Міністерство транспорту та зв’язку України

Державний департамент з питань зв’язку та інформатизації

ОДЕСЬКА НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ ЗВ’ЯЗКУ ім. О. С. ПОПОВА

Кафедра фізики оптичного зв’язку

Видавничий центр
ім. О.С. Попова
м. Одеса,
вул. Старопортофранківська, 61

ФІЗИКА

МОДУЛЬ 1

ЧАСТИНА 2

ЕЛЕКТРИКА

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ ТА КОМПЛЕКСНЕ ЗАВДАННЯ

для студентів всіх спеціальностей

за напрямом “Телекомунікації”

Одеса 2006

УДК 530.10

План НМВ 2006 р.

Методичні вказівки розробили укладачі:

доц. **В. Е. Горбачов**, проф. **В. І. Ірха,** викл. **О. А. Назаренко**

Методичні вказівки розглянуто на засіданні кафедри фізики оптичного зв'язку й рекомендовано до друку.

Протокол № 5 від 01.12.2005 р.

Зав кафедрою І. М. Вікулін

Методичні вказівки розглянуто й ухвалено вченою радою науково навчального інституту поштового зв'язку

Протокол № 1 від 15 вересня 2006 р.

Директор ННІ С. С. Криль

Структура модуля 1 “ЕЛЕКТРИКА”

Змістовий модуль	Лекції (год.)	Заняття		Самостій-на робота	Інди-ві-дуа-льна робо-та
		прак-тичні	лабо-ратор-ні		
Модуль 1 : ЕЛЕКТРИКА (52 години)					
Механіка	4	0	2	8	0
Електрика	12	8	6	20	6
Разом : **Модуль 1, год.**	16	8	8	28	6

ЗМІСТ МОДУЛІВ (ЛЕКЦІЙНИХ ГОДИН):

Механіка

1.1 Вектори швидкості та прискорення. Кінематика поступального руху. Кінематика обертального руху. Рух точки колом (2 год.).

1.2 Закони динаміки. Рівняння руху. Робота сили. Закони змінювання та збереження енергії (2 год.).

Електрика

1.3 Електричні заряди та їхня взаємодія. Електричне поле точкового заряду. Електричне поле системи зарядів (2 год.).

1.4 Теорема Остроградського-Гаусса та її використання для обчислення характеристик електричного поля (2 год.).

1.5 Різниця потенціалів та її визначення. Зв’язок по між потенціалом та напруженістю поля. Провідники в електричному полі (2 год.).

1.6 Електроємність. З’єднання конденсаторів. Діелектрики в електричному полі (2 год.).

1.7 Постійний електричний струм. Закони Ома та Джоуля – Ленца. З’єднання опорів (2 год.).

1.8 Електрорушійна сила. Правила Кірхгофа (2 год.).

Теми практичних занять модуля 1 “ЕЛЕКТРИКА”

№ п/п	Тема	Години
1	Напруженість електричного поля. Принцип суперпозиції полів. Електростатична сила	2
2	Потенціал. Різниця потенціалів. Робота по переміщенню зарядів в електричному полі	0
3	Електроємність віддалених тіл та системи тіл. Енергія електричного поля	2
4	Закони постійного струму	2
5	Розгалужені кола. Правила Кірхгофа	2

КРІТЕРІЇ ОЦІНКІ ЗНАНЬ

При оцінці практичної частини по 4 задачам комплексного завдання студент одержує:

- за правильне рішення й оформлення задачі і вірне пояснення ходу рішення – **25** балів;
- за правильне рішення й оформлення задачі і неточностями в поясненнях – **20** балів;
- за правильне рішення й оформлення задачі і помилками в поясненнях ходу рішення – **15** балів;
- за правильне рішення з недоліками оформлення (немає пояснень величин, схеми, одиниць виміру, і т.д.) задачі і вірне пояснення ходу рішення – **13** балів;
- за правильне рішення з недоліками оформлення (немає пояснень величин, схеми, одиниць виміру, і т.д.) задачі і неточностями в поясненнях ходу рішення – **10** балів;
- за правильний хід рішення й оформлення задачі, але з невірним чисельним рішенням і вірне пояснення ходу рішення – **8** балів;

Оцінка виставляється виходячи з наступних критеріїв:

«**Відмінно**» – понад **95** балів,

«**Добре**» – від **80** до **95** балів,

«**Задовільно**» – від **60** до **80** балів,

«**Незадовільно**» – менше **60** балів.

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
ЩОДО ВИКОНАННЯ КОМПЛЕКСНОГО ЗАВДАННЯ

1 Для виконання комплексного завдання № 1 студенти повинні вивчити розділи "Механіка" та "Електрика" курсу фізики.

2 Студент повинен розв'язати п'ять задач: 1.1; 1.2; 1.3; 1.4; 1.5. Номер варіанта визначається порядковим номером студента в журналі групи. Номери умов, які студент повинен включити до комплексного завдання, слід брати в таблицях вхідних даних.

3 Звіт з індивідуального завдання виконується в окремому зошиті. Записи провадяться на правому боці розвороту зошита. На лівому боці записують зауваги викладача та зроблені студентом виправляння.

4 На обкладинці зошита слід зазначити назву роботи, номер варіанта, прізвище та ініціали студента, шифр групи.

5 Задачі слід розташовувати у порядку, зазначеному викладачем. Умову треба переписувати повністю. Зробити ***короткий запис умови***. Привести значення заданих величин до ***системи одиниць СІ***. Навести пояснювальну ***схему*** чи ***рисунок.***

6 При розв'язуванні задач треба передусім встановити основні фізичні явища й подати формули, котрі відбивають ці явища. Всі позначення у формулах слід ***пояснити***.

7 З наведених формул слід скласти систему рівнянь та віднайти розв'язок задачі чи її частини в ***літерному вигляді***, де шукана величина має бути подана через задані величини в літерних (символьних) позначеннях.

8 Слід ***перевірити одиниці виміру*** здобутих величин на відповідність їх до сподіваних. Для цього підставити до формули літерного розв'язку замість символу кожної величини її одиницю виміру і здійснити необхідні перетворення. Лише після збігу одиниць виміру зі сподіваними слід підставити до формули літерного розв'язку ***числові значення*** величин і зробити обчислення. Обчислення провадити з трьома значущими цифрами.

9 Наприкінці роботи слід зазначити використану літературу.

ОСНОВНІ ПОНЯТТЯ ТА ФОРМУЛИ

Механіка

Якщо заряд q пройшов прискорювальну різницю потенціалів U, то для знаходження його кінцевої швидкості υ використовують закон употужнення енергії

$$T_2 - T_1 = A,$$

де робота сил електричного поля

$$A = qU,$$

а T_2 , T_1 – значення кінетичної енергії заряду в початковій и кінцевій точках шляху. Якщо заряд рухався зі стану спокою, то

$$T_1 = 0, \quad \text{а} \quad T_2 = \frac{m\upsilon^2}{2},$$

де m – маса заряду; υ – його кінцева швидкість.

На заряд, що рухається зі швидкістю υ перпендикулярно напрямку електричного поля в конденсаторі з напругою U, діє сила, що відхиляє заряд

$$F = q = q / d,$$

де d – відстань поміж пластинами конденсатора.

Ця сила спричинює прискорення, спрямоване уздовж електричного поля

$$a = F / m.$$

Кут відхилення заряду від початкового напрямку α визначається з трикутника швидкостей за його вильоту з конденсатора:

$$tg\alpha = \frac{\upsilon_{tY}}{\upsilon_{tX}}.$$

Для визначення цих швидкостей слід підставити значення прискорення руху заряду в проекції кінематичних рівнянь поступального руху на осі координат:

$$S_{tX} = \upsilon_{0X} t + \frac{a_X \cdot t^2}{2}; \qquad \upsilon_{tX} = \upsilon_{0X} + a_X t;$$

$$S_{tY} = \upsilon_{0Y} t + \frac{a_Y \cdot t^2}{2}; \qquad \upsilon_{tY} = \upsilon_{0Y} + a_Y t.$$

Ці рівняння значно спрощуються за вибору осі X уздовж початкового напрямку швидкості υ, а осі Y – уздовж прискорення a:

$$St = \ell; \quad St = h; \qquad \upsilon_{0X} = \upsilon; \quad \upsilon_{0Y} = 0; \qquad a = 0; \; a = a,$$

де ℓ – довжина пластин конденсатора, h – відхилення заряду від початкового напрямку.

За рівноваги зарядженої часткинки масою m в електричному полі сила ваги mg компенсується електростатичною силою $F = q\,E$.

Електрика

Напруженість та потенціал електростатичного поля є

$$\vec{E} = \vec{F} / q_0; \qquad \varphi = W_n / q_0,$$

де $\vec{F}$ – сила, котра діє на додатний точковий заряд q_0, який поміщено в дану точку поля; $W_п$ – потенційна енергія заряду q_0.

Напруженість та потенціал поля точкового заряду q на відстані r від заряду

$$E = \frac{q}{4\pi\varepsilon_0\varepsilon \cdot r^2}; \qquad \varphi = \frac{q}{4\pi\varepsilon_0\varepsilon \cdot r},$$

де $\varepsilon_0 = 8{,}85 \cdot 10^{-12}$ Ф/м – електрична стала; ε – діелектрична проникність середовища.

Напруженість поля рівномірно зарядженої зарядом Q сфери радіусом R на відстані r від центра сфери:

а) $E = 0$ за $r < R$; б) $E = \dfrac{Q}{4\pi\varepsilon_0\varepsilon \cdot r^2}$ за $r \ge R$.

Лінійна та поверхнева густина заряду

$$\tau = \frac{dQ}{dl}; \qquad \sigma = \frac{dQ}{dS}.$$

Напруженість поля нескінченного рівномірно зарядженого циліндра радіусом R на відстані r від осі циліндра:

а) $E = 0$ за $r < R$;

б) $E = \dfrac{\tau}{2\pi\varepsilon_0 \varepsilon r}$ за $r \geq R$.

Напруженість поля нескінченної рівномірно зарядженої площини:

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

Зв'язок поміж напруженістю та потенціалом електростатичного поля:

$$\vec{E} = -\frac{d\varphi}{d\vec{r}}.$$

Для однорідного поля:

$$E = \frac{\varphi_1 - \varphi_2}{r_{1,2}},$$

де $r_{1,2}$ – відстань між еквіпотенційними поверхнями з потенціалами φ_1 та φ_2.

Робота сил поля щодо переміщення заряду q_0 з точки поля з потенціалом φ_1 до точки з потенціалом φ_2

$$A_{12} = q_0(\varphi_1 - \varphi_2).$$

Електроємність конденсатора

$$C = \frac{Q}{U},$$

де Q – заряд конденсатора, U – різниця потенціалів пластин конденсатора.

Електроємність плоского конденсатора:

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

де S – площа кожної пластини конденсатора; d – відстань поміж пластинами.

Електроємність циліндричного конденсатора:

$$C = \frac{2\pi\varepsilon_0\varepsilon \cdot L}{\ln(R_2 / R_1)},$$

де L – довжина обкладинок конденсатора; R_1 та R_2 – радіуси коаксіальних циліндрів.

Електроємність сферичного конденсатора:

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

де R_1 та R_2 – радіуси концентричних сфер.

Енергія зарядженого конденсатора:

$$W = \frac{QU}{2} = \frac{CU^2}{2} = \frac{Q^2}{2C},$$

де Q – заряд конденсатора; C – його електроємність; U – різниця потенціалів обкладинок конденсатора.

Закон Ома:

а) для однорідної ділянки кола

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

де I – сила струму, який протікає ділянкою кола; U – напруга на ділянці; R – опір ділянки;

б) для неоднорідної ділянки кола

$$I = \frac{\varepsilon - \Delta\varphi_{2,1}}{R + r},$$

де $\Delta\varphi_{2,1} = U = \varphi_2 - \varphi_1$ – різниця потенціалів на кінцях ділянки; ε – ЕРС джерела, яке входить до ділянки; r – внутрішній опір джерела;

в) для замкненого кола

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

де R – зовнішній опір кола, r – внутрішній опір джерела.

