал, різниця потенціалів. Еквіпотенціальні поверхні.
- 7 Провідники та діелектрики в електростатичному полі. Діелектрична проникність речовини.
- 8 Електроємність провідника.
- 9 Конденсатор. З'єднання конденсаторів.
- 10 Енергія електростатичного поля.
- 11 Постійний електричний струм та його характеристики.
- 12 Опір провідника, залежність опору провідника від температури. З'єднання провідників.

13 Закон Ома для однорідної ділянки кола. Закон Ома в диференціальній формі.

14 Сторонні сили. Електрорушійна сила. Закон Ома для неоднорідної ділянки кола. Закон Ома для замкнутого кола.

15 Робота і потужність струму. Коефіцієнт корисної дії джерела струму. Закон Джоуля-Ленца. Закон Джоуля-Ленца в диференціальній формі.

1.2 Основні закони і формули

1 Електричний заряд – це фізична величина, яка характеризує здатність тіл вступати в електромагнітні взаємодії.

2 Закон взаємодії зарядів: в природі існує два типи зарядів – позитивні та негативні. Однойменні заряди відштовхуються, різнойменні – притягуються.

3 Закон квантування заряду: в природі існує найменший заряд, який називається елементарним. Заряд будь-якого тіла кратний елементарному.

$$q = Ne,$$

де $e = 1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл – величина елементарного заряду;

N – ціле число.

4 Закон збереження заряду: в замкнутій системі алгебраїчна сума зарядів залишається сталою.

$$\sum_{i=1}^n q_i = const.$$

5 Закон Кулона: два точкових заряди взаємодіють між собою з силою, прямо пропорційною добутку модулів цих зарядів та обернено пропорційною квадрату відстані між ними.

$$F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{|q_1||q_2|}{r^2},$$

де $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \frac{\text{Ф}}{\text{м}}$ – електрична стала;

r – відстань між зарядами.

6 Напруженість електростатичного поля – це фізична величина, яка чисельно дорівнює силі, що діє на одиничний позитивний заряд, вміщений у дану точку поля:

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q}.$$

7 Принцип суперпозиції: напруженість електростатичного поля, що створюється в даній точці системою зарядів, дорівнює векторній сумі напруженостей полів, створених в цій точці кожним зарядом окремо:

$$\vec{E} = \sum_{i=1}^n \vec{E}_i.$$

8 Потік вектора напруженості електростатичного поля крізь довільну замкнуту поверхню дорівнює алгебраїчній сумі зарядів всередині даної поверхні, ділений на ϵ_0 .

$$\oint_S \vec{E} d\vec{S} = \frac{\sum_{i=1}^n q_i}{\epsilon_0}.$$

9 Напруженість поля точкового заряду:

$$E = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 r^2}.$$

10 Напруженість поля нескінченної рівномірно зарядженої площини:

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

де $\sigma = \frac{q}{S}$ – поверхнева густина заряду.

11 Напруженість електростатичного поля нескінченної нитки, рівномірно зарядженої по довжині:

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

де $\tau = \frac{q}{l}$ – лінійна густина заряду, r – найкоротша відстань від нитки до точки спостереження.

12 Напруженість електростатичного поля сфери радіуса R , рівномірно зарядженої по поверхні:

$$E = \begin{cases} \frac{q}{4\pi\varepsilon_0 r^2}, & r \geq R, \\ 0, & r \leq R, \end{cases}$$

де r – відстань від центра сфери.

13 Напруженість електростатичного поля кулі радіуса R , рівномірно зарядженої по об'єму:

$$E = \begin{cases} \frac{q}{4\pi\varepsilon_0 R^3} \cdot r, & r \leq R, \\ \frac{q}{4\pi\varepsilon_0 r^2}, & r \geq R, \end{cases}$$

де r – відстань від центра кулі.

14 Потенціалом електростатичного поля називається величина, яка чисельно дорівнює потенціальній енергії одиничного позитивного заряду, вміщеного в дану точку поля

$$\varphi = \frac{W_p}{q}.$$

15 Зв'язок між потенціалом і напруженістю електростатичного поля

$$\vec{E} = -grad\varphi.$$

Для однорідного поля $U = Ed$.

16 Робота сил електростатичного поля по переміщенню заряду

$$A = \int_{(1)}^{(2)} q\vec{E}d\vec{l}.$$

17 Різниця потенціалів (напруга) між двома точками – це величина, яка дорівнює роботі сил електростатичного поля по переміщенню одиничного позитивного заряду між даними двома точками.

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

18 Потенціал поля точкового заряду:

$$\varphi = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 r}.$$

19 Принцип суперпозиції: потенціал поля, створеного в даній точці системою зарядів, дорівнює алгебраїчній сумі потенціалів полів, створених кожним зарядом окремо:

$$\varphi = \sum_{i=1}^n \varphi_i.$$

20 Діелектричною проникністю речовини називається величина, яка показує, в скільки разів напруженість електростатичного поля в речовині менше, ніж у вакуумі:

$$\varepsilon = \frac{E_0}{E}.$$

21 Електроємністю провідника називається величина, яка чисельно дорівнює заряду, що необхідно надати провіднику для того, щоб його потенціал змінився на 1В:

$$C = \frac{q}{\varphi}.$$

22 Електроємність усамітненої кулі

$$C = 4\pi\varepsilon_0 R,$$

де R – радіус кулі.

23 Електроємність конденсатора – величина, яка дорівнює відношенню заряду конденсатора до різниці потенціалів між його обкладками

$$C = \frac{q}{U}.$$

24 Електроємність плоского конденсатора:

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

де S – площа обкладок конденсатора;

d – відстань між обкладками;

ε – діелектрична проникність речовини між обкладками конденсатора.

25 Електроємність сферичного конденсатора

$$C = \frac{4\pi\varepsilon\varepsilon_0 R_1 R_2}{R_2 - R_1},$$

де R_1, R_2 – радіуси внутрішньої та зовнішньої обкладок конденсатора.

26 Електроємність циліндричного конденсатора

$$C = 2\pi\varepsilon\varepsilon_0 \frac{l}{\ln \frac{R_2}{R_1}},$$

де l – довжина циліндрів; R_1 та R_2 – радіуси внутрішньої та зовнішньої обкладок.

27 Закони паралельного з'єднання конденсаторів:

$$C = \sum_{i=1}^n C_i,$$

$$q = \sum_{i=1}^n q_i,$$

$$U = U_1 = U_2 = \dots = U_n.$$

28 Закони послідовного з'єднання конденсаторів:

$$\frac{1}{C} = \sum_{i=1}^n \frac{1}{C_i},$$

$$q = q_1 = q_2 = \dots = q_n,$$

$$U = \sum_{i=1}^n U_i.$$

29 Енергія взаємодії двох точкових зарядів

$$W = \frac{q_1 q_2}{4\pi\epsilon_0 r},$$

де r – відстань між обкладками.

30 Енергія взаємодії системи точкових зарядів

$$W = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n q_i \varphi_i,$$

де φ_i – потенціал поля, створеного в точці, де знаходиться заряд q_i всіма зарядами, крім q_i .

31 Енергія зарядженого конденсатора

$$W = \frac{qU}{2},$$

$$W = \frac{q^2}{2C},$$

$$W = \frac{CU^2}{2}.$$

32 Енергія електростатичного поля

$$W = \frac{\varepsilon\varepsilon_0 E^2}{2} V.$$

33 Об'ємна густина енергія електростатичного поля

$$w = \frac{W}{V} = \frac{\varepsilon\varepsilon_0 E^2}{2}.$$

34 Сила струму – це фізична величина, яка дорівнює заряду, що проходить крізь поперечний переріз провідника за одиницю часу.

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

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

Для постійного струму

35 Густина струму – це вектор, модуль якого дорівнює струму крізь одиничну площадку, перпендикулярну напрямку руху носіїв заряду, а напрямком збігається з напрямком руху позитивно заряджених частинок.

$$j = \frac{dI}{dS},$$

$$\vec{j} = qn\vec{v},$$

де $n = \frac{N}{V}$ – концентрація носіїв струму, \vec{v} – швидкість напрямленого руху носіїв струму.

36 Опір циліндричного провідника

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

де ρ – питомий опір даної речовини.

37 Залежність опору провідника від температури

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

де R_0 – опір провідника при 0°C ;

α – термічний (температурний) коефіцієнт опору;

t – температура в градусах Цельсія, $^\circ\text{C}$.

38 Однорідною називається ділянка кола, на якій на носії струму не діють сторонні сили. Закон Ома для однорідної ділянки кола: сила струму на однорідній ділянці кола прямо пропорційна напрузі на кінцях ділянки та обернено пропорційна опору ділянки

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

39 Закон Ома в диференціальній (локальній) формі

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

де σ – питома провідність.

40 Закони послідовного з'єднання провідників:

$$I = I_1 = I_2 = \dots = I_n,$$

$$R = \sum_{i=1}^n R_i,$$

$$U = \sum_{i=1}^n U_i.$$

41 Закони паралельного з'єднання провідників:

$$I = \sum_{i=1}^n I_i,$$

$$\frac{1}{R} = \sum_{i=1}^n \frac{1}{R_i},$$

$$U = U_1 = U_2 = \dots = U_n.$$

42 Сторонні сили – це сили неелектростатичного походження, здатні переміщувати електричний заряд. Ділянка кола, на якій діють сторонні сили, називається неоднорідною.

43 Електрорушійна сила (ЕРС) – це величина, яка дорівнює роботі сторонніх сил по переміщенню одиничного позитивного заряду між даними двома точками:

$$\varepsilon_{12} = \int_{(1)}^{(2)} \vec{E}^* \vec{dl},$$

\vec{E}^* – напруженість поля сторонніх сил.

44 Електрорушійна сила джерела струму – величина, яка чисельно дорівнює роботі сторонніх сил по переміщенню одиничного позитивного заряду вздовж замкнутого кола:

$$\varepsilon = \oint \vec{E}^* \vec{dl}.$$

45 Закон Ома для неоднорідної ділянки кола

$$I(R + r) = \varphi_1 - \varphi_2 + \varepsilon_{12}.$$

46 Закон Ома для замкнутого кола

$$I = \frac{\varepsilon}{R + r},$$

де r – внутрішній опір джерела.

47 Послідовне з'єднання джерел струму:

$$\varepsilon = \sum_{i=1}^n \varepsilon_i,$$
$$r = \sum_{i=1}^n r_i.$$

48 Паралельне з'єднання джерел струму:

$$\frac{\varepsilon}{r} = \sum_{i=1}^n \frac{\varepsilon_i}{r_i},$$
$$\frac{1}{r} = \sum_{i=1}^n \frac{1}{r_i}.$$

49 Робота струму

$$A = I\varepsilon t = I^2(R + r)t = \frac{\varepsilon^2}{R + r} t.$$

50 Корисна робота – це робота, яка здійснюється у зовнішній частині кола:

$$A_k = UIt = I^2 R t = \frac{U^2}{R} t.$$

51 Потужність струму

$$P = I\varepsilon = I^2(R + r) = \frac{\varepsilon^2}{R + r}.$$

52 Корисна потужність – це потужність, яка виділяється у зовнішній частині кола:

$$P_k = UI = I^2 R = \frac{U^2}{R}.$$

53 Коефіцієнт корисної дії джерела струму – величина, яка показує, яка частка енергії, що виробляється джерелом, передається у зовнішнє коло:

$$\eta = \frac{A_k}{A} = \frac{P_k}{P} = \frac{R}{R + r}.$$

54 Закон Джоуля-Ленца: кількість теплоти, що виділяється в провіднику зі струмом, дорівнює добутку квадрату сили струму на опір провідника та час протікання струму:

$$Q = I^2 R t.$$

55 Закон Джоуля-Ленца у диференціальній формі

$$Q_{num} = \rho j^2.$$

$Q_{num} = \frac{dQ}{dV dt}$ – питома теплова потужність – кількість теплоти, що виділяється у одиниці об'єму провідника за одиницю часу.

