

## 3.4. Задачі для самостійної роботи

### Потенційна енергія і потенціал поля точкових зарядів

**3.1.** Точковий заряд  $Q = 10$  нКл, знаходиться в деякій точці поля, має потенціальну енергію  $\Pi = 10$  мкДж. Знайти потенціал  $\phi$  цієї точки поля.

**3.2.** Під час переміщення заряду  $Q = 20$  нКл між двома точками поля зовнішніми силами здійснено роботу  $A = 4$  мкДж. Визначити роботу  $A_1$  сил поля і різницю  $\Delta\phi$  потенціалів цих точок.

**3.3.** Електричне поле створено точковим додатним зарядом  $Q_1 = 6$  нКл. Додатний заряд  $Q_2$  переноситься з точки  $A$  цього поля в точку  $B$  (рис. 3.5). Яка зміна потенціальної енергії  $\Delta\Pi$ , яка припадає на одиницю заряду, що переноситься, якщо  $r_1 = 20$  см і  $r_2 = 50$  см?

**3.4.** Електричне поле створено точковим позитивним зарядом  $Q_1 = 50$  нКл. Не користуючись поняттям потенціалу, визначити роботу  $A$  зовнішніх сил з переміщення точкового заряду  $Q_2 = -2$  нКл з точки  $C$  в точку  $B$  (рис. 3.6), якщо  $r_1 = 10$  см,  $r_2 = 20$  см. Також визначити зміну  $\Delta\Pi$  потенціальної енергії системи зарядів.

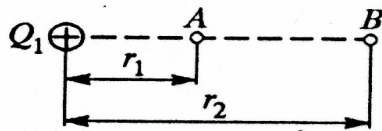


Рис. 3.5

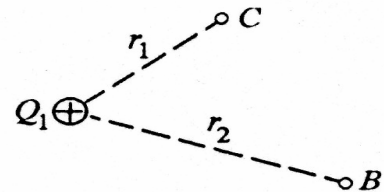


Рис. 3.6

**3.5.** Поле створено точковим зарядом  $Q = 1$  нКл. Визначити потенціал  $\phi$  поля в точці, віддаленій від заряду на відстань  $r = 20$  см.

**3.6.** Визначити потенціал  $\phi$  електричного поля в точці, віддаленій від зарядів  $Q_1 = -0,2$  мкКл і  $Q_2 = 0,5$  мкКл відповідно на  $r_1 = 15$  см і  $r_2 = 25$  см. Також визначити мінімальну та максимальну відстані між зарядами, за яких можливий розв'язок.

**3.7.** Заряди  $Q_1 = 1$  мкКл і  $Q_2 = -1$  мкКл знаходяться на відстані  $d = 10$  см. Визначити напруженість  $E$  і потенціал  $\phi$  поля в точці, віддаленій на відстань  $r = 10$  см від першого заряду, яка лежить на лінії, що проходить через перший заряд перпендикулярно до напрямку від  $Q_1$  до  $Q_2$ .

**3.8.** Визначити потенціальну енергію  $\Pi$  системи двох точкових зарядів  $Q_1 = 100$  нКл і  $Q_2 = 10$  нКл, що знаходяться на відстані  $d = 10$  см один від одного.

**3.9.** Знайти потенціальну енергію системи трьох точкових зарядів  $Q_1 = 10$  нКл,  $Q_2 = 20$  нКл і  $Q_3 = -30$  нКл, розміщених у вершинах правильного трикутника зі стороною  $a = 10$  см.

**3.10.** Яка потенціальна енергія  $\Pi$  системи чотирьох однакових точкових зарядів  $Q = 10$  нКл, що знаходяться у вершинах квадрата зі стороною  $a = 10$  см?

**3.11.** Поле створено двома точковими зарядами  $+2Q$  і  $-Q$ , що знаходяться на відстані  $d = 12$  см один від одного. Визначити геометричне місце точок на площині, для яких потенціал дорівнює нулю (написати рівняння лінії нульового потенціалу).

### Потенціал поля лінійно розподілених зарядів

**3.12.** На тонкому стрижні довжиною  $l = 10$  см рівномірно розподілений заряд  $Q = 1$  нКл. Визначити потенціал  $\phi$  електричного поля в точці, що лежить на осі стрижня на відстані  $a = 20$  см від найближчого його кінця.

**3.13.** По тонкому колу радіусом  $R = 10$  см рівномірно розподілений заряд з лінійною густиною  $\tau = 10$  нКл/м. Визначити потенціал  $\phi$  в точці, що лежить на осі кола, на відстані  $a = 5$  см від центра.

**3.14.** На нескінченно довгій тонкій прямій нитці рівномірно розподілений по довжині заряд, лінійна густина якого  $\tau = 0,01$  мкКл/м. Визначити різницю потенціалів  $\Delta\phi$  двох точок поля, віддалених від нитки на  $r_1 = 2$  см і  $r_2 = 4$  см.

**3.15.** Тонкі стрижні утворюють квадрат зі стороною  $a$ . Стрижні заряджені з лінійною густиною  $\tau = 1,33$  нКл/м. Знайти потенціал  $\phi$  в центрі квадрата.

### Потенціал поля зарядів, розподілених по поверхні

**3.16.** Металева кулька діаметром  $d = 2$  см негативно заряджена до потенціалу  $\phi = 150$  В. Скільки електронів знаходиться на поверхні кульки?

**3.17.** Сто однакових краплинок ртуті, заряджених до потенціалу

$\varphi = 20$  В, зливаються в одну велику краплю. Який потенціал  $\varphi_1$  утвореної краплини?