Правила Кірхгофа

$$\sum I_i = 0; \qquad \sum I_i R_i + \sum I_i r_i = \sum \varepsilon_i,$$

де $\sum I_i$ – алгебрична сума струмів, які сходяться у вузлі, котрі позитивні, коли струм входить до вузла;

$\sum I_i R_i$ – алгебрична сума спаду напруги на зовнішніх опорах замкнутого контура, а $\sum I_i r_i$ – алгебрична сума спаду напруги на внутрішніх опорах джерел замкнутого контура, які є позитивні, коли напрямок сили струму збігається з обраним заздалегідь напрямком обходу контура;

$\sum \varepsilon_i$ – алгебрична сума ЕРС джерел, які входять до цього контура, які є позитивні, коли напрямок роботи сторонніх сил (від "–" до "+" всередині джерела) збігається з обраним заздалегідь напрямком обходу контура.

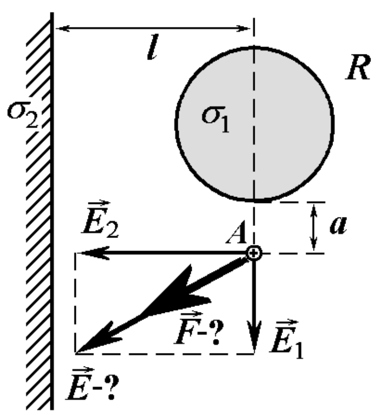
ПРИКЛАДИ РОЗВ’ЯЗУВАННЯ ЗАДАЧ

Приклад 1.1 Сфера радіусом R = 5 см та нескінченна площина рівномірно заряджені з поверхневою густиною заряду σ_1 = 10 нКл/м^2 та σ_1 = – 15 нКл/м^2 відповідно. Центр сфери знаходиться на відстані l = 10 см від площини.

Знайти: напруженість електростатичного поля в точці A, яка перебуває на відстані a = 5 см від поверхні сфери та 10 см – від площини; силу, яка діятиме на точковий заряд q_0 = 0,1 нКл, якщо його помістити в точку A.

Дано: $a = 5$ см $= 5 \cdot 10^{-2}$ м
$\sigma_1 = 10$ нКл/м$^2 = 10 \cdot 10^{-9}$ Кл/м^2
$\sigma_1 = -15$ нКл/м$^2 = -15 \cdot 10^{-9}$ Кл/м^2
$R = 5$ см $= 5 \cdot 10^{-2}$ м
$l = 10$ см $= 10 \cdot 10^{-2}$ м
$b = 10$ см $= 10 \cdot 10^{-2}$ м
$q_0 = 0{,}1$ нКл $= 0{,}1 \cdot 10^{-9}$ Кл

E, F – ?



Розв’язання:

1. Відповідно до принципу суперпозиції електричних полів, кожен заряд створює поле незалежно від перебування в просторі інших зарядів. Тому повна напруженість дорівнює сумі окремих:

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

Напруженість поля сфери у вакуумі (чи в повітрі) на відстані r від її центра

$$E_1 = \frac{|Q_1|}{4\pi\varepsilon_0 r^2}, \tag{1}$$

де ε_0 – електрична стала; Q_1 – заряд сфери. Подамо заряд сфери через поверхневу густину заряду σ_1 та площу поверхні ($S = 4\pi R^2$), а відстань r від точки до центра сфери – через відстань a до поверхні сфери та радіус сфери R :

$$Q_1 = 4\pi\sigma_1 R^2; \quad r = \alpha + R..$$

Підставивши ці вирази до формули (1), дістанемо

$$E_1 = \frac{4\pi R^2 |\sigma_1|}{4\pi\varepsilon_0 (a+R)^2} = \frac{R^2 |\sigma_1|}{\varepsilon_0 (a+R)^2}. \tag{2}$$

Напруженість поля рівномірно зарядженої площини з поверхневою густиною σ_2

$$E_2 = \frac{|\sigma_2|}{2\varepsilon_0}. \tag{3}$$

Вектор $\vec{E}_1$ спрямований силовою лінією від сфери, так як сфера заряджена позитивним зарядом; вектор $\vec{E}_2$ спрямований до площини, так як вона заряджена негативно.

Модуль вектора $\vec{E}$ віднайдемо за теоремою косинусів:

$$E = \sqrt{E_1^2 + E_2^2 + 2E_1E_2\cos\alpha},$$

але, внаслідок того що вектори $\vec{E}_1$ та $\vec{E}_2$ взаємно перпендикулярні і cos 90° = 0

$$E = \sqrt{E_1^2 \quad + E_2^2} \quad . \tag{4}$$

Підставивши (2) та (3) до (4) та виносячи спільний множник $1/\varepsilon_0$ за знак кореня, дістанемо

$$E = \frac{1}{\varepsilon_0}\sqrt{\frac{R^2{\sigma_1}^2}{(a+R)^2} + \frac{{\sigma_2}^2}{4}}. \tag{5}$$

2. Величину сили, котра діє на точковий заряд q_0, який перебуває в електростатичному полі, віднайдемо за формулою

$$F = q_0E. \tag{6}$$

Перевіряємо, чи дає формула (5) одиницю напруженості В/м, а формула (6) – одиницю сили Н.

$$[E] = \frac{1}{[\varepsilon_0]}\{[\sigma^2]\}^{1/2} = \frac{1}{1\text{Ф}/\text{м}}\{1\frac{\text{Кл}^2}{\text{м}^4}\}^{1/2} = \frac{1\text{Кл}\cdot\text{м}}{1\ \text{Ф}\cdot\text{м}^2} = \frac{1\text{Кл}\cdot\text{В}}{1\text{Кл}\cdot\text{м}} = 1\text{В/м};$$

$$[\text{F}] = [Q][E] = 1\text{Кл}\cdot 1\text{В/м} = \frac{1\text{Кл}\cdot 1\text{Дж/Кл}}{\text{м}} = \frac{1\text{Н}\cdot\text{м}}{\text{м}} = 1\text{Н}.$$

Підставимо до формул (5) та (6) значення величин в одиницях СІ і зробимо обчислення:

$$E = \frac{1}{8{,}85\cdot 10^{-12}}\sqrt{\frac{0{,}05^2\cdot 10^{-16}}{(0{,}05+0{,}05)^2} + \frac{(1{,}5\cdot 10^{-8})^2}{4}} = 1{,}02\cdot 10^3\ \text{В/м}.$$

$$F = 10^{-10}\cdot 1{,}02\cdot 10^3 = 1{,}02\cdot 10^{-7}\ \text{Н}.$$

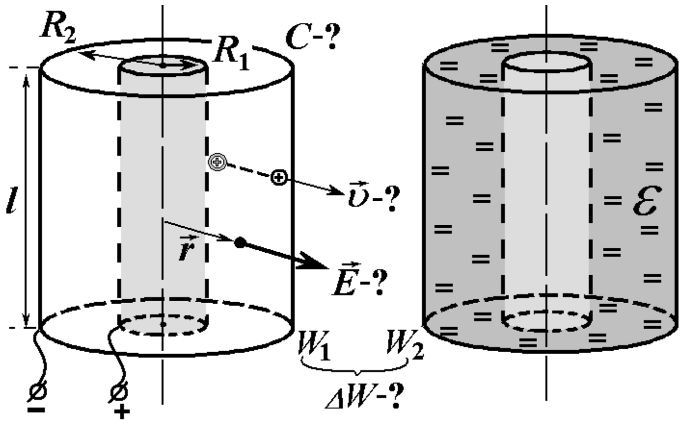
Напрямок сили збігається з напрямком вектора $\vec{E}$ (оскільки $q_0 > 0$), що і показано на рисунку.

Відповідь: $E = 1{,}02\cdot 10^3$ В/м., $F = 1{,}02\cdot 10^{-7}\ H$.

Приклад 1.2 Повітряний циліндричний конденсатор складається з двох коаксіальних циліндрів радіусами R_1 = 1 см та R_2 = 3 см. Довжина обкладок конденсатора L = 50 см. Конденсатор зарядили до різниці потенціалів U = 100 В і відключили від джерела. Визначити: 1) ємність конденсатора; 2) напруженість поля в конденсаторі на відстані r = 2 см від осі циліндра; 3) швидкість, яку матиме протон, переміщуючись під дією сил поля від однієї обкладинки конденсатора до другої; 4) наскільки зміниться енергія конденсатора, якщо простір поміж циліндрами заповнити парафіном (ε = 2).

Дано: $\varepsilon = 2$
R_1= 1 см = 0,01м
R_2=3 см = 0,03 м
L=50 см = 0,5 м
r =2см = 0,02 м
$e = 1{,}6 \cdot 10^{-19}$ Кл
$m = 1{,}67 \cdot 10^{-27}$ кг

C; E; υ; ΔW – ?



Розв'язання

1. Електроємність повітряного $\varepsilon = 1$ циліндричного конденсатора обчислюється за формулою

$$C = \frac{2\pi\varepsilon_0 L}{\ln(R_2 / R_1)}, \tag{1}$$

де ε_0 – електрична постійна; L – довжина обкладинок конденсатора; R_1 та R_2 – радіуси циліндрів.

2. Для знаходження напруженості поля на відстані r від осі циліндрів використаємо принцип суперпозиції електричних полів

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

де $\vec{E}_1$ – напруженість поля в точці, створена внутрішнім циліндром; $\vec{E}_2$ – напруженість поля зовнішнього циліндра в тій самій точці. Оскільки напруженість необхідно знайти на відстані $r < R_2$, то $E_2 = 0$ й $E = E_1$. Припускаючи, що циліндр досить довгий ($r << L$), необхідну напруженість дістанемо за формулою розрахунку напруженості поля нескінченно довгого циліндра :

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

де $\tau = Q / L$ – лінійна густина заряду циліндра. Заряд конденсатора Q, зв'язаний з напругою U між його обкладками співвідношенням

$$Q = CU\,. \tag{3}$$

Підставивши до формули (2) вирази для τ та Q, дістанемо

$$E = \frac{CU}{2\pi\varepsilon_0 r l}. \tag{4}$$

3. Протон, переміщуючись під дією сил поля конденсатора, змінює свою кінцеву енергію на величину, рівну роботі сил поля. Зміна кінетичної енергії

$$\Delta T = T_2 - T_1$$

де T_1 й T_2 – кінетична енергія протона в початковій і кінцевій точках шляху. Якщо у протона не було початкової швидкості, то $T_1 = 0$ *і*

$$\Delta T = T_2 = \frac{m\upsilon^2}{2}, \tag{5}$$

де m – маса протона; υ – його кінцева швидкість.

Робота сил поля дістається як добуток заряду протона, який дорівнює елементарному заряду e на різницю потенціалів u:

$$A = eU. \tag{6}$$

Прирівнявши праві частини рівнянь (5) та (6), одержимо

$$\frac{m\upsilon^2}{2} = eU.$$

звідки

$$\upsilon = \sqrt{\frac{2eU}{m}}. \tag{7}$$

4. При заповненні конденсатора парафіном його енергія зміниться на величину

$$\Delta W = W' - W, \tag{8}$$

де W – енергія повітряного конденсатора; W' – енергія конденсатора з парафіном.