1.3 Приклади розв'язування задач

1 Дві однакових металевих кульки з зарядами 14 нКл та -20 нКл привели у контакт та розвели на відстань 20 см. З якою силою будуть взаємодіяти кульки?

Дано: $q_1 = 14 \text{ нКл}$ $q_2 = -20 \text{ нКл}$ $r = 20 \text{ см}$	СІ: $1,4 \cdot 10^{-8} \text{ Кл}$ $-2 \cdot 10^{-8} \text{ Кл}$
F-?	0,2м

Розв'язання:

оскільки кульки однакові, заряди кульок після взаємодії будуть однаковими:

$$q'_1 = q'_2 = \frac{q_1 + q_2}{2}$$

За законом Кулона сила взаємодії між кульками

$$F = \frac{q'_1 \cdot q'_2}{4\pi\epsilon_0 r^2} = \frac{(q_1 + q_2)^2}{16\pi\epsilon_0 r^2}$$

$$F = \frac{(1,4 \cdot 10^{-8} - 2 \cdot 10^{-8})^2}{16 \cdot 3,14 \cdot 8,85 \cdot 10^{-12} \cdot 0,04} = 2,02 \cdot 10^{-6} (Н)$$

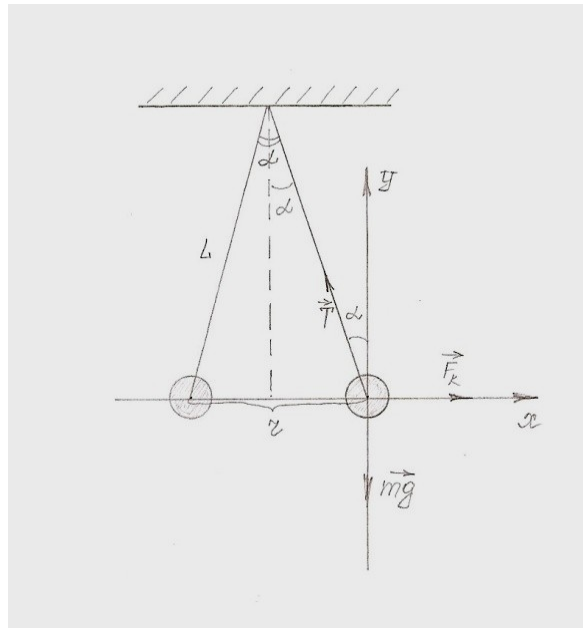
2 Дві однакові провідні кульки підвішені в одній точці на нитках довжиною 50 см. Після того, як кулькам надали рівних зарядів по 40 нКл, нитки розійшлися на кут 60° . Визначити маси кульок.

Дано: $q_1 = q_2 =$ $= 40 \text{ нКл}$ $L = 50 \text{ см}$ $\alpha = 60^\circ$	СІ: $4 \cdot 10^{-8} \text{ Кл}$ $0,5 \text{ м}$
m-?	

Розв'язання:

якщо система знаходиться в рівноважному стані, рівнодійна сил, що діють на кожну з кульок, повинна дорівнювати 0. Тоді

$$\vec{m\vec{g}} + \vec{T} + \vec{F}_k = 0.$$



В проєкціях на координатні осі

$$Ox: F_k - T \sin \frac{\alpha}{2} = 0;$$

$$Oy: -mg + T \cos \frac{\alpha}{2} = 0.$$

Сила кулонівської взаємодії кульок $F_k = \frac{q_1 q_2}{4\pi\epsilon_0 r^2}$, отже,

$$\frac{q_1 q_2}{4\pi\epsilon_0 r^2} - T \sin \frac{\alpha}{2} = 0$$

Звідси $T = \frac{q_1 q_2}{4\pi\epsilon_0 r^2 \sin\left(\frac{\alpha}{2}\right)}$.

Тоді маси кульок $m = \frac{q_1 q_2 \operatorname{ctg}\left(\frac{\alpha}{2}\right)}{4\pi\epsilon_0 r^2 g}$.

$$r = 2l \sin\left(\frac{\alpha}{2}\right) = 2 \cdot 0,5 \cdot \sin\left(\frac{60^\circ}{2}\right) = 0,5 \text{ м};$$

$$m = \frac{(4 \cdot 10^{-8})^2 \operatorname{ctg} 30^\circ}{4 \cdot 3,14 \cdot 8,85 \cdot 10^{-12} \cdot 0,25 \cdot 9,8} = 3,39 \cdot 10^{-6} \text{ (кг)}.$$

з Частинка, яка має заряд 10 нКл та масу 20 мг, знаходиться в просторі між двома горизонтально розташованими нескінченними паралельними площинами, поверхнева густина заряду на яких $5 \frac{\text{нКл}}{\text{м}^2}$ та $7 \frac{\text{нКл}}{\text{м}^2}$. Визначити прискорення частинки.

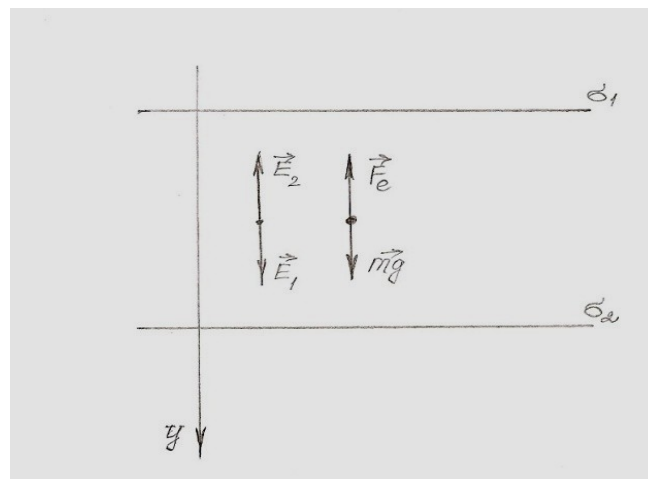
Дано: $q = 10_{\text{нКл}}$	СІ: 10^{-8} Кл
$m = 20_{\text{мг}}$	$2 \cdot 10^{-5} \text{ кг}$
$\sigma_1 = 5 \frac{\text{нКл}}{\text{м}^2}$	$5 \cdot 10^{-9} \frac{\text{Кл}}{\text{м}^2}$
$\sigma_2 = 7 \frac{\text{нКл}}{\text{м}^2}$	$7 \cdot 10^{-9} \frac{\text{Кл}}{\text{м}^2}$
а—?	

Розв'язання:
основне рівняння динаміки частинки

$$m\vec{a} = m\vec{g} + \vec{F}_e$$

Сила, що діє на частинку з боку електричного поля, створеного системою площин,

$$\vec{F}_e = q\vec{E}.$$



Отже, в проекціях на вісь Оу маємо:

$$ma = mg - qE.$$

Згідно з принципом суперпозиції

$$\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2$$

Враховуючи напрямки векторів \vec{E}_1 та \vec{E}_2 , маємо

$$E = E_1 - E_2$$

Модулі цих векторів відповідно дорівнюють

$$E_1 = \frac{\sigma_1}{2\varepsilon\varepsilon_0}, \quad E_2 = \frac{\sigma_2}{2\varepsilon\varepsilon_0}; \quad E = \frac{\sigma_1 + \sigma_2}{2\varepsilon\varepsilon_0}$$

Тоді $ma = mg - q \frac{\sigma_1 + \sigma_2}{2\varepsilon\varepsilon_0}$. Отже, прискорення частинки

$$a = g - \frac{q}{m} \frac{\sigma_1 + \sigma_2}{2\varepsilon\varepsilon_0};$$

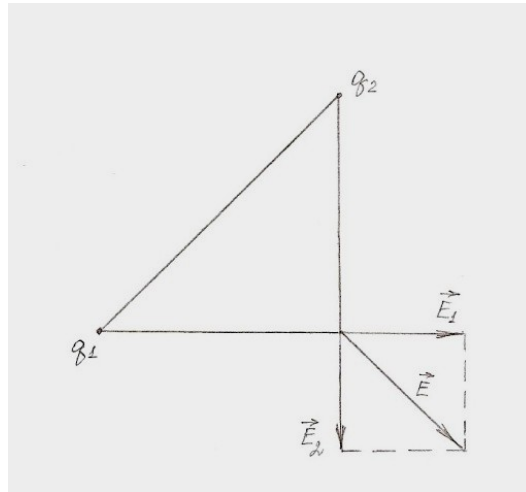
$$a = 9,8 - \frac{10^{-8}}{2 \cdot 10^{-5}} \frac{5 \cdot 10^{-9} + 7 \cdot 10^{-9}}{2 \cdot 1,885 \cdot 10^{-12}} = 9,8 - 3,39 = 5,41 (\text{м/с}^2)$$

4 У двох вершинах прямокутного рівнобедреного трикутника з катетом 10 см знаходяться однакові за величиною та знаком заряди 4 нКл кожен. Знайти величину напруженості електричного поля у вершині прямого кута. Який напрямок має вектор напруженості у цій точці?

Дано: а=10см $q_1 = q_2 = q = 4 \text{ нКл}$	СІ: 0,1м $4 \cdot 10^{-9} \text{ Кл}$
Е-?	

Розв'язання:
згідно з принципом
суперпозиції

$$\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2$$



Враховуючи напрямки векторів \vec{E}_1 та \vec{E}_2 , отримаємо

$$E = \sqrt{E_1^2 + E_2^2}$$

Вважаючи заряди точковими, маємо $E_1 = E_2 = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 a^2}$.

Отже,
$$E = \frac{q\sqrt{2}}{4\pi\epsilon_0 a^2}$$

$$E = \frac{4 \cdot 10^{-9} \sqrt{2}}{4 \cdot 3,14 \cdot 8,85 \cdot 10^{-12} \cdot 10^{-2}} = 5,1 \cdot 10^3 \left(\frac{В}{м}\right)$$

5 На яку мінімальну відстань може наблизитися електрон до невеликої зарядженої кульки з зарядом -2 нКл, якщо на нескінченно великій відстані від кульки електрон має швидкість 4 Мм/с?