Енергія конденсатора із зарядом Q та ємністю C визначається:

$$W = \frac{Q^2}{2C}. \tag{9}$$

Так як конденсатор відімкнено від джерела, то заряд Q на його обкладках при заповненні парафіном залишиться без змін. Ємність конденсатора після заповнення парафіном зміниться й дорівнюватиме

$$C' = \frac{2\pi\varepsilon\varepsilon_0 L}{\ln(R_2 / R_1)} = \varepsilon C.$$

Тоді

$$W' = \frac{Q^2}{2C'} = \frac{Q^2}{2\varepsilon C}. \tag{10}$$

Підставляємо (9) та (10) у (8) й виносячи спільний множник за дужки

$$\Delta W = \frac{Q^2}{2C}(\frac{1}{\varepsilon} - 1) = \frac{Q^2(1-\varepsilon)}{2\varepsilon C},$$

або з урахуванням формули (3) зміна енергії конденсатора визначається як

$$\Delta W = \frac{CU^2(1-\varepsilon)}{2\varepsilon}.$$

Підставимо числові значення до розрахункових формул (1), (4), (7) і (11) та виконаємо обчислення:

$$C = \frac{2 \cdot 3{,}14 \cdot 8{,}85 \cdot 10^{-12} \cdot 0{,}5}{\ln(0{,}03 / 0{,}01)} = 2{,}53 \cdot 10^{-11}\ \text{Ф};$$

$$E = \frac{2{,}53 \cdot 10^{-11} \cdot 100}{2 \cdot 3{,}14 \cdot 8{,}85 \cdot 10^{-12} \cdot 0{,}02 \cdot 0.5)} = 4{,}55 \cdot 10^3\ \text{В/м};$$

$$\upsilon = \sqrt{\frac{2 \cdot 1.6 \cdot 10^{-19} \cdot 100}{1{,}67 \cdot 10^{-27}}} = 1{,}38 \cdot 10^5\ \text{м/с};$$

$$\Delta W = \frac{2{,}53 \cdot 10^{-11} \cdot 100^2(1-2)}{2 \cdot 2} = -6{,}33 \cdot 10^{-8}\ \text{Дж}.$$

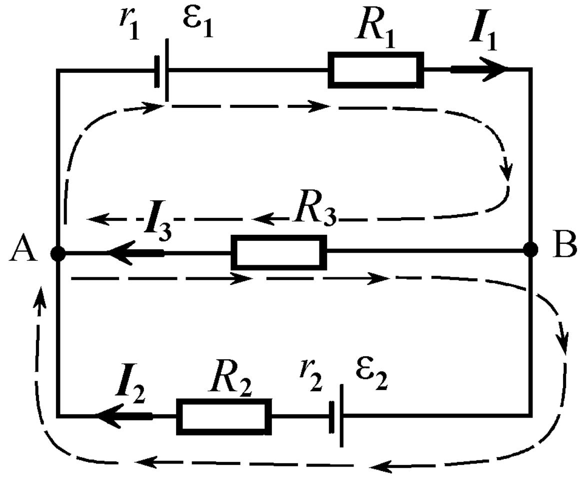
Таким чином, енергія, відключеного від джерела, конденсатора при внесенні діелектрика зменшується ($\Delta W < 0$). Це пов'язано з тим, що сили поля конденсатора поляризують діелектрик і втягують його до області більшої напруженості.

Відповідь: $E = 4{,}55 \cdot 10^3$ В/м, $\upsilon = 1{,}38 \cdot 10^5$ м/с, $\Delta W = -6{,}33 \cdot 10^{-8}$ Дж.

Приклад 1.3 Електричне коло складається із двох джерел ЕРС $\varepsilon_1 = 20$ В, $\varepsilon_2 = 5$ В і трьох опорів: $R_1 = R_2 = 19$ Ом та $R_3 = 10$ Ом. Внутрішні опори джерел $r_1 = 2$ Ом, $r_2 = 1$ Ом, через опір R_1 проходить струм $I_1 = 0{,}2$ А в напрямку, зазначеному на рисунку. Віднайти: опір R_1 та сили струмів, які проходять через опори R_2 та R_3, різницю потенціалів поміж точками A та B.

Дано:
$\varepsilon_1 = 20$ В
$\varepsilon_2 = 5$ В
$r_1 = 2$ Ом
$r_2 = 1$ Ом
$R_2 = 19$ Ом
$R_3 = 10$ Ом
$I_1 = 0{,}2$ А

Віднайти: I_2, I_3, R_1, $\varphi_B - \varphi_A$–?



Розв'язання:

Для розрахунку розгалужених кіл використовують правила Кірхгофа.

Для знаходження опору і двох значень сили струму, необхідно скласти три рівняння. Перед складанням рівнянь слід довільно обрати: а) напрямки струмів (якщо їх не визначено умовою); б) напрямок обходу контурів. Напрямок струму I_1 задано, напрямок струмів I_2 та I_3 оберемо так само, як на схемі, й домовимось обходити контури за годинниковою стрілкою (штрихова лінія на схемі). Дана схема має два вузли: A та B. При складанні рівнянь за першим правилом Кірхгофа слід враховувати, що струм, який підходить до вузла, входить до рівняння зі знаком " + ", а струм, що виходить від вузла, – зі знаком " – ".

За першим правилом Кірхгофа, для вузла А

$$I_1 - I_2 - I_3 = 0. \qquad (1)$$

Для вузла B складати рівняння не має змісту – воно зводиться до рівняння (1). Необхідні ще два рівняння дістанемо, виходячи із другого правила Кірхгофа. При цьому слід дотримуватись наступних правил щодо знаків:

а) падіння напруги (добуток IR чи Ir) входить рівняння зі знаком " + ", якщо напрям струму збігається з напрямом обходу контуру, в іншому випадку – зі знаком " – ";

б) ЕРС входить до рівняння зі знаком " + ", якщо вона збільшує потенціал в напрямку обходу контуру (перехід відбувається від мінуса до плюса всередині джерела), в іншому випадку – зі знаком " – ".

За другим правилом Кірхгофа, для контурів $B\varepsilon_1 R_1 A R_3 B$ та $BR_3 A R_2 \varepsilon_2 B$

$$I_1 r_1 + I_1 R_1 + I_3 R_3 = \varepsilon_1, \quad (2)$$

$$-I_3 R_3 + I_2 R_2 + I_2 R_2 = -\varepsilon_2. \quad (3)$$

Підставивши до рівнянь (1)...(3) значення заданих величин, дістанемо систему рівнянь

$$\begin{cases} 0.2 - I_3 - I_2 = 0 \\ 0.2 \cdot 2 + 0.2 R_1 + 10 I_3 = 20 \\ -10\ I_3 + 19 I_2 + I_2 = -5 \end{cases} \quad \text{або} \quad \begin{cases} 0.2 - I_3 - I_2 = 0 & (4) \\ 0.2 R_1 + 10\ I_3 = 19.6 & (5) \\ 20\ I_2 - 10 I_3 = -5 & (6) \end{cases}$$

Виразимо I_3 із рівняння (4) й підставимо в рівняння (6):

$$I_3 - 0.2 - I_2; \quad 20\ I_2 - 2 + 10\ I_2 = -5, \text{ звідки } \ I_2 = -0{,}1 \text{ А.}$$

Знак “ – ”, у значенні струму I_3 означає, що напрямок струму I_3 було обрано протилежним до дійсного. В реальності струм I_3 протікає від вузла B до вузла A.

З рівняння (4) відшукаємо I_3:

$$I_3 = 0{,}2 - (-0{,}1); \qquad I_3 = 0{,}3 \text{ А}.$$

Із рівняння (5) знаходимо R_1:

$$R_1 = \frac{19{,}6 \cdot 10 \cdot 0{,}3}{0{,}2} = 83 \text{ Ом}.$$

Різницю потенціалів $U = \Delta\varphi_{A,B} = \varphi_B - \varphi_A$ можна віднайти, якщо записати закон Ома для ділянки кола, наприклад $B\varepsilon_1 R_1 A$:

$$I = \frac{\varepsilon - \Delta\varphi_{A,B}}{R + r}. \quad (7)$$

У законі Ома вже враховано, що позитивний напрямок сили струму збігається з напрямком роботи сторонніх сил джерела, що відповідає збільшенню потенціалу. Тоді шукана різниця потенціалів буде:

$$\Delta\varphi_{A,B} = \varepsilon_1 - I_1 (R_1 + r_1).$$

Виконуємо обчислення

$\Delta\varphi_{A,B} = 20 B - 0.2(83 + 2) = 3\text{В}.$

Відповідь: I_2= –0,1 А; I_3=0,3 А; R_1=83 Ом, $\Delta\varphi_{A,B} = 3\text{В}$.

ЗАДАЧІ

Задача 1.1 Принцип суперпозиції електричних полів

Розв'язати у відповідності зі своїм варіантом одну з наведених нижче задач. Номер задачі і всі необхідні дані подано в табл. 1.1. *Якщо в номері задачі є літерний індекс, то слід відповідати лише на запитання, котре відповідає цьому індексові.*

1 Електростатичне поле створюється двома нескінченними паралельними площинами, які заряджені рівномірно з поверхневими густинами σ_1 та σ_2. Знайти силу, що діє в цьому полі на точковий заряд Q_1, якщо заряд перебуває: **а**) поміж площинами; **б**) поза межами площин.

2 Точковий заряд Q_1 перебуває в центрі рівномірно зарядженої сфери радіусом R. Віднайти напруженість електростатичного поля у двох точках, які лежать від центра на відстанях r_1 та r_2, якщо: ***а***) заряд сфери дорівнює Q_2; ***б***) поверхнева густина заряду сфери дорівнює σ_2.

3 Довга нитка, рівномірно заряджена з лінійною густиною τ_1, розташована на осі довгого циліндра, радіус якого R. Циліндр рівномірно заряджено з лінійною густиною τ_2. Віднайти напруженість електростатичного поля у двох точках: 1) на відстані r_1 від нитки; 2) на відстані l від поверхні циліндра.

4 Дві довгі паралельні нитки рівномірно заряджено з лінійними густинами τ_1 та τ_2. Відстань поміж нитками дорівнює l. Віднайти напруженість електростатичного поля в точці, яка перебуває на відстані r_1 від першої нитки та r_2 від другої нитки.

5 Електростатичне поле утворюється рівномірно зарядженими нескінченною площиною та сферою. Поверхнева густина заряду площини σ_1. Радіус сфери R, поверхнева густина заряду σ_2. Центр сфери міститься на відстані l від площини. Віднайти напруженість поля в точці, котра розміщена поміж сферою й площиною на відстані r_1 від площини.

Задача 1.2 Електроємність

Розв'язати одну з нижчеподаних задач. Номер задачі та всі необхідні дані наведено в табл. 1.2.

1 Сферичний повітряний конденсатор складається з двох концентричних сфер з радіусами R_1 та R_2. Конденсатор заряджено до певної різниці потенціалів. В табл. 1.2 задано по варіантах R_1 , R_2 й одну з таких величин: Q – заряд на обкладках конденсатора; U – різниця потенціалів поміж обкладками; v – швидкість, яку сприймає електрон, проходячи під дією сил поля від однієї обкладки до іншої. Віднайти: 1) величину, зазначену в останній колонці таблиці; 2) напруженість поля в конденсаторі на відстані r від центра сфери; 3) енергію конденсатора.

2 Циліндричний повітряний конденсатор складається з двох коаксіальних циліндрів радіусами R_1 та R_2. Довжина конденсатора L. Конденсатор заряджено до певної різниці потенціалів. В табл. 1.2 задано по варіантах розміри конденсатора й одну з таких величин: Q – заряд на обкладках конденсатора; U – різниця потенціалів поміж обкладками; v – швидкість, яку має протон, проходячи під дією сил поля від однієї обкладки до іншої. Знайти: 1) величину, зазначену в останній колонці таблиці; 2) напруженість поля в конденсаторі на відстані *r* від осі циліндра; 3) енергію конденсатора.

3 Плоский повітряний конденсатор з площею пластин *S* та відстанню між пластинами *d* заряджено і вимкнуто із джерела. В табл. 1.2 задано за варіантами розміри конденсатора й одну з таких величин: *Q* – заряд на обкладках конденсатора; *U* – різниця потенціалів між обкладками; *E* – напруженість поля в конденсаторі; *υ* – швидкість, якої набуде електрон, переміщуючись під дією сил поля від однієї обкладки до іншої. Віднайти: 1) величину, зазначену в останній колонці таблиці; 2) наскільки зміниться енергія конденсатора, якщо відстань між його пластинами збільшити в удвічі.

4 Плоский повітряний конденсатор з площею пластин *S* та відстанню між пластинами *d* підімкнено до джерела електричної енергії. В табл. 1.2 задано по варіантах розміри конденсатора та одну з таких величин: *Q* – заряд на обкладках конденсатора; *U* – різниця потенціалів між обкладками; *E* – напруженість поля в конденсаторі; *υ* – швидкість, яку матиме протон, переміщуючись під дією сил поля від однієї обкладки до іншої.

Віднайти: 1) величину, зазначену в останній колонці таблиці; 2) наскільки зміниться енергія конденсатора, якщо, не вимикаючи конденсатор із джерела, простір поміж його пластинами заповнити діелектриком з діелектричною проникністю ε.

Задача 1.3. Рух заряджених частинок в електричному полі

Розв'язати одну з нижчеподаних задач. Номер задачі вказано в табл. 1.3.

1 Заряджена частинка, що пройшла прискорюючу різницю потенціалів *U*, влітає у простір між пластинами конденсатора зі швидкістю *υ*, спрямованою до паралельно пластин. Довжина конденсатора ℓ; відстань між пластинами *d*; *h* – відстань, на яку відхилилася частинка; *T* – енергія частинки при вильоті; *t* – час, впродовж якого рухалася частинка; *E* – напруженість електричного поля; α – кут відхилення частинки. Знайти величини, зазначені в останній графі таблиці для: ***а***) електрона; ***б***) протона; ***в***) α-частинки.