Розв'язання:

Дано: $q_1 = -2 \text{ нКл}$ $q_2 = e = -1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$ $m = 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ кг}$ $v = 4 \frac{\text{Мм}}{\text{с}}$	Сі: $2 \cdot 10^{-9} \text{ Кл}$ $4 \cdot 10^6 \frac{\text{М}}{\text{с}}$
$r_{\min} = ?$	22

закон збереження енергії електрона в електростатичному полі, створеному зарядженою кулькою:

$$\frac{mv_1^2}{2} + e\varphi_1 = \frac{mv_2^2}{2} + e\varphi_2$$

Вважаючи початкову точку такою, що знаходиться на нескінченно великій відстані від зарядженої кульки, маємо

$$\varphi_1 = 0. \text{ В точці найбільшого наближення } \varphi_2 = \frac{q_1}{4\pi\epsilon_0 r_{min}}. \text{ В точці 2}$$

електрон зупиняється, тому $v_2 = 0$.

$$\text{Тоді } \frac{mv_1^2}{2} = e \frac{q_1}{4\pi\epsilon_0 r_{min}}$$

Звідси мінімальна відстань, на яку наблизиться електрон до кульки:

$$r_{min} = \frac{e q_1}{2\pi\epsilon_0 m v_1^2}$$

$$r_{min} = \frac{1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 2 \cdot 10^{-9}}{2 \cdot 3,14 \cdot 8,85 \cdot 10^{-12} \cdot 9,1 \cdot 10^{-31} \cdot 1,6 \cdot 10^{12}} = 0,395 \text{ (м)}$$

6 Два однакових плоских конденсатори під'єднані до джерел напруги U . Простір між обкладками конденсаторів заповнений двома шарами діелектрика з діелектричними проникностями ϵ_1 та ϵ_2 . В першому конденсаторі шари розташовані паралельно до обкладок, а в другому – перпендикулярно. В скільки разів відрізняються ємності цих конденсаторів?

Дано: U ϵ_1 ϵ_2	Розв'язання: якщо паралельно до обкладок плоского конденсатора розташувати шари діелектрика, то таку систему можна розглядати як два
С-?	

конденсатори, з'єднані послідовно площиною контакту діелектрика. Обкладками першого конденсатора є граничні шари діелектрика з проникністю ϵ_1 , обкладками другого – такі ж шари діелектрика з проникністю ϵ_2 . Площі обкладок цих конденсаторів рівні, відстані між обкладками визначаються товщиною діелектриків, і в даному випадку дорівнюють половині відстані між обкладками повітряного конденсатора, всередині якого знаходяться діелектрики. Ємність двох послідовно з'єднаних конденсаторів $\frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2}$. Ємності кожного конденсатора окремо

$$C_1 = \frac{\epsilon_1 \epsilon_0 S}{d/2} \quad \text{та} \quad C_2 = \frac{\epsilon_2 \epsilon_0 S}{d/2}, \quad \text{тоді загальна ємність:} \quad C_{\text{посл}} = \frac{2\epsilon_1 \epsilon_2 \epsilon_0 S}{d(\epsilon_1 + \epsilon_2)}.$$

Якщо ж шари діелектриків розташовані перпендикулярно до пластин, систему можна розглядати як два паралельно з'єднаних конденсатори, з'єднані через самі пластини. Однаковими будуть відстані між обкладками, а площі пластин визначаються об'ємами внесених діелектриків. В даному випадку ці об'єми рівні, тому площі також рівні та дорівнюють $\frac{S}{2}$. Ємність конденсаторів, з'єднаних паралельно, $C_{\text{пар}} = C_1 + C_2$. Оскільки

$$C_1 = \frac{\epsilon_1 \epsilon_0 S}{2d} \quad \text{та} \quad C_2 = \frac{\epsilon_2 \epsilon_0 S}{2d}, \quad \text{то} \quad C_{\text{пар}} = \frac{(\epsilon_1 + \epsilon_2) \epsilon_0 S}{2d}. \quad \text{Отже, відношення}$$

$$\text{ємностей} \quad \frac{C_{\text{посл}}}{C_{\text{пар}}} = \frac{4\epsilon_1 \epsilon_2}{(\epsilon_1 + \epsilon_2)^2}.$$

7 Визначити ЕРС джерела, якщо при під'єднанні до нього резистора опором 4 Ом напруга на його затискачах падає до 8 В. Струм короткого замикання 12 А.

Дано: R=4 Ом U=8 В $I_{\text{кз}}=12$ А
ϵ - ?

Розв'язання:

закон Ома для повного кола $I = \frac{\varepsilon}{R+r}$, звідси ЕРС джерела

$\varepsilon = I(R+r) = IR + Ir$. З іншого боку, струм в колі $I = \frac{U}{R}$, а струм

короткого замикання $I_{кз} = \frac{\varepsilon}{r}$. Тоді

$$\varepsilon = U + \frac{U}{R} \cdot \frac{\varepsilon}{I_{кз}}$$

Отже, ЕРС джерела струму $\varepsilon = \frac{U}{1 - \frac{U}{RI_{кз}}}$.

$$\varepsilon = \frac{8}{1 - \frac{8}{4 \cdot 12}} = 9,6(\text{В})$$

8 Максимальна потужність струму у зовнішньому колі дорівнює 20 Вт при силі струму 2 А. Визначити внутрішній опір джерела.

Дано: $P_{a,max} = 20\text{В}$ $I = 2\text{ А}$

Розв'язання:
 потужність, що виділяється у зовнішньому колі:

$$P_a = I^2 R$$

Ця потужність буде максимальною за умови $R = r$, отже,

$$P_{a,max} = I^2 r$$

Тому внутрішній опір кола $r = \frac{P_{a,max}}{I^2}$.

$$r = \frac{20}{2^2} = 5(\text{Ом})$$

2 ЕЛЕКТРОМАГНЕТИЗМ: ПРОГРАМА КУРСУ, ОСНОВНІ ЗАКОНИ ТА ФОРМУЛИ, ПРИКЛАДИ РОЗВ'ЯЗУВАННЯ ЗАДАЧ

2.1 Програма курсу

- 1 Магнітне поле. Силкові лінії магнітного поля.
- 2 Сила Лоренца. Рух зарядженої частинки в однорідному магнітному полі.
- 3 Дія магнітного поля на провідник зі струмом. Сила Ампера.
- 4 Магнітний момент контура зі струмом. Обертальний момент сил.
- 5 Закон Біо-Савара-Лапласа та його застосування.
- 6 Магнітний потік. Теорема Гаусса для вектора магнітної індукції.
- 7 Напруженість магнітного поля. Теорема про циркуляцію вектора напруженості магнітного поля. Соленоїд. Нескінченно довгий соленоїд. Поле соленоїда.
- 8 Магнітна взаємодія провідників зі струмом.
- 9 Робота по переміщенню контура зі струмом у магнітному полі.
- 10 Магнітне поле в речовині. Гіпотеза Ампера. Намагніченість. Теорема про циркуляцію вектора намагніченості.
- 11 Магнітні моменти атомів.
- 12 Діамагнетики та парамагнетики. Ферромагнетики. Магнітний гістерезис.
- 13 Явище електромагнітної індукції. Закон Фарадея. Правило Ленца.
- 14 Самоіндукція. Індуктивність. Індуктивність нескінченно довгого соленоїда. Замикання та розмикання кола, що містить індуктивність.
- 15 Енергія магнітного поля струму.

2.2 Основні закони і формули

1 Сила Лоренца – сила, з якою магнітне поле діє на рухомий заряд.

$$\vec{F}_L = q[\vec{v}, \vec{B}],$$

Модуль сили Лоренца

$$F_L = qvB \sin \alpha,$$

де q – заряд частинки;

v – швидкість частинки;

B – магнітна індукція;

α – кут між напрямком руху частинки та силовими лініями магнітного поля.

2 Сила Ампера – сила, з якою магнітне поле діє на провідник зі струмом.

$$\vec{F}_A = I[\vec{l}, \vec{B}],$$

Модуль сили Ампера:

$$F_A = IBl \sin \alpha,$$

де I – сила струму в колі;

l – довжина вектора, що сполучає початок та кінець провідника;

α – кут між вектором магнітної індукції та напрямком струму в провіднику.

3 Магнітний момент контура зі струмом – це вектор, модуль якого дорівнює добутку сили струму в контурі на площу

контура, спрямований вздовж позитивної нормалі до площини контура:

$$\vec{p}_m = IS\vec{n},$$

де I – сила струму в колі;

S – площа контура;

\vec{n} – вектор позитивної нормалі.

Позитивна нормаль – це вектор одиничної довжини, перпендикулярний площині контура та пов'язаний з напрямком струму в провіднику правилом правого гвинта.

4 Обертальний момент, що діє на контур зі струмом:

$$\vec{M}_{об} = [\vec{p}_m, \vec{B}],$$

5 Закон Біо-Савара-Лапласа

$$d\vec{B} = \frac{\mu_0 I}{4\pi} \cdot \frac{[d\vec{l}, \vec{r}]}{r^3},$$

де $d\vec{B}$ – індукція магнітного поля, створеного елементом зі струмом $I d\vec{l}$ в точці, що визначається радіус-вектором \vec{r} .

6 Індукція магнітного поля, створеного нескінченним прямолінійним провідником зі струмом:

$$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi r}.$$

7 Індукція магнітного поля, створеного прямолінійним провідником кінцевої довжини:

$$B = \frac{\mu_0}{4\pi r} (\cos\alpha_1 - \cos\alpha_2),$$

де α_1 і α_2 – кути, під якими видно кінці провідника з даної точки.

8 Індукція магнітного поля на осі колового струму

$$B = \frac{\mu_0 IR^2}{(R^2 + h^2)^{3/2}}.$$

9 Індукція магнітного поля в центрі кругового витка

$$B = \frac{\mu_0 I}{2R}.$$

10 Теорема Гаусса для вектора магнітної індукції: потік вектора \vec{B} крізь довільну замкнуту поверхню дорівнює нулю:

$$\oint_S \vec{B} d\vec{S} = 0.$$

11 Теорема про циркуляцію вектора магнітної індукції: циркуляція вектора \vec{B} вздовж довільного замкнутого контуру дорівнює алгебраїчній сумі струмів, охоплених даним контуром, помноженій на μ_0 :

$$\oint_L \vec{B} d\vec{l} = \mu_0 \sum_{i=0}^n I_i.$$

12 Індукція магнітного поля нескінченно довгого соленоїда:

$$B = \mu_0 nI,$$

де $n = \frac{N}{l}$ – густина намотки соленоїда – кількість витків на одиницю довжини соленоїда.

13 Індукція магнітного поля на осі соленоїда кінцевої довжини

$$B = \frac{\mu_0 n I}{2} (\cos \alpha_1 - \cos \alpha_2),$$

де α_1 і α_2 – кути, під якими видно кінці соленоїда з даної точки на його осі.

14 Сила взаємодії двох прямолінійних провідників зі струмом

$$F = \frac{\mu_0 I_1 I_2}{2\pi d} l. \quad (l \gg d).$$

15 Магнітна проникність речовини:

$$\mu = \frac{B}{B_0}.$$

16 Зв'язок магнітної індукції та напруженості магнітного поля

$$\vec{B} = \mu \mu_0 \vec{H}.$$

17 Об'ємна густина енергії магнітного поля:

$$w = \frac{BH}{2}.$$

18 Робота по переміщенню контура зі струмом у магнітному полі

$$A = \int I d\Phi.$$

19 Магнітний потік, який пронизує однорідне магнітне поле \vec{B} .

$$\Phi = BS \cos \alpha,$$

де α – кут між напрямком позитивної нормалі до площини контура та вектором магнітної індукції.

20 Закон Фарадея для електромагнітної індукції: ЕРС індукції пропорційна швидкості зміни магнітного потоку крізь замкнутий провідний контур:

$$\varepsilon = - \frac{d\Phi}{dt}.$$

21 Заряд, який проходить крізь поперечний переріз провідника під час імпульсу індукційного струму:

$$q = - \frac{\Delta\Phi}{R},$$

де R – опір провідника.

22 ЕРС самоіндукції

$$\varepsilon = -L \frac{dI}{dt}.$$

23 Індуктивність нескінченно довгого соленоїда

$$L = \mu\mu_0 n^2 l S,$$

де n – густина намотки соленоїда;

l – його довжина;

S – площа поперечного перерізу.

24 Енергія магнітного поля провідника зі струмом

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

25 Залежність від часу сили струму під час замикання кола

$$I = I_0 \left(1 - e^{-\frac{R}{L}t}\right).$$

де I_0 – сила струму в початковий момент часу.

26 Залежність від часу сили струму під час розмикання кола

$$I = I_0 e^{-\frac{R}{L}t}.$$

2.3 Приклади розв'язування задач

1 Електрон описує у магнітному полі з індукцією 200 мТл коло радіусом 1 мм. Визначити імпульс електрона.

Дано: U=200 В R=1 мм B=20 мТл	СІ: 10^{-3} М 0,2 Тл
p-?	

Розв'язання:

імпульс електрона $p = mv$.

Радіус кола, за яким частинка рухається у магнітному полі:

$$R = \frac{mv}{qB}.$$

Звідси

$$mv = qBR,$$

отже,

$$p = qBR.$$

$$p = 1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 2 \cdot 10^{-2} \cdot 10^{-3} = 3,2 \cdot 10^{-24} \frac{\text{кг} \cdot \text{м}}{\text{с}}$$

2 α -частинка влітає зі швидкістю 1 Мм/с у однорідне магнітне поле з індукцією 10 Тл перпендикулярно до силових ліній. Знайти силу, яка діє на частинку, радіус кола, за яким вона рухається, та період обертання.

Дано:	Розв'язання:
$v = 10^6 \frac{\text{м}}{\text{с}}$	сила Лоренца, що діє на частинку з боку магнітного поля:
$B = 10 \text{ Тл}$	
F-?	$F = qvB \sin \alpha$
R-?	
T-?	

$$F = 3,2 \cdot 10^{-19} \cdot 10^6 \cdot 10 \cdot \sin 90^\circ = 3,2 \cdot 10^{-13} \text{ (Н)}$$

Радіус кола, за яким частинка рухається у магнітному полі:

$$R = \frac{mv}{qB}$$

$$R = \frac{6,68 \cdot 10^{-27} \cdot 10^6}{3,2 \cdot 10^{-19} \cdot 10} = 2,09 \cdot 10^{-3} \text{ (м)}$$

Період обертання α – частинки:

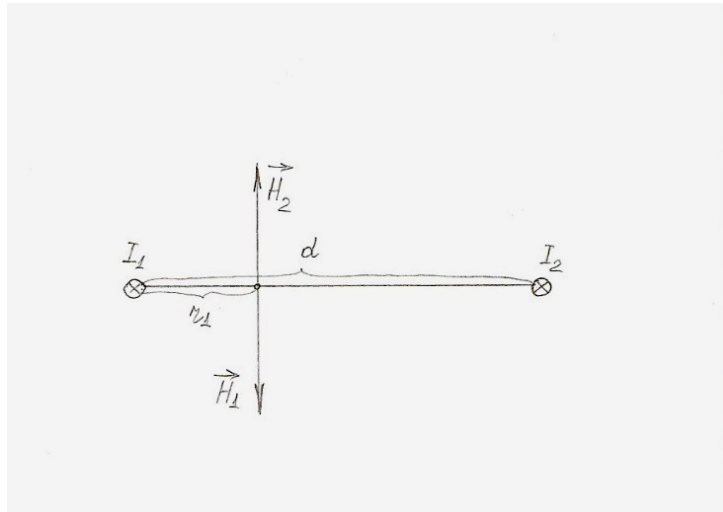
$$T = \frac{2\pi R}{v}$$

$$T = \frac{2 \cdot \pi \cdot 2,09 \cdot 10^{-3}}{10^6} = 1,31 \cdot 10^{-8} \text{ (с)}$$

3 Два прямолінійних паралельних нескінченних провідники, в яких течуть струми однакового напрямку 10 та 30 А, знаходяться на відстані 10 см один від одного. На якій відстані від першого провідника знаходиться точка, в якій напруженість магнітного поля, створеного провідниками, дорівнює нулю?

Дано:	СІ:
$d=10\text{ см}$	$0,1\text{ м}$
$I_1 = 10\text{ А}$	
$I_2 = 30\text{ А}$	
$H=0$	
$r_1=?$	

Розв'язання:



відповідно до принципу суперпозиції напруженість результуючого магнітного поля $\vec{H} = \vec{H}_1 + \vec{H}_2$. Напрямки векторів \vec{H}_1 та \vec{H}_2 визначаємо за правилом правого гвинта. Тоді модуль результуючого вектора напруженості магнітного поля

$$H = H_1 - H_2 = \frac{I_1}{2\pi r_1} - \frac{I_2}{2\pi r_2} = \frac{1}{2\pi} \left(\frac{I_1}{r_1} - \frac{I_2}{r_2} \right) = \frac{1}{2\pi} \left(\frac{I_1}{r_1} - \frac{I_2}{d-r_1} \right).$$

Оскільки за умовою задачі $H = 0$, отже,

$$\frac{1}{2\pi} \left(\frac{I_1}{r_1} - \frac{I_2}{d-r_1} \right) = 0;$$

$$\left(\frac{I_1}{r_1} - \frac{I_2}{d-r_1}\right) = 0;$$

$$I_1(d - r_1) - I_2 r_1 = 0;$$

$$I_1 d - r_1(I_1 + I_2) = 0.$$

Тоді шукана відстань від першого провідника

$$r_1 = \frac{I_1 d}{I_1 + I_2}.$$

$$r_1 = \frac{10 \cdot 0,1}{10 + 30} = 0,25(\text{м}).$$

4 Магнітне поле в точці А утворюється двома прямолінійними взаємно перпендикулярними струмами $I_1 = I_2 = 10\text{А}$. Розрахувати модуль результуючого вектора магнітної індукції в точці А, якщо $a=1\text{ м}$.

Дано:

$$I_1 = I_2 = 10\text{А}$$

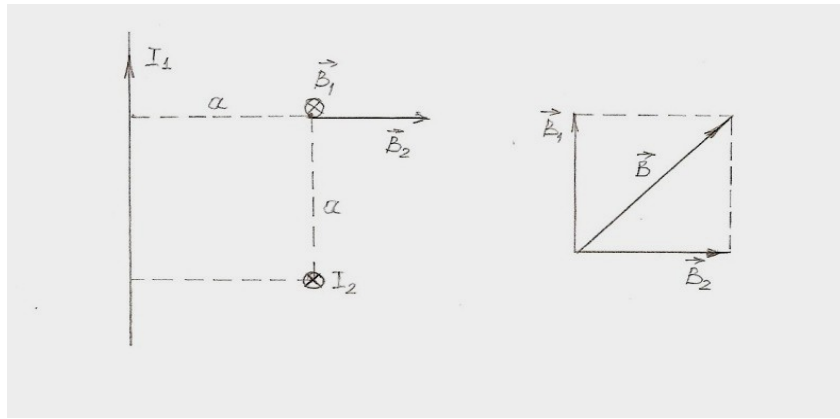
$$a = 1\text{ м}$$

В-?

Розв'язання:

згідно з принципом суперпозиції результуючий вектор магнітної індукції

$$\vec{B} = \vec{B}_1 + \vec{B}_2.$$



Напрямки векторів магнітної індукції полів, створених в точці А кожним провідником окремо, визначимо за правилом правого гвинта – ці вектори взаємно перпендикулярні, отже модуль результуючого вектора магнітної індукції $B = \sqrt{B_1^2 + B_2^2}$. Індукції магнітних полів, що створюються в точці А провідниками окремо:

$$B_1 = \frac{\mu_0 I_1}{2\pi r_1} = \frac{\mu_0 I}{2\pi a} \quad \text{та} \quad B_2 = \frac{\mu_0 I_2}{2\pi r_2} = \frac{\mu_0 I}{2\pi a}$$

Отже,
$$B = \sqrt{\left(\frac{\mu_0 I}{2\pi a}\right)^2 + \left(\frac{\mu_0 I}{2\pi a}\right)^2} = \frac{\mu_0 I}{2\pi a} \sqrt{2}$$

$$B = \frac{4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 10 \cdot \sqrt{2}}{2\pi \cdot 1} = 2,8 \cdot 10^{-6} \text{ (Тл)}$$

5 Два прямолінійних паралельних провідники зі струмом 20 та 50 А знаходяться на відстані 5 см один від одного. Яку роботу на одиницю довжини провідників слід здійснити, щоб роздвинути провідники на відстань 20 см?

Дано:	СІ:
$I_1=20 \text{ А}$	
$I_2=50 \text{ А}$	0,05м
$r_1=5 \text{ см}$	0,2м
$r_2=20 \text{ см}$	
А-?	

Розв'язання:

робота по переміщенню провідників зі струмом

$$A_l = \int_{r_1}^{r_2} F_l dr$$

Сила взаємодії провідників $F = \frac{\mu_0 I_1 I_2 l}{2\pi r}$.

На одиницю довжини провідників припадає сила $F_l = \frac{\mu_0 I_1 I_2}{2\pi r}$.

Отже, робота по переміщенню провідників

$$A_l = \int_{r_1}^{r_2} \frac{\mu_0 I_1 I_2}{2\pi r} dr = \frac{\mu_0 I_1 I_2}{2\pi} \int_{r_1}^{r_2} \frac{dr}{r} = \frac{\mu_0 I_1 I_2}{2\pi} \ln \frac{r_2}{r_1}.$$

$$A_l = \frac{4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 20 \cdot 50}{2\pi} \ln \frac{0,2}{0,05} = 2,77 \cdot 10^{-5} \left(\frac{\text{Дж}}{\text{м}} \right).$$

6 На соленоїд довжиною 20 см та площею поперечного перерізу 30 см^2 , що містить 320 витків, надіто дротяний контур. Яка середня ЕРС індукції виникає у витку під час рівномірного зменшення сили струму в соленоїді від 3А до нуля?