2 Порошина масою *m* й зарядом *Q* урівноважена між пластинами плоского повітряного конденсатора, до якого прикладено напругу *U*. Відстань поміж пластинами дорівнює *d*. Віднайти величини, зазначені в останній графі таблиці: ***а***) порошина позитивно заряджена; ***б***) порошина негативно заряджена.

Задача 1.4. Закони постійного струму

Розв'язати одну з нижчеподаних задач. Номер задачі указано в табл. 1.4.

1 Чотири джерела з ЕРС ε_1, ε_2, ε_3, ε_4, – внутрішніми опорами r_1, r_2, r_3, r_4 й чотири резистори R_1, R_2, R_3, R_4 – з'єднані так, як показано на рис. 1 чи рис. 2. (згідно з варіантом). Віднайти величини, зазначені в останній графі таблиці: силу струмів на окремих ділянках кола; струм короткого замикання $I_{КЗ}$; корисну потужність $P_{ПОЛ}$; повну потужність P_0; максимальну потужність P_{max}; ККД (η) і потужність, що виділяється на резисторах R_1, R_2, R_3, R_4 (P_1, P_2, P_3, P_4) згідно з варіантом.

2 Чотири джерела з ЕРС ε_1, ε_2, ε_3, ε_4, внутрішніми опорами r_1, r_2, r_3, r_4 з'єднані як показано на рис. 3. R_1, R_2, R_3, R_4 – опори плечей містка Уїтстона. Віднайти величини, зазначені в останньому стовпчику таблиці за умови, що місток збалансований: сили струмів в окремих плечах містка; струм короткого замикання $I_{КЗ}$; повну потужність P_0; корисну потужність $P_{ПОЛ}$; максимальну потужність P_{max}; ККД (η) та потужність, що виділяється в окремих плечах Уїтстона (P_1, P_2, P_3, P_4) згідно варіанта.

Задача 1.5. Розгалужені кола

Складіть схему з трьох сполучених ділянок, відображених на рис. 4. Номери ділянок, ЕРС джерел ε_i, внутрішній опір джерел r_i, опір ділянок R_i (або сила струму I_i, що протікає по одній із ділянок в напрямку від т. A до B) задано по варіантах в табл. 1.5.

Відшукати: 1) величини, зазначені в останній графі таблиці; 2) різницю потенціалів між точками A та B.

Приклад схеми, яка відповідає 25–му варіанту, показаний на рис. 4,а.

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ КОМПЛЕКСНОГО ЗАДАНИЯ

1 Для выполнения комплексного задания № 1 студенты должны изучить разделы “Механика” и “Электричество” курса физики.

2 Студент должен решить пять задач: 1.1; 1.2; 1.3; 1.4; 1.5. Номер варианта определяется порядковым номером фамилии студента в журнале группы. Номера условий, которые студент должен включить в комплексное задание, указаны в таблицах исходных данных.

3 Отчет по индивидуальному заданию выполняется в отдельной тетради. Записи ведутся на правой стороне разворота тетради. На левой стороне пишутся замечания преподавателя и сделанные студентом исправления.

4 На обложке тетради следует записать название работы, номер варианта, фамилию и инициалы студента, шифр группы.

5 Задачи следует располагать в порядке, указанном преподавателем. Условие переписывать полностью. Далее сделать ***краткую запись условия***. Привести значение заданных величин к ***системе единиц СИ***. Представить пояснительную ***схему*** или ***рисунок.***

6 При решении задач прежде всего установить основные физические явления и записать формулы, которые отражают эти явления. Все обозначения в формулах следует ***пояснить***.

7 Из приведенных формул следует составить систему уравнений и найти решение задачи или ее части в ***буквенном виде***, где искомая величина должна быть представлена через заданные величины в буквенных (символьных) обозначениях.

8 Следует ***проверить единицы измерения*** полученных величин на соответствие их с ожидаемыми. Для этого следует подставить в формулу буквенного решения вместо символа каждой величины ее единицу измерения и осуществить необходимые преобразования. Лишь после совпадения единиц измерения с ожидаемыми следует подставить в формулу буквенного решения ***числовые значения*** величин и сделать вычисления.

ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ И ФОРМУЛЫ

Механика

Если заряд q прошел ускоряющую разность потенциалов U, то для нахождения его конечной скорости υ используют закон изменения энергии

$$T_2 - T_1 = A,$$

где работа сил электрического поля

$$A = qU,$$

а T_2, T_1 – значения кинетической энергии заряда в начальной и конечной точках пути. Если заряд двигался из состояния покоя, то

$$T_1 = 0, \quad \text{а} \quad T_2 = \frac{m\upsilon^2}{2},$$

где m – масса заряда; υ – его конечная скорость.

На заряд, движущийся со скоростью υ перпендикулярно направлению однородного электрического поля в конденсаторе с напряжением U, действует отклоняющая сила

$$F = qE = qU / d,$$

где d – расстояние между пластинами конденсатора.

Эта сила вызывает ускорение, направленное вдоль электрического поля

$$a = F/m.$$

Угол отклонения заряда от первоначального направления α определяется из треугольника скоростей при его вылете из конденсатора:

$$tg\alpha = \frac{\upsilon_{tY}}{\upsilon_{tX}}$$

Для определения этих скоростей необходимо подставить ускорение движения заряда в проекции кинематических уравнений поступательного движения на оси координат:

$$S_{tX} = \upsilon_{0X} t + \frac{a_X t^2}{2}; \qquad \upsilon_{tX} = \upsilon_{0X} + a_X t;$$

$$S_{tY} = \upsilon_{0Y} t + \frac{a_Y t^2}{2}; \qquad \upsilon_{tY} = \upsilon_{0Y} + a_Y t.$$

Эти уравнения значительно упрощаются при выборе оси X вдоль первоначального направления скорости υ, а оси Y вдоль ускорения a:

$$S_{tX} = \ell; \quad S_{tY} = h; \qquad \upsilon_{0X} = \upsilon; \quad \upsilon_{0Y} = 0; \qquad a_X = 0; \quad a_Y = a,$$

где ℓ – длина пластин конденсатора, h – отклонение заряда от первоначального направления.

При равновесии заряженной частицы массой m в электрическом поле сила тяжести mg компенсируется электростатической силой $F = qE$.

Электричество

Электрическое поле описывается двумя основными характеристиками – *напряженностью электростатического поля* и *потенциалом*

$$\vec{E} = \vec{F} / q_0; \qquad \varphi = W_n / q_0,$$

где $\vec{F}$ – сила, которая действует на пробный точечный заряд q_0, находящийся данной точке поля; W_n – потенциальная энергия заряда q_0.

Напряженность и потенциал поля точечного заряда q на расстоянии r от заряда

$$E = \frac{q}{4\pi\varepsilon_0\varepsilon \cdot r^2}; \qquad \varphi = \frac{q}{4\pi\varepsilon_0\varepsilon \cdot r},$$

где $\varepsilon_0 = 8{,}85 \cdot 10^{-12}$ Ф/м – электрическая постоянная; ε – диэлектрическая проницаемость среды.

Напряженность поля равномерно заряженной сферы радиусом R на расстоянии r от центра сферы:

а) $E = 0$ при $r < R$; б) $E = \dfrac{Q}{4\pi\varepsilon_0\varepsilon \cdot r^2}$ при $r \geq R$, где Q – заряд сферы.

Линейная и поверхностная плотности заряда:

$$\tau = \frac{dQ}{dl}; \qquad \sigma = \frac{dQ}{dS}.$$

Напряженность поля бесконечного равномерно заряженного цилиндра радиусом R на расстоянии r от оси цилиндра:

а) $E = 0$ при $r < R$;

б) $E = \dfrac{\tau}{2\pi\varepsilon_0\varepsilon \cdot r}$ при $r \geq R$.

Напряженность поля бесконечной равномерно заряженной плоскости:

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

Связь между напряженностью и потенциалом электростатического поля:

$$\vec{E} = -\frac{d\varphi}{d\vec{r}}.$$

Для однородного поля

$$E = \frac{\varphi_1 - \varphi_2}{r_{1,2}},$$

где $r_{1,2}$ – расстояние между эквипотенциальными поверхностями с потенциалами φ_1 и φ_2.

Работа сил поля по перемещению заряда q_0 из точки поля с потенциалом φ_1 в точку с потенциалом φ_2

$$A_{12} = q_0(\varphi_1 - \varphi_2).$$

Электроёмкость конденсатора по определению

$$C = \frac{Q}{U},$$

где Q – заряд конденсатора, U – разность потенциалов между пластинами конденсатора.

Электроёмкость плоского конденсатора

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

где S – площадь каждой пластины конденсатора; d – расстояние между пластинами.

Электроёмкость цилиндрического конденсатора

$$C = \frac{2\pi\varepsilon_0\varepsilon \cdot L}{\ln(R_2 / R_1)},$$

где L – длина обкладок конденсатора; R_1 и R_2 – радиусы коаксиальных цилиндров.

Электроёмкость сферического конденсатора

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

где R_1 и R_2 – радиусы концентрических сфер.

Энергия заряженного конденсатора

$$W = \frac{QU}{2} = \frac{CU^2}{2} = \frac{Q^2}{2C},$$

где Q – заряд конденсатора, C – его электроёмкость; U – разность потенциалов на обкладках конденсатора.

Закон Ома:

а) для однородного участка цепи:

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

где I – сила тока, который протекает по участку цепи; U – напряжение на участке; R – сопротивление участка;

б) для неоднородного участка цепи:

$$I = \frac{\varepsilon - \Delta\varphi_{2,1}}{R + r},$$

где $\Delta\varphi_{2,1} = U = \varphi_2 - \varphi_1$ – разность потенциалов (напряжение) на концах участка, ε – ЭДС источника, который находится на участке; r – внутреннее сопротивление источника;

в) для замкнутой цепи

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

где R – внешнее сопротивление цепи; r – внутреннее сопротивление источника.

Правила Кирхгофа:

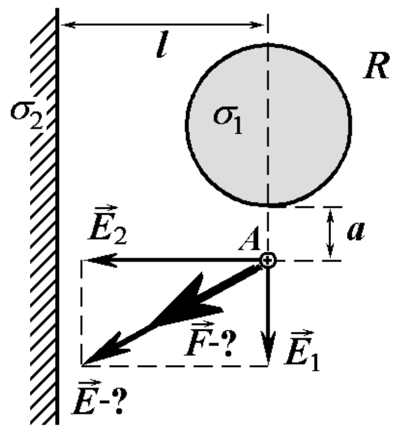
$$\sum I_i = 0; \qquad \sum I_i R_i + \sum I_i r_i = \sum \varepsilon_i,$$

где $\sum I_i$ – алгебраическая сумма токов сходящихся в узле, которые положительны, когда ток входит в узел; $\sum I_i R_i$ – алгебраическая сумма падения напряжения на внешних сопротивлениях замкнутого контура, а $\sum I_i r_i$ – алгебраическая сумма падения напряжения на внутренних сопротивлениях замкнутого контура, которые положительны, когда направление силы тока совпадает с выбранным заранее направлением обхода контура; $\sum \varepsilon_i$ – алгебраическая сумма ЭДС источников контура, которые положительны, когда направление работы сторонних сил (от “–“ к “+” внутри источника) совпадает с выбранным заранее направлением обхода контура.

ПРИМЕРЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ

Пример 1.1 Сфера радиусом R = 5 см и бесконечная плоскость равномерно заряженные с поверхностной плотностью заряда σ_1 = 10 нКл/м^2 и $\sigma_1 = -$15 нКл/м^2 соответственно. Центр сферы находится на расстоянии ℓ = 10 см от плоскости. Найти напряженность электростатического поля в точке A, которая находится на расстоянии a = 5 см от поверхности сферы и b = 10 см от плоскости; силу, действующую на точечный заряд q_0= 0,1 нКл, помещенный в точку A.

$\sigma_1 = 10$ нКл/м$^2 = 10\cdot10^{-9}$ Кл/м^2
$\sigma_2 = -15$ нКл/м$^2 = -15\cdot10^{-9}$Кл/м^2
$R = 5$ см $= 5\cdot10^{-2}$ м
$\ell = 10$ см $= 10\cdot10^{-2}$ м
$a = 5$ см $= 5\cdot10^{-2}$ м
$b = 10$ см $= 10\cdot10^{-2}$ м
q_0=0,1*нКл*=0,1·10^{-9}*Кл*



E, F – ?