Дано: $l = 20 \text{ см}$ $S = 30 \text{ см}^2$ $N = 320$ $I_1 = 30 \text{ А}$ $I_2 = 0$	СІ: 0,2 м $3 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2$
$\mathcal{E}_{\text{ісп}} - ?$	

Розв'язання:
за законом Фарадея для електромагнітної індукції

$$\mathcal{E}_{\text{ісп}} = - \frac{\Delta \Phi}{\Delta t};$$

$$\Phi = BS \cos \alpha;$$

$$\alpha = 0, \cos \alpha = 1;$$

$$B = \mu \mu_0 n I;$$

$$n = \frac{N}{l} \Rightarrow B = \mu\mu_0 \frac{N}{l} I;$$

$$\Phi = \mu\mu_0 \frac{N}{l} IS;$$

$$\Delta\Phi = \Phi_2 - \Phi_1 = \mu\mu_0 \frac{N}{l} S(I_2 - I_1);$$

$$\varepsilon_{\text{иср}} = \frac{\mu\mu_0 NS(I_1 - I_2)}{l\Delta t};$$

$$\varepsilon_{\text{иср}} = \frac{1 \cdot 4\pi \cdot 10^{-3} \cdot 320}{0,001 \cdot 0,2} (3 - 0) = 1,8 \cdot 10^{-2} (B).$$

7 В замкнутому колі опором 20 Ом тече струм. Через час 8 мс після розмикання кола сила струму зменшується в 20 разів. Визначити індуктивність кола.

Дано: R=20 Ом t=8 мс $\frac{I_0}{I} = 20$	Сі: 0,008 с
L-?	

Розв'язання:
під час розмикання кола струм зменшується за законом

$$I = I_0 e^{-\frac{R}{L}t},$$

$$\frac{R}{L}t = \ln \frac{I_0}{I},$$

Отже, індуктивність контура

$$L = \frac{Rt}{\ln \frac{I_0}{I}}.$$

$$L = \frac{20 \cdot 8 \cdot 10^{-3}}{\ln 20} = 0,53 \text{ (Гн)}.$$

8 Рамка площею 20см^2 рівномірно обертається з частотою 2с^{-1} у магнітному полі напруженістю 50 кА/м . Визначити максимальну ЕРС індукції, що виникає в рамці.

Дано: $S = 20\text{см}^2$ $\nu = 2\text{с}^{-1}$ $H = 50 \frac{\text{кА}}{\text{м}}$	СІ: $2 \cdot 10^{-3}\text{м}^2$ $5 \cdot 10^4 \frac{\text{А}}{\text{м}}$
$\varepsilon_{i\text{max}} - ?$	

Розв'язання:

за законом Фарадея для електромагнітної індукції ЕРС, що виникає в рамці:

$$\varepsilon_i = -\frac{d\Phi}{dt}.$$

Магнітний потік, що пронизує рамку:

$$\Phi = BS \cos \varphi.$$

Індукція магнітного поля $B = \mu_0 H$. Кут, який утворює нормаль до площини рамки та вектор магнітної індукції:

$$\varphi = \omega t = 2\pi \nu t.$$

Отже,

$$\Phi = \mu_0 HS \cos(2\pi \nu t).$$

Тоді $\varepsilon_i = -\frac{d}{dt}(\mu_0 HS \cos(2\pi \nu t)) = 2\pi \nu \mu_0 HS \sin(2\pi \nu t)$.

$\varepsilon = \varepsilon_{\text{max}}$, якщо $\sin(2\pi \nu t) = 1$, тому $\varepsilon_{\text{max}} = 2\pi \nu \mu_0 HS$.

$$\varepsilon_{max} = 2 \cdot 3,14 \cdot 2 \cdot 4 \cdot 3,14 \cdot 10^{-7} \cdot 5 \cdot 10^4 \cdot 2 \cdot 10^{-3} = 1,58 \cdot 10^{-3} \text{ (В)} .$$

3 ВАРІАНТИ КОНТРОЛЬНИХ ЗАВДАНЬ

Контрольна робота 3

1 Дві однакові провідні кульки підвішені на однакових нитках довжиною 1м, закріплених в одній точці. Після надання кулькам заряду по 0,4 мкКл кожному нитки розійшлися на кут 60° . Визначити силу тяжіння, що діє на кожен кульку. Яка густина матеріалу кульок, якщо після занурення їх у гас кут розходження ниток став рівним 54° ? Діелектрична проникність гасу дорівнює 2.

2 Дві однакові заряджені кульки, що висять на однакових нитках, занурюють у рідкий діелектрик з проникністю 2. Знайти відношення густини матеріалу кульок до густини матеріалу діелектрика, якщо кут розходження ниток в повітрі та діелектрику однаковий.

3 Три однакові маленькі кульки масою 0,1 г підвішені у одній точці на нитках довжиною 20 см. Які заряди слід надати кулькам, щоб кожна нитка утворила з вертикаллю кут 30° .

4 З якою силою взаємодіють довга проволочка з лінійною густиною заряду $10 \frac{\text{нКл}}{\text{м}}$ та точковий заряд 20 нКл, що знаходиться на відстані 3 см від проволочки поблизу її середини.

5 Два нерухомих позитивних заряди по $1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл кожний розташовані на відстані $2 \cdot 10^{-13}$ м один від одного. Вздовж перпендикуляра, який проходить крізь середину відрізка, що з'єднує ці заряди, рухається електрон. В якій точці перпендикуляра сила взаємодії електрона та нерухомих зарядів максимальна?

6 Два точкових заряди $2 \cdot 10^{-7} \text{ Кл}$ та $-4 \cdot 10^{-7} \text{ Кл}$

знаходяться в гасі ($\epsilon = 2$) на відстані 10 см один від одного. Яка напруженість електричного поля в точці, що знаходиться на відстані 20 см від першого заряду та 15 см від другого заряду?

7 У вершинах квадрату зі стороною 4 см розташовані два позитивних (на одній стороні квадрата) та два негативних (на протилежній стороні) заряди, за модулем рівні 30 нКл кожен. Визначити напруженість та потенціал електричного поля в центрі квадрата.

8 Електрон починає переміщуватися від одної пластини плоского конденсатора до іншої. Різниця потенціалів між пластинами конденсатора 300 В, відстань між ними 5 мм. Визначити швидкість, з якою електрон досягне другої пластини, та час його руху.

9 Поверхню нагрітої до високої температури від'ємно зарядженої нитки електрон залишає зі швидкістю 20 м/с. Яку швидкість він буде мати на відстані 2 см від нитки? Лінійна густина заряду нитки $-2 \cdot 10^{-9} \frac{\text{Кл}}{\text{м}}$. Радіус нитки 0,5 мм.

10 В розрядну трубку, заповнену газом під дуже низьким тиском, впаяні на відстані 10 см один від одного два плоских електроди. Між електродами створена різниця потенціалів 5 В. З позитивно зарядженого електрода – анода під дією світла вилітають електрони зі швидкістю $10^5 \frac{\text{м}}{\text{с}}$. Яку відстань пройдуть

ці електрони до зупинки? З якою швидкістю електрони досягнуть анода, якщо цим самим світлом опромінювати катод? Поле між електродами вважати однорідним.

11 Довгий циліндр радіусом 1 см рівномірно заряджений з лінійною густиною $10^{-5} \frac{\text{Кл}}{\text{м}}$. α -частинка, яка потрапила в поле циліндра, переміщується вздовж силової лінії від поверхні циліндра до точки, що знаходиться на відстані 4 см від неї. Як при цьому зміниться енергія α -частинки?

12 Електрон з початковою швидкістю $2 \cdot 10^3 \frac{\text{км}}{\text{с}}$ рухається

вздовж силових ліній однорідного поля плоского конденсатора. Яка різниця потенціалів на обкладках конденсатора, якщо електрон зупиняється, пройшовши шлях 1,5 см? Відстань між пластинами 5 см. Скільки часу буде рухатися електрон до зупинки?

13 У зазор між пластинами плоского конденсатора влітає електрон, який пройшов до цього прискорюючу напругу 26 кВ. Швидкість електрона спрямована паралельно пластинам конденсатора. Довжина пластин 8 см; відстань між ними 1 см. На скільки зміститься електрон при виході з зазора між пластинами, якщо різниця потенціалів між ними 200 В?

14 Електрон влетів в плоский конденсатор, маючи швидкість $10^7 \frac{\text{м}}{\text{с}}$, спрямовану паралельно пластинам. В момент вильоту електрона з конденсатора напрямок швидкості електрона утворює кут 30° з початковим напрямком швидкості. Визначити різницю потенціалів між пластинами, якщо довжина пластин 10 см та відстань між ними 2 см.

15 Пучок протонів, частина з яких має швидкість $v_1 = 10^7 \frac{\text{м}}{\text{с}}$, а інша частина – швидкість $v_2 = 10^6 \frac{\text{м}}{\text{с}}$, потрапляє в однорідне електричне поле напруженістю 9 кВ/м. Вектор швидкості перпендикулярний напруженості поля. На флуоресцентному екрані, розташованому на відстані 20 см, утворюються дві плями. Знайти відстань між плямами.

16 Сферична оболонка, заряджена рівномірно, має заряд 20 нКл. В її центрі розташований точковий заряд 10 нКл. Знайти роботу електричних сил цієї системи під час збільшення радіусу оболонки від 2 до 4 см.

17 Плоский повітряний конденсатор з площею пластин 200см^2 та відстанню між пластинами 0,3 см, заряджений до різниці потенціалів 600 В. Яку роботу слід здійснити для

збільшення відстані між пластинами до 0,5 см, не від'єднуючи конденсатор від джерела?

18 Плоский повітряний конденсатор має площу обкладок 400см^2 . Яку роботу слід здійснити для збільшення відстані між його обкладками від 3 до 7 см, підтримуючи заряд конденсатора постійним і рівним 10^{-7}Кл ?

19 На відстані 5 см від нескінченно довгої зарядженої нитки радіусом 1мм знаходиться частинка масою 10^{-9}кг та зарядом 10^{-10}Кл . Електричне поле переміщує її ближче до нитки на 2 см, при цьому здійснюється робота 5 мкДж. Початкова швидкість заряду вважається рівною нулю. Визначити лінійну густину заряду на нитці та швидкість заряду, що підлітає до нитки, наприкінці шляху.

20 Між обкладками плоского конденсатора площею 500см^2 знаходиться металева пластина такої ж площі, паралельна обкладкам. Відстань між обкладками конденсатора 5 см, товщина пластини 1 см. Яку роботу слід здійснити, щоб видалити цю пластину з конденсатора, якщо він під'єднаний до джерела напругою 100 В?

21 Плоский конденсатор має за ізолюючий шар скляну пластину товщиною 2 мм та площею 300см^2 . Конденсатор заряджається до напруги 100 В, після чого від'єднується від джерела напруги. Визначити роботу, яку слід здійснити, щоб видалити скляну пластину з конденсатора.

22 Дві нескінченні паралельні пластини знаходяться на відстані 1 см одна від одної. Пластини несуть рівномірно розподілені по їх поверхнях заряди густинами $\sigma_1 = 0,2 \frac{\text{мкКл}}{\text{м}^2}$ та $\sigma_2 = 0,5 \frac{\text{мкКл}}{\text{м}^2}$. Знайти різницю потенціалів між пластинами.

23 Система складається з двох концентричних сфер, причому на внутрішній сфері радіусом 7 см знаходиться заряд

$2,1 \cdot 10^{-7}$ Кл. Який заряд слід помістити на зовнішню сферу радіусом 10 см, щоб потенціал внутрішньої сфери став рівним нулю?