Решение.

1. В соответствии с принципом суперпозиции, каждый заряд создает поле независимо от расположения других зарядов. Поэтому общая напряженность в точке равна векторной сумме напряженностей отдельных зарядов:

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

Напряженность поля сферы в воздухе на расстоянии r от его центра

$$E_1 = \frac{|Q_1|}{4\pi\varepsilon_0 r^2}, \qquad (1)$$

где ε_0 – электрическая постоянная; Q_1 – заряд сферы.

Выразим заряд сферы через поверхностную плотность заряда σ_1 и площадь поверхности сферы ($S = 4\pi R^2$), а расстояние r от точки A к центру сферы через расстояние a к поверхности сферы и радиус сферы R:

$$Q_1 = 4\pi\sigma_1 R^2; \qquad r = a + R.$$

Подставив эти выражения в формулу (1), получим

$$E_1 = \frac{4\pi R^2|\sigma_1|}{4\pi\varepsilon_0(a+R)^2} = \frac{R^2|\sigma_1|}{\varepsilon_0(a+R)^2}. \qquad (2)$$

Напряженность поля плоскости равномерно заряженной с поверхностной плотностью σ_2

$$E_2 = \frac{|\sigma_2|}{2\varepsilon_0} \qquad (3)$$

Вектор $\vec{E}_1$ направлен по силовой линии от сферы, так как сфера заряжена положительным зарядом, вектор $\vec{E}_2$ направлен к плоскости, так как она заряжена отрицательно.

Модуль вектора $\vec{E}$ найдем по теореме косинусов

$$E = \sqrt{E_1^2 + E_2^2 + 2E_1E_2\cos\alpha},$$

но так как векторы $\vec{E}_1$ и $\vec{E}_2$ взаимно перпендикулярны и cos 90° = 0, то

$$E = \sqrt{E_1^{\,2} + E_2^{\,2}}. \qquad (4)$$

Подставим (2) и (3) в (4) и выноса общий множитель $1/\varepsilon_0$ за знак корня

$$E = \frac{1}{\varepsilon_0}\sqrt{\frac{R^2\sigma_1^{\ 2}}{(a+R)^2} + \frac{\sigma_2^{\ 2}}{4}}\,. \qquad (5)$$

2. Величину силы, которая действует на точечный заряд q_0, который находится в электростатическом поле, находим по формуле

$$\mathrm{F} = q_0 E. \qquad (6)$$

Проверяем, дает ли формула (5) единицу напряженности В/м, а формула (6) единицу силы Н.

$$[E] = \frac{1}{[\varepsilon_0]}\{[\sigma^2]\}^{1/2} = \frac{1}{1\text{Ф/м}}\{1\frac{\text{Кл}^2}{\text{М}^4}\}^{1/2} = \frac{1\text{Кл}\cdot\text{м}}{1\,\text{Ф}\cdot\text{м}^2} = \frac{1\text{Кл}\cdot\text{В}}{1\text{Кл}\cdot\text{м}} = 1\text{В/м}$$

$$[F] = [Q][E] = 1\text{Кл}\cdot 1\text{В/м} = \frac{1\text{Кл}\cdot 1\text{Дж/Кл}}{\text{м}} = \frac{1\text{Н}\cdot\text{м}}{\text{м}} = 1\text{Н}.$$

Подставим в формулы (5) и (6) значение величин в единицах СИ и сделаем вычисления:

$$E = \frac{1}{8{,}85\cdot 10^{-12}}\sqrt{\frac{0{,}05^2\cdot 10^{-16}}{(0{,}05+0{,}05)^2} + \frac{(1{,}5\cdot 10^{-8})^2}{4}} = 1{,}02\cdot 10^3\,\text{В/м}.$$

$$\mathrm{F} = 10^{-10}\cdot 1{,}02\cdot 10^3 = 1{,}02\cdot 10^{-7}\ \text{Н}.$$

Направление силы совпадает с направлением вектора $\vec{E}$. (так как $q_0 > 0$), что и показано на рисунке.

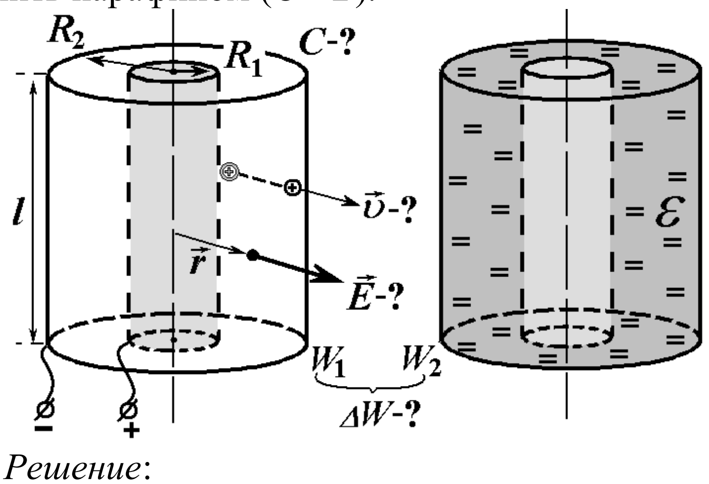
Ответ: $E = 1{,}02\cdot 10^3$ В/м., $F = 1{,}02\cdot 10^{-7}$ Н.

Пример 1.2 Воздушный цилиндрический конденсатор состоит из двух коаксиальных цилиндров радиусами R_1 = 1 см и R_2 = 3 см. Длина обкладок конденсатора L = 50 см. Конденсатор зарядили с разностью потенциалов U = 100 В и отключили от источника.

Найти: 1) электроемкость конденсатора; 2) напряженность поля в конденсаторе на расстоянии r = 2 см от оси цилиндра; 3) скорость, которую будет иметь протон перемещаясь под действием сил поля от одной обкладки конденсатора к второй; 4) на сколько изменится энергия конденсатора, если пространство между цилиндрами заполнить парафином ($\varepsilon = 2$).

Дано: $\varepsilon = 2$;
R_1= 1 см =0,01 м;
R_2= 3см = 0,03 м;
L= 50 см = 0.5 м;
r = 2 см = 0,02 м;
$e = 1{,}6\cdot 10^{-19}$ Кл,
$m = 1{,}67\cdot 10^{-27}$ кг

C; E; υ; ΔW – ?



Решение:

Электроемкость воздушного ε = 1 цилиндрического конденсатора находится по формуле

$$C = \frac{2\pi\varepsilon_0 L}{\ln(R_2 / R_1)}, \tag{1}$$

где ε_0 – электрическая постоянная; L – длина обкладок конденсатора; R_1 и R_2 – радиусы цилиндров.

Для нахождения напряженности поля на расстоянии r от оси цилиндров, используем принцип суперпозиции электрических полей

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

где $\vec{E}_1$ – напряженность поля в точке, созданная внутренним цилиндром; $\vec{E}_2$ – напряженность поля внешнего цилиндра в той же точке. Так как напряженность необходимо найти на расстоянии $r < R_2$, то $E_2 = 0$ и $E = E_1$. Допуская, что цилиндр длинный ($r << L$), его напряженность находим по формуле расчета напряженности поля бесконечно длинного цилиндра

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

где $\tau = Q/L$ – линейная плотность заряда цилиндра. Заряд конденсатора Q, связан с напряжением U между его обкладками соотношением

$$Q = CU. \tag{3}$$

Подставив в формулу (2) выражения для τ и Q, получим

$$E = \frac{CU}{2\pi\varepsilon_0 rl}. \tag{4}$$

Протон из состояния покоя, перемещаясь под действием сил поля конденсатора, изменяет свою конечную энергию на величину, равную работе сил поля:

$$T_2 - T_1 = A,$$

где T_2, T_1 – значения кинетической энергии протона в начальной и конечной точках пути. Т. к. у протона не было начальной скорости, то $T_1 = 0$ и

$$T_2 = \frac{m\upsilon^2}{2} = A, \tag{5}$$

где m – масса протона; υ – его конечная скорость.

Работа сил поля находится как произведение заряда протона, равного элементарному заряду $q_P = e$ на разность потенциалов U:

$$A = eU. \tag{6}$$

Приравняв правые части уравнений (5) и (6), получим

$$\frac{m\upsilon^2}{2} = eU, \text{ откуда } \quad \upsilon = \sqrt{\frac{2eU}{m}}. \tag{7}$$

При заполнении конденсатора парафином его энергия изменится на величину

$$\Delta W = W' - W, \tag{8}$$

где W – энергия воздушного конденсатора; W' – энергия конденсатора с парафином.

Энергия конденсатора с зарядом Q и емкостью C находится по формуле

$$W = \frac{Q^2}{2C}. \qquad (9)$$

Так как конденсатор отключен от источника, то заряд Q на его обкладках при заполнении парафином останется без перемен. Электроемкость конденсатора после заполнения парафином изменится, и будет равняться

$$C = \frac{2\pi\varepsilon\varepsilon_0 L}{\ln(R_2 / R_1)} = \varepsilon C$$

тогда

$$W' = \frac{Q^2}{2C'} = \frac{Q^2}{2\varepsilon C}. \qquad (10)$$

Подставив (9) и (10) в (8) и вынося общий множитель за скобки, получим

$$\Delta W = \frac{Q^2}{2C}(\frac{1}{\varepsilon} - 1) = \frac{Q^2(1-\varepsilon)}{2\varepsilon C},$$

или с учетом формулы (3), изменение энергии конденсатора

$$\Delta W = \frac{CU^2(1-\varepsilon)}{2\varepsilon}.$$

Подставим числовые значения в расчетные формулы (1), (4), (7) и (11) и выполним вычисления:

$$C = \frac{2 \cdot 3{,}14 \cdot 8{,}85 \cdot 10^{-12} \cdot 0{,}5}{\ln(0{,}03/0{,}01)} = 2{,}53 \cdot 10^{-11}\,\text{Ф};$$

$$E = \frac{2{,}53 \cdot 10^{-11} \cdot 100}{2 * 3{,}14 \cdot 8{,}85 \cdot 10^{-12} \cdot 0{,}02 \cdot 0.5)} = 4{,}55 \cdot 10^3\,\text{В/м};$$

$$\upsilon = \sqrt{\frac{2 \cdot 1.6 \cdot 10^{-19} \cdot 100}{1{,}67 \cdot 10^{-27}}} = 1{,}38 \cdot 10^5\,\text{м/с};$$

$$\Delta W = \frac{2{,}53 \cdot 10^{-11} \cdot 100^2(1-2)}{2 \cdot 2} = -6{,}33 \cdot 10^{-8}\,\text{Дж}.$$

Таким образом, энергия отключенного конденсатора при внесении диэлектрика уменьшается ($\Delta W < 0$). Это связано с тем, что силы поля конденсатора поляризуют диэлектрик и втягивают его в область большей напряженности.

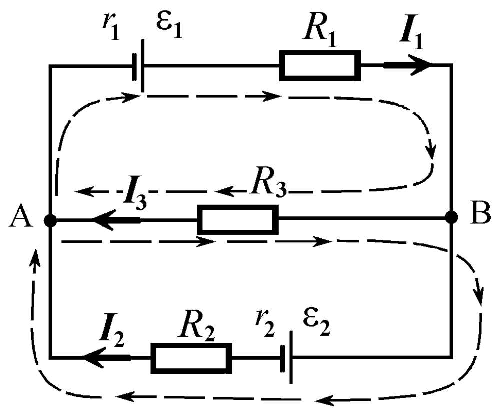
Ответ: $E = 4{,}55 \cdot 10^3$ В/м, $\upsilon = 1{,}38 \cdot 10^5$ м/с, $\Delta W = -6{,}33 \cdot 10^{-8}$ Дж.

Пример 1.3 Электрическая цепь состоит из двух источников ЭДС $\varepsilon_1 = 20$ В, $\varepsilon_2 = 5$ В и трех сопротивлений R_1, $R_2 = 19$ Ом и $R_3 = 10$ Ом. Внутренние сопротивления источников r_1=2 Ом, r_2= 1 Ом, а через сопротивление R_1 проходит ток $I_1 = 0{,}2$ А в направлении, указанном на рисунке.

Найти: 1) сопротивление R_1 и силы токов, которые проходят через сопротивления R_2 и R_3; 2) разность потенциалов между точками A и B.