24 Плоский конденсатор, площа кожної з обкладок якого 400см^2 , заповнений двома шарами діелектрика. Границя між ними паралельна обкладкам. Перший шар – парафін ($\varepsilon = 2$) товщиною 0,2 см; другий шар – скло ($\varepsilon = 7$) товщиною 0,3 см. Конденсатор заряджений до різниці потенціалів 600 В. Знайти енергію конденсатора.

25 Три однакових плоских конденсатори з'єднані послідовно. Ємність такої батареї 80 пФ. Площа кожної з обкладок 100см^2 , діелектрик – скло ($\varepsilon = 6$). Яка товщина скла в кожному з конденсаторів?

26 Визначити ємність плоского конденсатора, між обкладками якого знаходиться скло ($\varepsilon_1 = 7$) товщиною 0,1мм, вкрите з обох боків шарами парафіну ($\varepsilon_2 = 2$) товщиною $0,2 \cdot 10^{-4}$ м. Площа обкладок $0,02\text{м}^2$.

27 Два однакових повітряних конденсатори ємністю 80 пФ кожен заряджені до різниці потенціалів 900 В і відключені від джерела. Один з конденсаторів занурюють в зарядженому стані в гас ($\varepsilon = 2$), після чого конденсатори з'єднують паралельно однойменними обкладками. Визначити роботу розряду, що відбувається при цьому.

28 Тонкий стрижень довжиною 10 см рівномірно заряджений зарядом -3 нКл. Знайти напруженість та потенціал поля в точці, що лежить на осі стрижня на відстані 20 см від середини стрижня.

29 Знайти силу притягання між ядром атома водню та його електроном. Вважати, що електрон знаходиться на орбіті радіусом 53 пм.

30 Два точкових заряди знаходяться у вакуумі на відстані 20 см та взаємодіють з деякою силою. На якій відстані їх слід розмістити в гасі ($\epsilon = 2$), щоб сила взаємодії між ними залишилася сталою?

31 Дві кульки масами 0,2 кг кожна знаходяться на деякій відстані. Сила їх гравітаційної взаємодії в мільйон разів менша сили їх електростатичної взаємодії. Визначити заряди кульок, якщо вони однакові.

32 Знайти напруженість електростатичного поля в точці, яка знаходиться посередині між зарядами 8 нКл та -6 нКл, відстань між якими 60 см.

33 В центр квадрата, в кожній з вершин якого знаходяться заряди 2,33 нКл кожен, вміщують від'ємний заряд q_0 . Знайти величину цього заряду, якщо на кожен заряд діє результуюча сила, рівна нулю.

34 Два заряди 12 та 14 нКл знаходяться на відстані 50 см один від одного. Знайти напруженість електростатичного поля в точці, яка знаходиться на відстані 30 см від першого заряду та 40 см від другого заряду.

35 Дві кульки однакових радіуса та маси підвішені на нитках однакової довжини так, що їх поверхні стикаються. Які заряди слід надати кулькам, щоб сила натягу нитки стала рівною 98 мН? Відстань від центру кульки до точки підвісу 10 см, маса кожної кульки 5 г.

36 Кулька масою 0,4 мг та зарядом 667 пКл підвішена на нитці, прикріпленій до нескінченної рівномірно зарядженої площини. Сила натягу нитки 0,49 мН. Знайти поверхневу густину заряду площини.

37 Знайти напруженість електростатичного поля на відстані 0,2 м від одновалентного іона. Заряд іона вважати точковим.

38 Під час радіоактивного розпаду з ядра атома полонію вилітає α -частинка зі швидкістю $1,6 \cdot 10^7 \frac{\text{м}}{\text{с}}$. Знайти кінетичну

енергію α -частинки та прискорюючу різницю потенціалів поля, в якому можна розігнати α -частинку до такої ж швидкості.

39 Електрон в однорідному електростатичному полі рухається з прискоренням $10^{12} \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$. Знайти напруженість електростатичного поля, швидкість, якої набуде електрон за 1 мкс свого руху, роботу сил електричного поля за цей час та різницю потенціалів, пройдену електроном. Початкову швидкість електрона вважати рівною нулю.

40 Протон та α -частинка, рухаючись з однаковими швидкостями, влітають в плоский конденсатор паралельно обкладкам. В скільки разів відхилення протона полем конденсатора буде більше відхилення α -частинки?

41 Протон влітає в плоский горизонтально розташований конденсатор паралельно його пластинам зі швидкістю $1,2 \cdot 10^5 \frac{\text{м}}{\text{с}}$.

Напруженість поля всередині конденсатора $3 \frac{\text{кВ}}{\text{м}}$, довжина пластин конденсатора 10 см. В скільки разів швидкість протона під час вильоту з конденсатора буде більша його початкової швидкості?

42 Площа пластин плоского повітряного конденсатора 1 м^2 , відстань між ними 1 мм. Конденсатор заряджений до різниці потенціалів 300 В. Знайти ємність конденсатора та поверхневу густину заряду на його пластинах.

43 В яких границях може змінюватися ємність системи двох конденсаторів, якщо ємність одного з них стала та дорівнює 3,33 нФ, а ємність другого може змінюватися від 22,2 нФ до 555,5 пФ?

44 В яких границях може змінюватися ємність батареї з двох конденсаторів, якщо ємність кожного з них змінюється від 10 до 450 пФ?

45 Заряджена куля радіусом 2 см приводиться у стикання з незарядженою кулею радіусом 3 см. Після того, як кулі роз'єднали, енергія другої кулі стала рівною 0,4 Дж. Який заряд був на першій кулі до їх стикання?

46 Площа кожної з обкладок повітряного конденсатора $0,01\text{м}^2$, відстань між ними 5 мм. Яка різниця потенціалів була прикладена до обкладок конденсатора, якщо відомо, що під час його розрядження виділилася кількість теплоти 4,19 мДж?

47 Знайти опір залізного стрижня діаметром 1 см, якщо маса стрижня 1 кг.

48 Мідна та алюмінієва дротини мають однакову довжину та однаковий опір. В скільки разів мідна дротина важче алюмінієвої?

49 Котушка мідного дроту має опір 10,8 Ом та масу 3,41 кг. Якої довжини та якого діаметра дріт замотаний на котушці?

50 Елемент з ЕРС 2 В має внутрішній опір 0,5 Ом. Знайти падіння напруги всередині джерела при струмі 0,25 А. Яким буде зовнішній опір кола за цих умов?

51 Елемент з ЕРС 1,6 В має внутрішній опір 0,5 Ом. Знайти ККД елемента при струмі в колі 2,4 А.

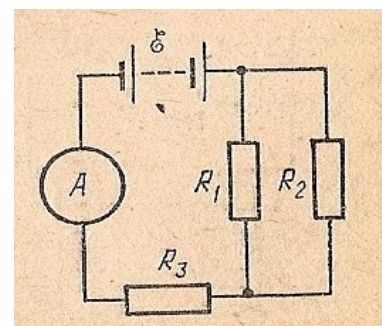
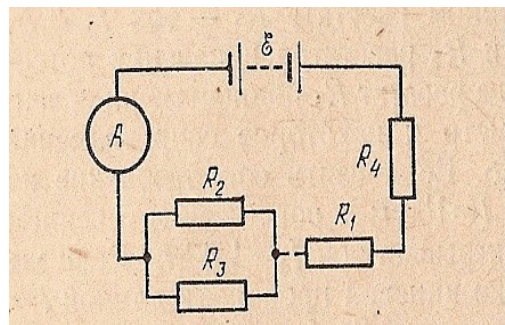
52 ЕРС елемента 6 В. При зовнішньому опорі 1,1 Ом струм в колі 3 А. Знайти падіння напруги всередині елемента та його опір.

53 Маємо два однакових елементи з ЕРС 2 В та внутрішнім опором 0,3 Ом. Як слід з'єднати ці елементи, щоб отримати максимальний струм при зовнішньому опорі 0,2 Ом? Знайти величину цього струму.

54 ЕРС батареї 120 В, опори $R_3 = 20$ Ом, $R_4 = 25$ Ом, падіння потенціалу на першому опорі $U_1 = 40$ В. Амперметр показує стум 2 А. Знайти опір R_2 .

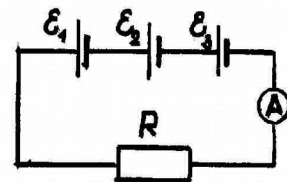
55 Амперметр з опором 0,16 Ом зашунтований опором 0,04 Ом. Амперметр показує струм 8 А. Знайти струм в колі.

56 В коло послідовно ввімкнені сталевий та мідний дріт однакових довжини та діаметра. Знайти відношення кількостей теплоти, що виділяються в цих дротах за 1 с.

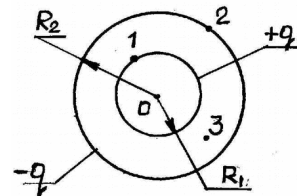


57 ЕРС батареї 100 В, її внутрішній опір 2 Ом, опори $R_1 = 25$ Ом та $R_2 = 78$ Ом. На опорі R_1 виділяється потужність $P_1 = 16$ Вт. Який струм показує амперметр?

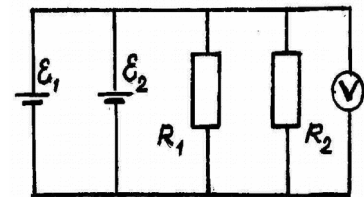
58 $\varepsilon_1 = \varepsilon_2 = \varepsilon_3 = 6$ В; $R = 7$ Ом, $I = 1,8$ А.
Розрахувати максимальну корисну потужність, яку можна отримати від батареї з трьох однакових елементів живлення.



59 Розрахувати потенціал поля в центрі сфери, якщо $q = 10$ нКл, $R_1 = 10$ см, $R_2 = 40$ см.



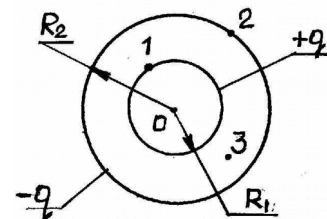
60 Розрахувати потужність, яка виділяється у зовнішньому колі, якщо $\varepsilon_1 = \varepsilon_2 = 12$ В; $r_1 = r_2 = 4$ Ом; $R_1 = 3$ Ом; $R_2 = 6$ Ом.



61 З яким прискоренням буде падати вниз частинка масою 0,1 г та зарядом 0,1 нКл, яка знаходиться між нескінченними різнойменно зарядженими паралельними площинами з поверхневою густиною заряду $8,85 \frac{\text{мк Кл}}{\text{м}^2}$ та в полі сили тяжіння?

62 Яка кількість теплоти виділиться за одиницю часу в колі, якщо п'ять елементів з ЕРС 6 В та внутрішнім опором 1 Ом кожен з'єднати паралельно та замкнути накоротко?

63 Поле створюється двома концентричними зарядженими сферами. Розрахувати потенціал поля в точках 1, 2 і 3, якщо $q = 1$ нКл, $R_1 = 10$ см, $R_2 = 40$ см.



64 Амперметр, призначений для вимірювання струму силою до 1 А, має власний опір 1 мОм. Яким повинний бути опір шунта, щоб цим амперметром можна було виміряти струм до 10 А?

65 Два електрони, які знаходяться на нескінченно великій відстані один від одного, починають рухатися назустріч один одному з однаковими швидкостями $1 \frac{\text{км}}{\text{с}}$. На яку найменшу відстань наблизяться електрони?

66 ЕРС джерела 20 В, зовнішній опір 5 Ом, сила струму в колі 2 А. Розрахувати найбільшу для даного джерела корисну потужність.

67 Знайти відношення напруженостей $\frac{E_1}{E_2}$ в точках 1 і 2, якщо поле створюється трьома паралельними нескінченними рівномірно зарядженими площинами (див. рисунок 1).

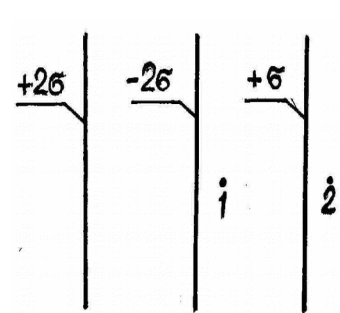


Рисунок 1

68 Повітряний конденсатор ємністю 1 мкФ витримує напругу не більше 6 кВ, а конденсатор ємністю 2 мкФ – не більше 4 кВ. Яку напругу може витримати батарея конденсаторів при їх послідовному з'єднанні?

69 Маленьку заряджену кульку занурили в гас. На якій відстані від кульки напруженість поля буде такою ж, яка була до занурення на відстані 30 см? Діелектрична проникність гасу дорівнює 2.

70 Запишіть рівняння, якому повинна задовольняти координата x точки, в якій напруженість поля, що створюється двома однойменними однаковими за величиною зарядами, дорівнює нулю.

71 У вершинах квадрату зі стороною 10 см розташовані однакові заряди 10 нКл кожен. Знайти напруженість поля в центрі квадрату. Розглянути такі комбінації зарядів: а) ++++; б) +-+-; в) ++--.

72 Крапля масою 10^{-13} кг , на якій знаходиться заряд, рівний 10 зарядам електрона, піднімається вертикально вгору з

прискоренням $2,2 \frac{M}{c^2}$ між пластинами горизонтально розташованого плоского конденсатора. Визначити поверхневу густину заряду на пластинах конденсатора.

73 Поле створюється двома концентричними сферами, на яких розміщені однакові за величиною та знаком заряди. Побудувати графік $E(r)$.

74 Електричне поле створюється зарядом $+q$, розподіленим по поверхні сфери радіуса R , та точковим зарядом $-q$, вміщеним в центр сфери. Побудувати графік $E(r)$.

75 Кулька радіусом 4 см заряджена до потенціалу -200 В. Знайти масу електронів, що зумовили заряд кульки.

76 Два протони перебувають на відстані $1,5 \cdot 10^{-15}$ м один від одного. Знайти: а) силу взаємодії протонів; б) роботу, яку слід виконати для того, щоб зблизити протони з нескінченності до даної відстані.

77 Металева кулька радіусом 2 см заряджена до потенціалу 10 В. Знайти роботу, яку необхідно виконати, щоб помістити в точку, яка знаходиться на відстані 3 см від центра кулі, точковий заряд 20 нКл.

78 Два паралельно з'єднаних елемента з рівними ЕРС 2 В та внутрішніми опорами $r_1 = 1 \text{ Ом}$, $r_2 = 1,5 \text{ Ом}$ замкнуті на зовнішній опір 1,4 Ом. Знайти силу струму в колі.

79 Яка ЕРС елемента, якщо під час вимірювання напруги на його затискачах вольтметр, внутрішній опір якого 20 Ом, напругу показує 1,37 В, а при замиканні елемента на опір 10 Ом в колі тече струм 0,137 А?

80 Батарея з ЕРС 21В та внутрішнім опором 0,5 Ом підключена до зовнішнього кола, що складається з трьох паралельно з'єднаних провідників опорами 2, 6 та 12 Ом. Знайти силу струму у другому провіднику.

81 Під час короткого замикання джерела з ЕРС 1,8 В сила струму в колі дорівнює 6 А. При якому опорі навантаження сила струму в колі буде 2 А?

82 Три однакових гальванічних елемента з'єднані в батарею паралельно. Якою буде сила струму короткого замикання цієї батареї, якщо при послідовному з'єднанні цих елементів сила струму короткого замикання дорівнює 10 А? ЕРС кожного елемента 6 В.

83 Батарея складається з п'яти послідовно з'єднаних елементів з ЕРС 1,4 В та опором 0,3 Ом кожен. При якому струмі корисна потужність батареї дорівнює 8 Вт? Яка максимальна корисна потужність батареї? Опір навантаження 10 Ом.

84 Якої довжини слід узяти ніхромовий провідник діаметром 0.5 мм, щоб виготовити електричний камін, що працює під напругою 120 В та віддає 1 МДж теплоти за годину?

85 Якою повинна бути різниця потенціалів електричного поля в точках 1 і 2, щоб електрон, який має в точці 1 швидкість

$$6 \frac{\text{Мм}}{\text{с}}, \text{ в точці 2 зупинився?}$$

86 Три однакові елементи, які мають ЕРС по 6 В, з'єднані паралельно та замкнуті на зовнішній опір 7 Ом. В колі тече струм 1,8 А. Яку максимальну корисну потужність можна отримати?

87 Розрахувати потужність, яка виділяється у зовнішній ділянці кола, якщо $\varepsilon_1 = \varepsilon_2 = 12\text{В}$, $r_1 = r_2 = 4\text{Ом}$,

$$R_1 = 3 \text{ Ом}, R_2 = 6 \text{ Ом (див. рисунок 2)}.$$

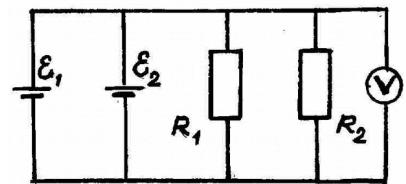


Рисунок 2

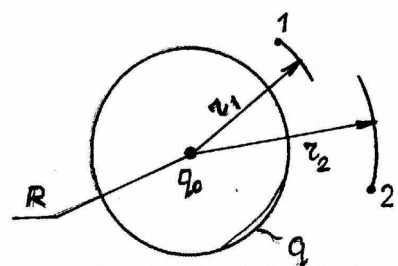
88 На яку мінімальну відстань електрон з енергією 10eВ може наблизитися до нерухомого від'ємного іона, заряд якого дорівнює елементарному?

89 При під'єднанні до джерела з ЕРС 10 В резистора опором 5 Ом ККД джерела дорівнює 80 %. Яку максимальну потужність може віддати джерело у зовнішнє коло?

90 Електрон рухається в радіальному напрямку в полі, що створюється сферою з зарядом 10 пКл та радіусом 10 см. Якою буде швидкість електрона на відстані 20 см від поверхні сфери,

$$\text{якщо на відстані 1м вона була рівною } 10^5 \frac{\text{м}}{\text{с}}?$$

91 Поле створюється зарядами $q_0 = 20 \text{ нКл}$ та $q = -10 \text{ нКл}$, розподіленим по сферичній поверхні. Знайти різницю



потенціалів між точками 1 і 2, якщо $R=10$ см, $r_1 = 40$ см, $r_2 = 50$ см (див. рисунок 3).

Рисунок 3

92 Електрон, який має енергію 10 еВ, влітає в однорідне електричне поле в напрямку його силових ліній. Яку швидкість буде мати електрон, якщо пройде в цьому полі різницю потенціалів 8 В?

93 Плавильна піч потужністю 120 кВт під'єднана до джерела. З яким ККД працює джерело, якщо його опір 1 Ом, а сила струму в колі 50 А?

94 Відстань між точковими зарядами 10 нКл та -1нКл дорівнює 1,1 м. Знайти напруженість поля в точці на прямій, що з'єднує заряди, в якій потенціал дорівнює нулю.

95 Якої максимальної швидкості набуде електрон, що стартує з від'ємно зарядженої площини зі стану спокою в напрямку позитивно зарядженої площини, паралельної першій.

Поверхнева густина заряду на обох пластинах $15 \frac{\text{нКл}}{\text{м}^2}$. Відстань між ними 10 мм.

96 Розрахувати максимальну корисну потужність, яка може бути отримана від батареї з трьох паралельно з'єднаних елементів з ЕРС 6 В, якщо їх замкнути на зовнішній опір 5 Ом при силі струму в колі 1 А.

97 Під дією поля нескінченної зарядженої площини точковий заряд 0,74 нКл перемістився вздовж силової лінії на відстань 3,2 см. При цьому здійснюється робота 6,1 мкДж. Знайти поверхневу густина заряду на площині.

98 На якому з конденсаторів (див. рисунок 4) знаходиться найбільший заряд. Обґрунтувати свою відповідь.

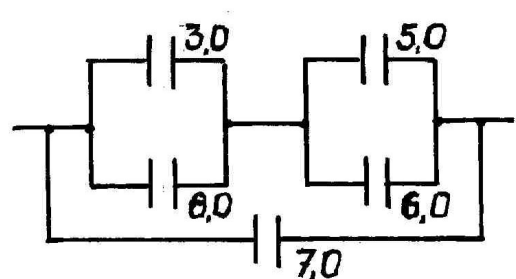


Рисунок 4

99 Визначити ЕРС джерела, якщо при під'єднанні до нього резистора опором 4 Ом напруга на затискачах джерела падає до 8 В. Струм короткого замикання 12 А.

100 З якою силою на одиницю площі відштовхуються дві однойменно заряджені нескінченні площини? Поверхнева густина заряду на площинах $0,3 \frac{\text{мКл}}{\text{м}^2}$.

Контрольна робота 4

1 Знайти напруженість магнітного поля в точці, яка лежить на осі кругового струму на відстані 4 см від його площини. Радіус витка 6 см, сила струму в ньому 0,5 А.

2 Електрон, який рухається зі швидкістю $2 \frac{\text{км}}{\text{с}}$, влітає в однорідне магнітне поле індукцією 400 мТл під кутом 30° до силових ліній. Визначити радіус витка та відстань між сусідніми витками гвинтової лінії, вздовж якої буде рухатися електрон.

3 Визначити прискорення електрона, який рухається в однорідному магнітному полі з індукцією 500 мТл зі швидкістю $400 \frac{\text{м}}{\text{с}}$ перпендикулярно до його силових ліній.

4 Електрон, який пройшов прискорюючу різницю потенціалів 200 В, влітає в однорідне магнітне поле з індукцією 300 мТл перпендикулярно напрямку силових ліній. Визначити радіус кривини траєкторії електрона.

5 Електрон та протон, які пройшли однакову прискорюючу різницю потенціалів, рухаються в магнітному полі так, що їх початкова швидкість перпендикулярна силовим лініям поля. Знайти відношення радіусів кривини траєкторій протона та електрона.

6 Протон, який має швидкість $0,5 \frac{\text{км}}{\text{с}}$, рухається паралельно прямолінійному нескінченному провіднику зі струмом 10 А на відстані 5 мм від нього. Знайти силу, яка діє на протон.