Дано: $\varepsilon_1 = 20$ В
$\varepsilon_2 = 5$ В
$r_1 = 2$ Ом
$r_2 = 1$ Ом
$R_2 = 19$ Ом
$R_3 = 10$ Ом
$I_1 = 0{,}2$ А

I_2, I_3, R_1, $\varphi_B - \varphi_A$–?



Решение:

1. Для расчета разветвленных цепей используют правила Кирхгофа.

Чтобы найти сопротивление и два значения силы тока, необходимо составить три уравнения. Перед составлением уравнений необходимо произвольно выбрать: а) направление токов (если они не заданы в условии); б) направление обхода контуров. Направление тока I_1 задано, направление токов I_2 и I_3 выберем так, как на схеме, и договоримся обходить контуры по часовой стрелке (штриховая линия на схеме). Данная схема имеет два узла: *A* и *B*. При составлении уравнений по первому правилу Кирхгофа необходимо учесть, что ток, который подходит к узлу, входит в уравнения со знаком “ + ”, а ток, который выходит от узла – со знаком “ – ”.

По первому правилу Кирхгофа для узла *A*

$$I_1 - I_2 - I_3 = 0. \qquad (1)$$

Уравнение для узла *B* сводится к уравнению (1).

Необходимые еще два уравнения получим по второму правилу Кирхгофа. При этом необходимо придерживаться следующих правил знаков: *а*) падение напряжения (произведение *IR* или *Ir*) входит в уравнение со знаком плюс, если направление тока совпадает с направлением обхода контура, в другом случае – со знаком минус; *б*) ЭДС входит у уравнения со знаком “ + ”, если она увеличивает потенциал в направления обхода контура (переход происходит от минуса к плюсу в середине источника), в другом случае – со знаком “ – ”.

По второму правилу Кирхгофа для контуров $B\varepsilon_1 R_1 A R_3 B$ и $BR_3 A R_2 \varepsilon_2 B$

$$I_1 r_1 + I_1 R_1 + I_3 R_3 = \varepsilon_1; \qquad (2)$$

$$-I_3 R_3 + I_2 R_2 + I_2 R_2 = -\varepsilon_2. \qquad (3)$$

Подставив в уравнения (1), (2), (3) значение заданных величин, получим систему уравнений

$$\begin{cases} 0{,}2 - I_3 - I_2 = 0 \\ 0{,}2 \cdot 2 + 0{,}2 R_1 + 10 I_3 = 20 \\ -10\ I_3 + 19 I_2 + I_2 = -5 \end{cases} \quad \text{или} \quad \begin{cases} 0{,}2 - I_3 - I_2 = 0 & (4) \\ 0{,}2 R_1 + 10\ I_3 = 19{,}6 & (5) \\ 20\ I_2 - 10 I_3 = -5 & (6) \end{cases}$$

Выразим I_3 из уравнения (4) и подставим в уравнения (6)

$$I_3 - 0{,}2 - I_2; \quad 20\ I_2 - 2 + 10\ I_2 = -5.$$

$$I = -0{,}1 \text{ А}.$$

Знак “ – ” в значении тока I_2 означает, что направление тока I_2 было выбрано противоположным действующему. В реальности ток I_2 протекает от узла B к узлу A.

Из уравнения (4) находим

$$I_3 = 0{,}2 - (-0{,}1); \qquad I_3 = 0.3 \text{ А}$$

Из уравнения (5) находим R_1

$$R_1 = \frac{19{,}6 \cdot 10 \cdot 0{,}3}{0{,}2} = 83 \text{ Ом.}$$

2. Разность потенциалов $U = \Delta\varphi_{A,B} = \varphi_{\text{B}} - \varphi_{\text{A}}$ можно найти, если записать закон Ома для неоднородного участка цепи, например $B\varepsilon_1 R_1 A$.

$$I = \frac{\varepsilon - \Delta\varphi_{\text{A, B}}}{R + r} \tag{7}$$

В законе Ома уже учтено, что положительное направление силы тока совпадает с направлением работы сторонних сил источника, которое соответствует увеличению потенциала. Тогда искомая разность потенциалов

$$\Delta\varphi_{\text{A,B}} = \varepsilon_1 - I_1(R_1 + r_1).$$

Выполняем вычисления:

$\Delta\varphi_{\text{A,B}} = 20\,B - 0.2\,(83 + 2) = 3\text{В}$.

Ответ: $I_2 = -0{,}1$ А; $I_3 = 0{,}3$ А; $R_1 = 83$ Ом, $\Delta\varphi_{\text{A,B}} = 3$ В.

ЗАДАЧИ

Задача 1.1 Принцип суперпозиции электрических полей

Решить в соответствии со своим вариантом одну из приведенных ниже задач. Номер задачи и все необходимые данные приведены в табл. 1.1. *Если в номере задачи есть буквенный индекс, то следует отвечать только на вопрос, который соответствует этому индексу.*

1 Электростатическое поле создается двумя бесконечными параллельными плоскостями, которые заряжены равномерно с поверхностными плотностями σ_1 и σ_2. Найти силу, которая действует в этом поле на точечный заряд Q_1, если заряд находится: ***а***) между плоскостями; ***б***) за пределами плоскостей.

2 Точечный заряд Q_1 находится в центре равномерно заряженной сферы радиусом R. Найти напряжённость электростатического поля в двух точках, которые лежат от центра на расстоянии r_1 и r_2, если: ***а***) заряд сферы равняется Q_2; ***б***) поверхностная плотность заряда сферы равна σ_2.

3 Длинная нить, равномерно заряженная с линейной плотностью τ_1, расположена на оси длинного цилиндра, радиус которого R. Цилиндр равномерно заряжен с линейной плотностью τ_2. Найти напряженность электростатического поля в двух точках: 1) на расстоянии r_1 от нити; 2) на расстоянии l от поверхности цилиндра.

4 Две длинных параллельных нити равномерно заряжены с линейными плотностями τ_1 и τ_2. Расстояние между нитями равняется l. Найти напряжённость электростатического поля в точке, которая находится на расстоянии r_1 от первой нити и r_2 от второй нити.

5 Электростатическое поле создается равномерно заряженными бесконечной плоскостью и сферой. Поверхностная плотность заряда плоскости σ_1. Радиус сферы R, поверхностная плотность заряда σ_2. Центр сферы находится на расстоянии l от плоскости. Найти напряжённость поля в точке, которая находится между сферой и плоскостью на расстоянии r_1 от плоскости.

Задача 1.2 Электроемкость

Решить одну из следующих задач. Номер задачи и все необходимые данные приведены в табл. 1.2. Примечание: *Переписывая условие задачи, перечисляйте только те величины, которые относятся к данному варианту, и укажите их численные значения.*

1 Сферический воздушный конденсатор состоит из двух концентрических сфер с радиусами R_1 и R_2. Конденсатор заряжен с некоторой разностью потенциалов. В табл. 1.2 заданы по вариантам R_1 , R_2 и одна из следующих величин: Q – заряд на обкладках конденсатора; U – разность потенциалов между обкладками; υ – скорость, которую приобретёт электрон, проходя под действием сил поля от одной обкладки к другой. Найти: 1) величину, указанную в последней колонке таблицы; 2) напряжённость поля в конденсаторе на расстоянии r от центра сферы; 3) энергию конденсатора.

2 Цилиндрический воздушный конденсатор состоит из двух коаксиальных цилиндров радиусами R_1 и R_2. Длина конденсатора L. Конденсатор заряжен с некоторой разностью потенциалов. В табл. 1.2 заданы по вариантам размеры конденсатора и одна из следующих величин: Q – заряд на обкладках конденсатора; U – разность потенциалов между обкладками; υ – скорость, которую приобретёт протон, пройдя под действием сил поля от одной обкладки к другой. Найти: 1) величину, указанную в последней графе таблицы; 2) напряжённость поля в конденсаторе на расстоянии r от оси цилиндра; 3) энергию конденсатора.

3 Плоский воздушный конденсатор с площадью пластин S и расстоянием между пластинами d зарядили и отключили от источника. В табл. 1.2 заданы по вариантам размеры конденсатора и одна из следующих величин: Q – заряд на обкладках конденсатора; U – разность потенциалов между обкладками; E – напряженность поля в конденсаторе; υ – скорость, которую приобретёт электрон, перемещаясь под действием сил поля от одной обкладки к другой.

Найти: 1) величину, указанную в последней графе таблицы; 2) насколько изменится энергия конденсатора, если расстояние между его пластинами увеличить в два раза.

4 Плоский воздушный конденсатор с площадью пластин S и расстоянием между пластинами d подключен к источнику электрической энергии. В табл. 1.2 заданы по вариантам размеры конденсатора и одна из следующих величин: Q – заряд на обкладках конденсатора; U – разность потенциалов между обкладками; E – напряженность поля в конденсаторе; υ – скорость, которую приобретёт протон, перемещаясь под действием сил поля от одной обкладки к другой. Найти: 1) величину, указанную в последней графе таблицы; 2) насколько изменится энергия конденсатора, если, не отключая конденсатор от источника, пространство между его пластинами заполнить диэлектриком с диэлектрической проницаемостью ε.

Задача 1.3 Движение заряженных частиц в электрическом поле

Решить одну из следующих задач. Номера задач указаны в табл. 1.3

1 Частица, прошедшая ускоряющую разность потенциалов U, влетает в пространство между пластинами конденсатора со скоростью υ, направленной параллельно пластинам. Длина пластин конденсатора ℓ; d – расстояние между пластинами; h – расстояние, на которое отклонилась частица; T – энергия частицы при вылете; t – время, в течение которого двигалась частица; E – напряженность электрического поля; α – угол отклонения частицы. Найти величины, указанные в последней графе таблицы для: ***а***) электрона; ***б***) протона; ***в***) α-частицы.

2 Пылинка массой m и зарядом Q уравновешена между пластинами плоского воздушного конденсатора, к которому приложено напряжение U. Расстояние между пластинами равно d. Найти величины, указанные в последней графе таблицы: ***а***) пылинка положительно заряжена; ***б***) пылинка отрицательно заряжена.

Задача 1.4. Законы постоянного тока

Четыре источника с ЭДС ε_1, ε_2, ε_3, ε_4, внутренними сопротивлениями r_1, r_2, r_3, r_4 и четыре резистора R_1, R_2, R_3, R_4 соединены так, как показано на рис. 1, 2, 3. (номер рисунка указан в табл. 1.4). Для рис. 3 считать, что мостик сбалансирован.

Найти величины, указанные в последней графе таблицы: силу токов на отдельных участках цепи; ток короткого замыкания – $I_{\text{КЗ}}$; полезную мощность – $P_{\text{ПОЛ}}$; полную мощность – P_0; максимальную мощность – $P_{\text{макс}}$; КПД (η) и мощность, которая выделяется на резисторах R_1, R_2, R_3, R_4 (P_1, P_2, P_3, P_4) согласно варианта.

Задача 1.5. Разветвленные цепи

Составьте схему из трех соединенных участков, которые изображены на рис. 4. Номера участков, ЭДС источников $\varepsilon_{\text{и}}$, внутреннее сопротивление источников r_{i}, сопротивление участков R_{i} (или сила тока I_{i}, который протекает по одному из участков в направлении от точки А к В) заданы по вариантам в табл. 1.5.

Найти: 1) величины, указанные в последней колонке таблицы; 2) разность потенциалов между точками A и B.

Пример схемы, которая отвечает 25-му варианту, показан на рис. 4, *а*.

ТАБЛИЦІ ВАРІАНТІВ ЗАВДАНЬ

Таблиця 1.1

Таблиця 1.2

Таблиця 1.4

Варіант	Рис.	ε_i, *B*	r_i, *Ом*	R_i, *Ом*	Зайти
1	1	$\varepsilon_1 = 5$; $\varepsilon_2 = 3$, $\varepsilon_3 = 2$, $\varepsilon_4 = 6$	$r_1 = r_2 = r_3 = r_4 = 1$	$R_1 = 20$, $R_2 = 80$, $R_3 = 10$, $R_4 = 40$	$I_1, I_2, I_3, I_4, I_0, I_{КЗ}, P_0$
2	2	$\varepsilon_1 = 4$; $\varepsilon_2 = 4$, $\varepsilon_3 = 6$	$r_1 = 0{,}5$, $r_2 = 0{,}5$, $r_3 = 1$	$R_1 = 40$, $R_2 = 60$, $R_3 = 20$	$P_0, P_{кор}, P_{макс}, \eta, P_1, P_2, P_3$
3	2	$\varepsilon_1 = 10$; $\varepsilon_4 = 4$	$r_1 = 2$, $r_4 = 0{,}5$	$R_1 = 100$, $R_4 = 150$	$P_0, P_{кор}, P_{макс}, \eta, P_1, P_2, P_4$
4	1	$\varepsilon_1 = 6$	$r_1 = 2$	$R_2 = 300$, $R_4 = 120$	$P_0, P_{кор}, P_{макс}, \eta, P_2$
5	2	$\varepsilon_1 = 5$; $\varepsilon_2 = 5$, $\varepsilon_3 = 6$, $\varepsilon_4 = 2$	$r_1 = 0{,}5$, $r_2 = 1$, $r_3 = 0{,}5$, $r_4 = 1$	$R_1 = 100$, $R_2 = 250$, $R_3 = 140$	$I_1, I_2, I_3, I_4, I_5, I_6, I_0, I_{КЗ}, P_3$
6	2	$\varepsilon_1 = 4$; $\varepsilon_2 = 2$, $\varepsilon_3 = 6$	$r_1 = 1$, $r_2 = 1$, $r_3 = 1$	$R_1 = 80$, $R_2 = 45$, $R_4 = 50$	$I_1, I_2, I_4, I_5, I_6, P_{кор}$
7	1	$\varepsilon_1 = 4$; $\varepsilon_3 = 3$, $\varepsilon_4 = 1$	$r_1 = 1$, $r_3 = r_4 = 0{,}5$	$R_1 = 10$, $R_2 = 30$	$I_1, I_2, I_3, I_0, I_{КЗ}, P_{кор}$
8	3	$\varepsilon_1 = \varepsilon_3 = 4$	$r_1 = r_3 = 1$	$R_1 = 0$, $R_2 = 50$, $R_4 = 200$	$I_1, I_2, I_3, I_4, I_5, I_6, I_0, I_{КЗ}, P_{кор}$
9	1	$\varepsilon_2 = 8$, $\varepsilon_3 = 6$, $\varepsilon_4 = 2$	$r_2 = 2$, $r_3 = 1{,}5$, $r_4 = 0{,}5$	$R_3 = 200$, $R_4 = 50$	$P_0, P_{кор}, P_{макс}, \eta, P_3, P_4$
10	2	$\varepsilon_3 = 10$, $\varepsilon_4 = 8$	$r_3 = 2$, $r_4 = 1$	$R_1 = 50$, $R_2 = 80$, $R_3 = 100$, $R_2 = 150$	$P_0, P_{кор}, P_{макс}, \eta, P_1, P_2, P_3, P_4$
11	1	$\varepsilon_1 = 2$, $\varepsilon_3 = 4$	$r_1 = 0{,}5$, $r_3 = 2$	$R_2 = 80$, $R_4 = 20$	$I_1, I_2, I_3, I_0, I_{КЗ}, P_{макс}$
12	3	$\varepsilon_1 = \varepsilon_2 = \varepsilon_3 = \varepsilon_4 = 1$	$r_1 = r_2 = r_3 = r_4 = 1$	$R_1 = 20$, $R_2 = 40$, $R_4 = 160$	$I_1, I_2, I_3, I_4, I_5, I_6, I_0, I_{КЗ}, P_{кор}$
13	3	$\varepsilon_1 = 4$, $\varepsilon_2 = 2$	$r_1 = 2$, $r_2 = 1$	$R_1 = 45$, $R_2 = 75$, $R_3 = 300$	$I_1, I_2, I_3, I_4, I_5, I_0, I_{КЗ}, P_0$
14	2	$\varepsilon_2 = 6$, $\varepsilon_3 = 6$	$r_2 = 1$, $r_3 = 1$	$R_1 = 80$, $R_2 = 20$, $R_3 = 10$	$P_0, P_{кор}, P_{макс}, \eta, P_1, P_2, P_3$
15	1	$\varepsilon_1 = 3$, $\varepsilon_2 = 3$, $\varepsilon_3 = 3$	$r_1 = r_2 = r_3 = 0{,}5$	$R_1 = 200$, $R_3 = 15$, $R_4 = 45$	$P_0, P_{кор}, P_{макс}, \eta, P_4$
16	1	$\varepsilon_1 = 5$, $\varepsilon_3 = 4$, $\varepsilon_4 = 2$	$r_3 = 1$, $r_4 = 3$	$R_2 = 100$, $R_3 = 20$, $R_4 = 30$	$I_1, I_2, I_3, I_4, I_0, I_{КЗ}, P_2$
17	2	$\varepsilon_2 = 5$, $\varepsilon_3 = 5$	$r_2 = 1$, $r_3 = 1$	$R_1 = 150$, $R_2 = 50$, $R_3 = 100$	$I_1, I_2, I_3, I_5, I_6, I_0, I_{КЗ}, P_0$
18	3	$\varepsilon_1 = 6$	$r_1 = 2$	$R_1 = 30$, $R_3 = 70$, $R_4 = 280$	$P_0, P_{кор}, P_{макс}, \eta, P_1$
19	2	$\varepsilon_3 = 6$, $\varepsilon_4 = 2$	$r_3 = 2$, $r_4 = 0{,}5$	$R_1 = 50$, $R_2 = 20$, $R_3 = 10$, $R_4 = 40$	$I_1, I_2, I_3, I_4, I_6, I_0, I_{КЗ}, P_2$
20	1	$\varepsilon_2 = 6$, $\varepsilon_4 = 2$	$r_1 = 1{,}5$, $r_4 = 2$	$R_1 = 110$, $R_3 = 40$	$P_0, P_{кор}, P_{макс}, \eta, P_3$
21	3	$\varepsilon_1 = 3$, $\varepsilon_3 = 3$ $\varepsilon_2 = \varepsilon_4 = 2$,	$r_1 = r_3 = 1{,}5$, $r_2 = r_4 = 0{,}5$	$R_2 = 20$, $R_3 = 120$, $R_4 = 40$	$P_0, P_{кор}, P_{макс}, \eta, P_2$
22	2	$\varepsilon_1 = 6$, $\varepsilon_4 = 8$	$r_1 = 2$, $r_4 = 2$	$R_1 = 100$, $R_3 = 200$, $R_4 = 20$	$I_1, I_2, I_3, I_4, I_5, I_6, I_0, I_{КЗ}, P_{макс}$
23	1	$\varepsilon_1 = 1$, $\varepsilon_2 = 2$, $\varepsilon_3 = 4$	$r_1 = 2$, $r_4 = 0{,}5$, $r_3 = 1{,}5$	$R_1 = 50$, $R_3 = 30$	$I_1, I_2, I_3, I_4, I_0, I_{КЗ}, P_3$
24	3	$\varepsilon_1 = \varepsilon_2 = \varepsilon_3 = \varepsilon_4 = 3$	$r_1 = r_2 = r_3 = r_4 = 1$	$R_1 = 40$, $R_2 = 80$, $R_4 = 240$	$P_0, P_{кор}, P_{макс}, \eta, P_2, P_3$
25	1	$\varepsilon_1 = 7$, $\varepsilon_3 = 1$	$r_1 = 2$, $r_3 = 1$	$R_2 = 220$, $R_3 = 40$	$P_0, P_{кор}, P_{макс}, \eta, P_3$
26	2	$\varepsilon_1 = 7$, $\varepsilon_2 = 3$, $\varepsilon_3 = 6$, $\varepsilon_4 = 4$	$r_1 = r_2 = r_3 = r_4 = 1$	$R_1 = 10$, $R_2 = 40$, $R_3 = 8$, $R_4 = 60$	$I_1, I_2, I_3, I_4, I_5, I_6, I_0, I_{КЗ}, P_0$
27	2	$\varepsilon_1 = 7$, $\varepsilon_2 = 3$, $\varepsilon_3 = 6$, $\varepsilon_4 = 4$	$r_1 = 2$, $r_4 = 1$	$R_1 = 150$, $R_3 = 200$, $R_4 = 20$	$P_0, P_{кор}, P_{макс}, \eta, P_2, P_3$
28	1	$\varepsilon_1 = 6$, $\varepsilon_2 = 4$, $\varepsilon_3 = 5$, $\varepsilon_4 = 3$	$r_1 = 0{,}5$, $r_2 = 1{,}5$, $r_3 = r_4 = 2$	$R_1 = 40$, $R_4 = 10$	$I_1, I_2, I_3, I_4, I_0, I_{КЗ}, P_0$
29	1	$\varepsilon_1 = 3$, $\varepsilon_2 = 2$, $\varepsilon_3 = 4$, $\varepsilon_4 = 1$	$r_1 = r_2 = 1$, $r_3 = r_4 = 0{,}5$	$R_1 = 10$, $R_3 = 30$, $R_4 = 20$	$I_1, I_2, I_3, I_4, I_0, I_{КЗ}, P_{кор}$
30	1	$\varepsilon_1 = 8$, $\varepsilon_2 = 2$	$r_1 = 2{,}5$, $r_2 = 0{,}5$	$R_1 = 200$, $R_4 = 40$	$I_1, I_2, I_3, I_4, I_0, I_{КЗ}, P_4$