7 Електрон рухається по колу в однорідному магнітному полі з індукцією 200 мТл. Визначити величину еквівалентного кругового струму, що створюється електронем.

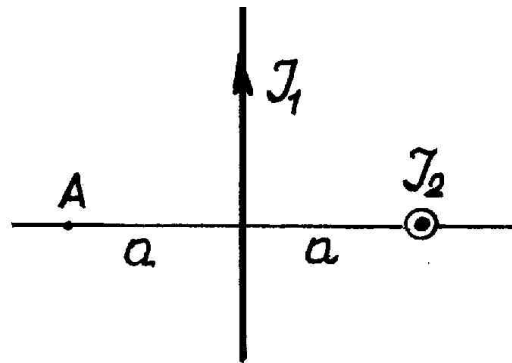
8 Знайти напруженість магнітного поля в точці, розташованій на відстані 10 см від прямолінійного нескінченно довгого провідника зі струмом 5 А.

9 Магнітне поле в точці А створюється двома взаємно перпендикулярними прямими провідниками зі струмом (див. рисунок 5). Розрахувати результуючий вектор магнітної індукції в точці А, якщо $I_1 = I_2 = 10\text{ А}$, $a = 1\text{ м}$.

Рисунок 5

10 По двох паралельних прямолінійних провідниках довжиною 5 м кожен течуть однакові струми 10 А. Визначити силу взаємодії провідників, якщо відстань між ними 2 см.

11 Соленоїд містить 500 витків тонкого дроту, в якому тече струм 500 мА. Визначити магнітний потік через його поперечний переріз та потокозчеплення, якщо індуктивність соленоїда 0,1 Гн.



12 Рамка площею 20 см^2 обертається в однорідному магнітному полі напруженістю $200\frac{\text{кА}}{\text{м}}$, здійснюючи чотири оберти на секунду. Вісь обертання лежить в площині рамки та перпендикулярна напрямку вектора магнітної індукції поля. Знайти найбільше значення ЕРС індукції, яка виникає в рамці.

13 По двох довгих паралельних провідниках течуть в протилежних напрямках струми 10 та 40 А. Знайти напруженість магнітного поля в точці, віддаленій від першого провідника на 9 см, а від другого на 16 см. Відстань між провідниками 20 см.

14 Провідний контур опором 10 Ом, який містить 20 витків дроту, пронизує магнітний потік, який змінюється з часом за

законом $\Phi(t) = 100 + 50t$, Вб. Визначити силу індукційного струму в контурі.

15 В магнітному полі з індукцією 200 мТл рівномірно обертається стрижень довжиною 1 м. Вісь обертання проходить крізь один з кінців стрижня перпендикулярно до нього та паралельно вектору магнітної індукції поля. З якою кутовою швидкістю треба обертати стрижень, щоб на його кінцях індукувалася різниця потенціалів 0,4 В?

16 Два прямолінійних паралельних довгих провідники, в яких течуть струми 10 та 20 А, знаходяться на відстані 5 см один від одного. Яку роботу на одиницю довжини провідників слід здійснити, щоб збільшити відстань між ними до 15 см?

17 Круговий виток радіусом 5 см, в якому тече струм 0,1 А, знаходиться в магнітному полі напруженістю $100 \frac{\text{А}}{\text{м}}$. Вектор магнітної індукції утворює кут 60° з площиною контура. Який обертальний момент діє на контур?

18 У трьох довгих провідниках, які лежать в одній площині на відстані 5 см один від одного, течуть струми $I_1 = I_2$ та $I_3 = -(I_1 + I_2)$. Визначити положення прямої, в точках якої напруженість поля, що створюється струмами, дорівнює нулю.

19 Тонкий провідник зігнутий у вигляді шестикутника зі стороною 10 см. Знайти напруженість поля в центрі шестикутника, якщо в провіднику тече струм 0,5 А.

20 Круговий виток радіусом 4 см зі струмом 6 А вільно встановився у магнітному полі індукцією 400 мТл. Яку роботу слід здійснити для того, щоб повернути виток на кут 60° навколо осі, що збігається з його діаметром?

21 Відстань між двома паралельними струмами одного напрямку 10 см. На якій відстані від першого провідника розташована точка, в якій напруженість магнітного поля дорівнює нулю? Струм в першому провіднику 20 А, в другому провіднику 30 А.

22 Визначити силу струму в колі через 1 мс після її розмикання. Опір кола 20 Ом, індуктивність 0,2 Гн. Сила струму до розмикання 20 А.

23 Напруженість магнітного поля в центрі кругового витка $500 \frac{\text{А}}{\text{м}}$. Магнітний момент витка $6 \text{ А} \cdot \text{м}^2$. Визначити силу струму у витку та його радіус.

24 Протон влетів у магнітне поле перпендикулярно його силовим лініям та описав дугу радіусом 12 мм. Визначити швидкість протона, якщо напруженість поля $1 \frac{\text{кА}}{\text{м}}$.

25 Магнітний потік крізь поперечний переріз соленоїда дорівнює 50 мкВб. Довжина соленоїда 50 см. Знайти магнітний момент соленоїда, якщо його витки тісно прилягають один до одного.

26 В замкнутому колі опором 20 Ом тече струм. Протягом часу 8 мс після розмикання кола сила струму в ньому зменшилася в 20 разів. Визначити індуктивність кола.

27 В однорідному магнітному полі, індукція якого 2 Тл та спрямована під кутом 30° до вертикалі, вертикально вгору рухається провідник масою 2 кг, в якому тече струм 4 А. Через 3 с після початку руху провідник має швидкість $10 \frac{\text{м}}{\text{с}}$. Визначити довжину провідника.

28 У скільки разів зміниться сила струму в колі через 2 мс після того, як ЕРС вимкнено та котушка замкнута накоротко? Індуктивність котушки 200 мГн, опір кола 2,5 Ом.

29 Квадратний контур зі стороною 10 см, в якому тече струм силою 5 А, знаходиться в магнітному полі з індукцією 400 мТл. Яку роботу слід здійснити при незмінній силі струму в контурі, щоб змінити його форму на коло?

30 Перпендикулярно магнітному полю з індукцією 0,1 Тл збуджене електричне поле напруженістю $100 \frac{\text{кВ}}{\text{м}}$. Перпендикулярно до обох полів, не відхиляючись від

прямолинійної траєкторії, рухається заряджена частинка. Визначити швидкість частинки.

31 На картонний каркас довжиною 50 см та площею поперечного перерізу 4 см^2 намотаний один шар дроту діаметром 0,2 мм так, що витки тісно прилягають один до одного (товщиною ізоляції знехтувати). Знайти індуктивність отриманого соленоїда.

32 В магнітне поле з індукцією 0,1 Тл вміщено котушку з площею поперечного перерізу 10 см^2 , що містить 200 витків проводу опором 20 Ом. Яка кількість електрики протече в котушці від час вимкнення поля? Вісь котушки паралельна напрямку силових ліній магнітного поля.

33 Обмотка довгого соленоїда містить 200 витків на кожен сантиметр його довжини. При якій силі струму в обмотці густина енергії магнітного поля дорівнює $1 \frac{\text{Дж}}{\text{м}^3}$?

34 З дротини довжиною 1 м виготовлено квадратну рамку, в якій тече струм 0,5 А. Знайти напруженість магнітного поля в центрі рамки.

35 Соленоїд довжиною 50 см, який має 1000 витків, містить залізне осердя з проникністю $\mu = 200$. В обмотці тече струм 2 А. Який струм слід пропустити крізь обмотку, щоб після видалення осердя індукція магнітного поля в соленоїді залишилася сталою?

36 α -частинка, кінетична енергія якої 500 еВ, влітає в однорідне магнітне поле, вектор індукції якого перпендикулярний до напрямку його руху. Індукція магнітного поля 100 мТл. Знайти силу, що діє на α -частинку, радіус кола та період її обертання.

37 α -частинка, момент імпульсу якої $1,33 \cdot 10^{-22} \frac{\text{кг} \cdot \text{м}^2}{\text{с}}$, рухається в однорідному магнітному полі, перпендикулярному

напрямку її руху. Індукція магнітного поля 25 мТл. Знайти кінетичну енергію α -частинки.

38 Електрон, прискорений різницею потенціалів 300 В, влітає в однорідне магнітне поле з індукцією 20 мТл під кутом 30° до силових ліній. Знайти радіус та крок гвинтової лінії, а якою рухається електрон.

39 Круговий дротяний виток радіусом 4 см знаходиться в однорідному магнітному полі, індукція якого 2 Тл. Площина витка перпендикулярна до напрямку магнітного поля. Знайти середнє значення ЕРС індукції, що виникає у витку під час вимкнення поля протягом 10мс.

40 Котушка має індуктивність 0,144Гн та опір 10 Ом. Через який час після від'єднання від джерела струму в котушці потече струм, рівний половині усталеного?

41 Обмотка соленоїда складається з мідної дротини, поперечний переріз якої 1 мм^2 . Довжина соленоїда 25 см, його опір 0,2 Ом. Знайти індуктивність соленоїда.

42 Знайти кінетичну енергію протона, що рухається в магнітному полі з індукцією 100 мТл по колу радіусом 6см.

43 Заряджена частинка рухається в однорідному магнітному полі по колу зі швидкістю $1 \frac{\text{Мм}}{\text{с}}$. Індукція магнітного поля 300 мТл, радіус кола 4 см. Визначити заряд частинки, якщо її кінетична енергія 12 кеВ.

44 Дротяне кільце радіусом 10см лежить на столі. Який електричний заряд проходить крізь кільце, якщо його перевернути з одного боку на інший? Опір кільця 1 Ом. Вертикальна складова магнітного поля Землі 50 мкТл.

45 По двох довгих паралельних провідниках в одному напрямку течуть однакові струми 10 А. Відстань між провідниками 5 см. Визначити індукцію та напруженість магнітного поля в точці, віддаленій від кожного з провідників на 5 см.

46 По провіднику, зігнутому у вигляді квадрата зі стороною 10 см, тече струм 20 А, сила якого підтримується незмінною.

Площина квадрату утворює кут 20° з лініями індукції однорідного магнітного поля ($B=0,1$ Тл). Обчислити роботу, яку слід виконати, щоб видалити провідник за межі поля.

47 На соленоїд довжиною 25 см та площею поперечного перерізу 20см^2 надіто дротяний виток. Соленоїд має 400 витків. Сила струму в соленоїді 4 А. Знайти середнє значення ЕРС індукції у витку при вимкненні струму в соленоїді протягом часу 0,001 с.

48 Розрахувати максимальне значення ЕРС індукції в котушці площею поперечного перерізу 5см^2 , що має 50 витків, яка рівномірно обертається у магнітному полі з індукцією 0,8 Тл навколо свого діаметра, виконуючи 120 обертів за хвилину.

49 У двох тонких провідниках, зігнутих у вигляді кілець радіусом 10 см, течуть однакові струми силою 10 А в кожному. Знайти силу взаємодії цих кілець, якщо площини, в яких лежать кільця, паралельні, а відстань між центрами кілець дорівнює 1 мм.

50 Іон, який несе один елементарний заряд, рухається в однорідному магнітному полі з індукцією 15 мТл по колу радіусом 10 см. Визначити імпульс іона.