Таблиця 1.5

Варіант	Номери ділянок	ε_i, В	r_i, Ом	R_i, Ом	I_i, А	Знайти
1	1, 2, 3	$\varepsilon_1 = 11$, $\varepsilon_2 = 4$, $\varepsilon_3 = 6$	$r_1 = r_2 = r_3 = 0$	$R_1 = 25$, $R_2 = 50$, $R_3 = 10$	–	$\boldsymbol{I_1, I_2, I_3}$
2	4, 5, 6	$\varepsilon_4 = 9$, $\varepsilon_5 = 10$	$r_4 = 1$, $r_5 = 2$	$R_4 = 19$, $R_5 = 38$	$I_6 = 0{,}1$	$\boldsymbol{I_4, I_5, R_6}$
3	1, 2, 4	$\varepsilon_1 = 16$, $\varepsilon_2 = 5$, $\varepsilon_4 = 7$	$r_1 = r_2 = r_4 = 0$	$R_2 = 30$, $R_4 = 50$	$I_1 = 0{,}4$	$\boldsymbol{I_2, I_4, R_1}$
4	5, 4, 1	$\varepsilon_1 = 9$, $\varepsilon_4 = 6$, $\varepsilon_5 = 2$	$r_1 = r_4 = r_5 = 0$	$R_4 = 50$, $R_5 = 10$	$I_1 = 0{,}2$	$\boldsymbol{I_4, I_5, R_1}$
5	1, 2, 6	$\varepsilon_1 = 10$, $\varepsilon_2 = 8$	$r_1 = 2$, $r_2 = 1$	$R_1 = 8$, $R_2 = 19$, $R_6 = 60$	–	$\boldsymbol{I_1, I_2, I_6}$
6	3, 2, 1	$\varepsilon_2 = 4$, $\varepsilon_3 = 5$	$r_1 = r_2 = r_5 = 0$	$R_1 = 30$, $R_2 = 40$, $R_3 = 20$	$I_1 = 0{,}1$	$\boldsymbol{I_2, I_3, \varepsilon_1}$
7	1, 4, 6	$\varepsilon_1 = 8$, $\varepsilon_4 = 2$	$r_1 = 2$, $r_4 = 1$	$R_1 = 18$, $R_4 = 39$, $R_6 = 80$	–	$\boldsymbol{I_1, I_4, I_6}$
8	1, 4, 2	$\varepsilon_2 = 11$, $\varepsilon_4 = 7$	$r_1 = r_2 = r_4 = 0$	$R_1 = 50$, $R_2 = 20$, $R_4 = 30$	$I_1 = 0{,}1$	$\boldsymbol{I_2, I_4, \varepsilon_1}$
9	2, 1, 3	$\varepsilon_1 = 9$, $\varepsilon_2 = 8$, $\varepsilon_3 = 1$	$r_1 = r_2 = r_5 = 0$	$R_1 = 50$, $R_2 = 20$, $R_3 = 10$	–	$\boldsymbol{I_1, I_2, I_3}$
10	4, 1, 5	$\varepsilon_4 = 4$, $\varepsilon_5 = 2$	$r_1 = r_4 = r_5 = 0$	$R_1 = 25$, $R_4 = 50$, $R_5 = 10$	$I_1 = 0{,}4$	$\mathbf{I_4, I_5, \varepsilon_1}$
11	1, 3, 2	$\varepsilon_2 = 16$, $\varepsilon_3 = 3$	$r_1 = r_2 = r_5 = 0$	$R_1 = 70$, $R_2 = 20$, $R_3 = 10$	$I_1 = 0{,}1$	$\boldsymbol{I_2, I_3, \varepsilon_1}$
12	6, 4, 1	$\varepsilon_1 = 3$, $\varepsilon_4 = 7$	$r_1 = 2$, $r_4 = 1$	$R_1 = 78$, $R_4 = 39$	$I_6 = 0{,}1$	$\boldsymbol{I_1, I_4, R_6}$
13	5, 4, 1	$\varepsilon_4 = 4$, $\varepsilon_5 = 14$	$r_1 = r_4 = r_5 = 0$	$R_1 = 90$, $R_4 = 20$, $R_5 = 40$	$I_1 = 0{,}1$	$\boldsymbol{I_4, I_5, \varepsilon_1}$
14	4, 6, 5	$\varepsilon_4 = 10$, $\varepsilon_5 = 5$	$r_4 = 2$, $r_5 = 1$	$R_4 = 33$, $R_5 = 19$	$I_6 = 0{,}3$	$\boldsymbol{I_4, I_5, R_6}$
15	1, 6, 4	$\varepsilon_1 = 4$, $\varepsilon_4 = 3$	$r_1 = 2$, $r_4 = 1$	$R_1 = 18$, $R_4 = 9$, $R_6 = 60$	–	$\boldsymbol{I_1, I_4, I_6}$
16	4, 1, 6	$\varepsilon_1 = 2$, $\varepsilon_4 = 12$	$r_1 = 3$, $r_4 = 2$	$R_1 = 97$, $R_4 = 18$	$I_6 = 0{,}1$	$\boldsymbol{I_2, I_4, R_6}$
17	4, 1, 5	$\varepsilon_1 = 22$, $\varepsilon_4 = 8$, $\varepsilon_5 = 4$	$r_1 = r_4 = r_5 = 0$	$R_1 = 25$, $R_4 = 50$, $R_5 = 10$	–	$\boldsymbol{I_1, I_4, I_5}$
18	2, 1, 6	$\varepsilon_1 = 20$, $\varepsilon_2 = 6$	$r_2 = 1$	$R_1 = 82$, $R_2 = 29$, $R_6 = 10$	$I_1 = 0{,}2$	$\boldsymbol{I_2, I_6, r_1}$
19	2, 3, 1	$\varepsilon_1 = 19$, $\varepsilon_2 = 4$, $\varepsilon_3 = 5$	$r_1 = r_2 = r_3 = 0$	$R_2 = 20$, $R_3 = 10$	$I_1 = 0{,}2$	$\boldsymbol{I_2, I_3, R_1}$
20	4, 1, 6	$\varepsilon_1 = 13$, $\varepsilon_4 = 1$	$r_4 = 1$	$R_1 = 27$, $R_4 = 24$, $R_6 = 40$	$I_1 = 0{,}3$	$\boldsymbol{I_4, I_6, r_1}$
21	2, 1, 4	$\varepsilon_1 = 12$, $\varepsilon_2 = 9$, $\varepsilon_4 = 5$	$r_1 = r_2 = r_4 = 0$	$R_1 = 30$, $R_2 = 60$, $R_4 = 20$	–	$\boldsymbol{I_1, I_2, I_4}$
22	2, 1, 6	$\varepsilon_1 = 8$, $\varepsilon_2 = 6$	$r_1 = 3$	$R_1 = 27$, $R_2 = 9$, $R_6 = 25$	$I_2 = 0{,}1$	$\boldsymbol{I_1, I_6, r_2}$
23	5, 1, 4	$\varepsilon_1 = 19$, $\varepsilon_4 = 6$, $\varepsilon_5 = 2$	$r_1 = r_4 = r_5 = 0$	$R_4 = 50$, $R_5 = 10$	$I_1 = 0{,}2$	$\boldsymbol{I_4, I_5, R_1}$
24	1, 6, 2	$\varepsilon_1 = 18$, $\varepsilon_2 = 15$	$r_1 = 2$, $r_2 = 1$	$R_1 = 58$, $R_2 = 9$, $R_6 = 30$	–	$\boldsymbol{I_1, I_2, I_6}$
25	4, 1, 2	$\varepsilon_2 = 4$, $\varepsilon_4 = 2$	$r_1 = r_2 = r_4 = 0$	$R_1 = 50$, $R_2 = 20$, $R_4 = 80$	$I_1 = 0{,}2$	$\boldsymbol{I_2, I_4, \varepsilon_1}$
26	1, 6, 5	$\varepsilon_1 = 8$, $\varepsilon_5 = 6$	$r_1 = 2$, $r_5 = 3$	$R_1 = 8$, $R_5 = 12$, $R_6 = 10$	-	$\boldsymbol{I_1, I_5, I_6}$
27	2, 4, 5	$\varepsilon_2 = 8$	$r_2 = 2$, $r_4 = 1$, $r_5 = 5$	$R_2 = 18$, $R_4 = 14$, $R_5 = 25$	$I_4 = 0{,}2$, $I_5 = 0{,}3$	$\boldsymbol{I_2, \varepsilon_4, \varepsilon_5}$
28	3, 6, 4	$\varepsilon_3 = 36$, $\varepsilon_4 = 9$	$r_3 = 2$, $r_4 = 1$	$R_3 = 16$, $R_4 = 8$	$I_6 = 0{,}5$	$\boldsymbol{I_4, I_3, R_6}$
29	3, 1, 5	$\varepsilon_3 = 40$, $\varepsilon_5 = 30$	$r_1 = r_5 = 2$, $r_3 = 5$	$R_3 = 35$, $R_1 = 28$, $R_5 = 28$	$I_1 = 0{,}7$	$\boldsymbol{I_5, I_3, \varepsilon_1}$
30	2, 3, 4	$\varepsilon_2 = 20$, $\varepsilon_4 = 40$, $\varepsilon_3 = 10$	$r_2 = 10$, $r_4 = 15$, $r_3 = 5$	$R_2 = 110$, $R_4 = 105$	$I_3 = 0{,}2$	$\boldsymbol{I_4, I_2, R_3}$

РИСУНКИ ДО ЗАДАЧ

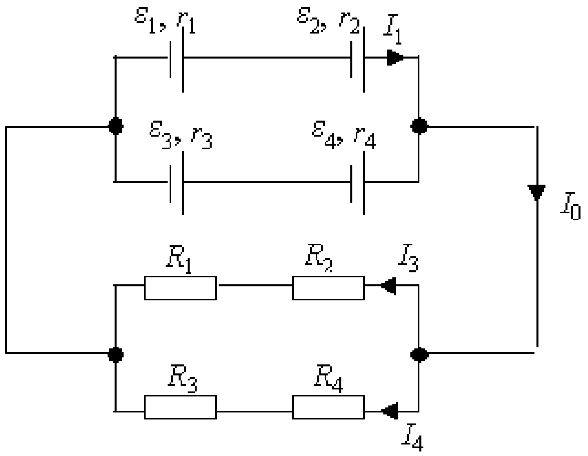


Рисунок 1

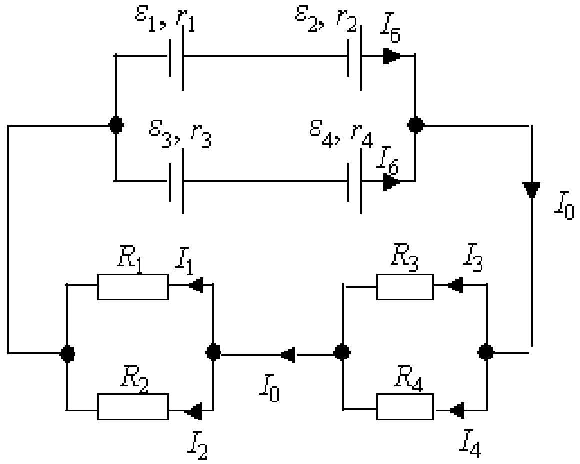


Рисунок 2

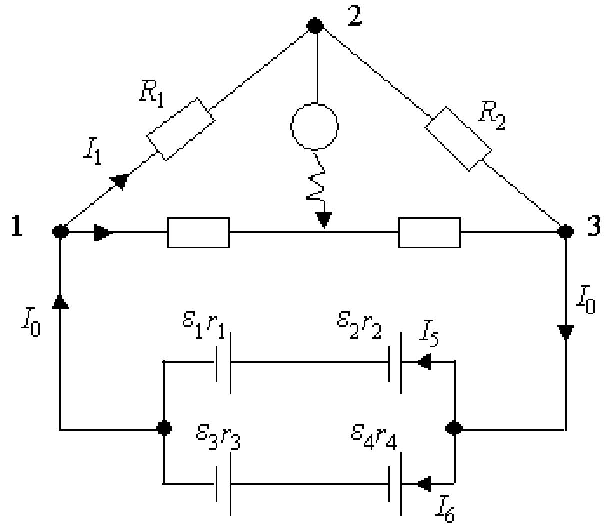


Рисунок 3

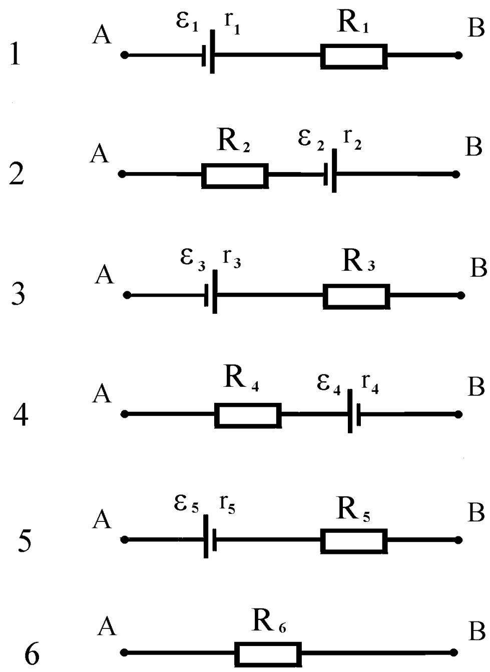


Рисунок 4

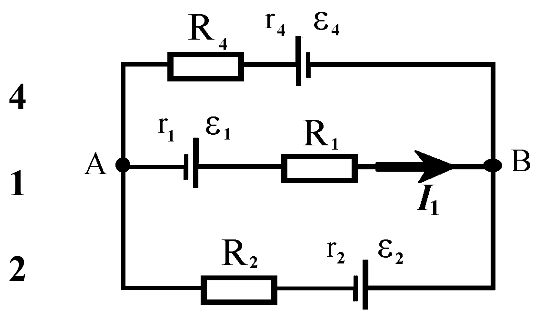


Рисунок. 4,а

СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1 Викулин И.М. Электрофизика: Метод. указания для самост. работы студ. по курсу физики. – Одесса: УГАС, 1996.
2 Викулин И.М. Методические указания для самостоятельной работы студентов по курсу физики. Разд. "Электричество". – Одесса: Изд. ОЭИС, 1988.
3 Викулин И.М. Методические указания для самостоятельной работы студентов по курсу физики. Разд. "Электромагнетизм". – Одесса: Изд. ОЭИС, 1989.
4 Трофимова Т.И. Курс физики. – М.: Высшая школа, 1990.
5 Детлаф А.А., Яворский Б.М. Курс физики. – М.: Высшая школа, 1989.
6 Савельев Н.В. Курс общей физики. – М.: Наука, 1997 … 1979. – 3 т.
7 Калашников С.Г. Электричество. – М.: Наука, 1985.
8 Чертов А.Г. Задачник по физике. – М.: Высшая школа, 1981.
9 Волькенштейн В.С. Сборник задач по курсу физики. – М.: Наука, 1979.

ЗМІСТ

Навчально-методичне видання

ЕЛЕКТРИКА

Методичні вказівки та комплексне завдання
до модуля 1 з фізики

Укладачі: доц. **В. Е. Горбачов**, проф. **В. І. Ірха**, викл. **О. А. Назаренко**
Комп'ютерний набор: **Д. І. Сініна**

Редактор І. В. Ращупкіна
Комп'ютерне макетування Ж.А. Гардиман