**3.18.** Заряд рівномірно розподілений по нескінченній площині з поверхневою густиною  $\sigma = 10$  нКл/м<sup>2</sup>. Визначити різницю потенціалів  $\Delta\varphi$  двох точок, одна з яких знаходиться на площині, а інша віддалена від площини на відстань  $d = 10$  см.

**3.19.** Дві нескінченні паралельні площини знаходяться на відстані  $d = 0,5$  см одна від одної. На площинах рівномірно розподілені заряди з поверхневою густиною  $\sigma_1 = 0,2$  мкКл/м<sup>2</sup> та  $\sigma_2 = -0,3$  мкКл/м<sup>2</sup>. Визначити різницю потенціалів  $U$  між площинами.

**3.20.** На тонкій круглій пластині рівномірно розподілений по площині заряд  $Q = 1$  нКл. Радіус  $R$  пластини дорівнює 5 см. Визначити потенціал  $\varphi$  електричного поля в двох точках: а) в центрі пластини; б) в точці, що лежить на осі, перпендикулярній до площини пластини й віддаленій від центра пластини на  $a = 5$  см.

**3.21.** Маємо дві концентричні металеві сфери, радіуси яких  $R_1 = 3$  см і  $R_2 = 6$  см. Простір між сферами заповнено парафіном. Заряд  $Q_1$  внутрішньої сфери дорівнює  $-1$  нКл, зовнішній  $Q_2 = 2$  нКл. Знайти потенціал  $\varphi$  електричного поля на відстані: а)  $r_1 = 1$  см; б)  $r_2 = 5$  см; в)  $r_3 = 9$  см.

**3.22.** Визначити потенціал  $\varphi$ , до якого можна зарядити відокремлену металеву кулю радіусом  $R = 10$  см, якщо напруженість  $E$  поля, за якої відбувається пробій повітря, дорівнює 3 МВ/м. Визначити різницю потенціалів  $U$  між площинами.

### Потенціал поля зарядів, розподілених по об'єму

**3.23.** Плоску скляну пластину товщиною  $d = 2$  см заряджено рівномірно з об'ємною густиною  $\rho = 10$  нКл/м<sup>3</sup>. Знайти різницю потенціалів  $\Delta\varphi$  між точкою на поверхні пластини і точкою, що знаходиться всередині пластини. Вважати, що розміри пластини значно перевищують її товщину.

**3.24.** Ебонітова, порожня всередині, куля заряджена рівномірно з об'ємною густиною  $\rho = 2$  нКл/м<sup>3</sup>. Внутрішній радіус кулі  $R_1 = 3$  см, зовнішній  $R_2 = 6$  см. Знайти потенціал  $\varphi$  електричного поля в точках: 1) на зовнішній поверхні кулі; 2) на внутрішній поверхні кулі; 3) в центрі кулі.

**3.25.** Суцільна парафінова куля радіусом  $R = 10$  см рівномірно заряджена з об'ємною густиною  $\rho = 1$  нКл/м<sup>3</sup>. Знайти потенціал  $\varphi$  електричного поля в центрі кулі та на його поверхні. Побудувати графік залежності  $\varphi(r)$ .

**3.26.** Потенціал поля в деякій області простору залежить лише від координати  $x$ , як  $\varphi = -ax^3 + b$ , де  $a$  та  $b$  – сталі. Знайти розподіл об'ємного заряду  $\rho(x)$ .

## 4.4. Задачі для самостійної роботи

### Гرادієнт потенціалу та його зв'язок із напруженістю поля

**4.1.** Нескінченна площина рівномірно заряджена з поверхневою густиною  $\sigma = 4$  нКл/м<sup>2</sup>. Визначити значення і напрямок градієнта потенціалу електричного поля, створеного цією площиною.

**4.2.** Напруженість  $E$  однорідного електричного поля в деякій точці дорівнює 600 В/м. Визначити різницю потенціалів  $U$  між цією точкою та іншою, що лежить на прямій, яка утворює кут  $\alpha = 60^\circ$  з напрямком вектора напруженості. Відстань  $\Delta r$  між точками дорівнює 2 мм.

**4.3.** Напруженість  $E$  однорідного електричного поля дорівнює 120 В/м. Визначити різницю потенціалів  $U$  між цією точкою та іншою, що лежить на тій самій силовій лінії й віддалена від першої на  $\Delta r = 1$  мм.

**4.4.** Електричне поле створено позитивним точковим зарядом. Потенціал  $\varphi$  поля в точці, віддаленій від заряду на  $r = 12$  см, дорівнює 24 В. Визначити значення і напрямок градієнта потенціалу в цій точці.

**4.5.** Нескінченна пряма тонка нитка рівномірно заряджена з густиною  $\tau = 1$  нКл/м. Знайти градієнт потенціалу в точці, віддаленій на відстань  $r = 10$  см від нитки і вказати його напрямок.

**4.6.** Суцільна куля з діелектрика ( $\varepsilon = 3$ ) радіусом  $R = 10$  см заряджена з об'ємною густиною  $\rho = 50$  нКл/м<sup>3</sup>. Напруженість електричного поля в середині й на поверхні такої кулі визначається

за формулою  $E = \frac{\rho}{3\epsilon_0\epsilon} r$ , де  $r$  – відстань від центра кулі до точки, в

якій розраховується напруженість поля. Визначити різницю потенціалів  $\Delta\phi$  між центром кулі та точками, що лежать на її поверхні.

**4.7.** По круглій дуже тонкій пластині, радіусом  $r = 0,1$  м рівномірно розподілено заряд  $q = 1$  мкКл. Приймаючи вісь пластинки за вісь  $Y$ , знайти: а)  $\phi$ ,  $E$  для точок, що лежать на осі, як функції  $y$ ; дослідити отримані вирази  $y \ll r$ ; б) знайти  $\phi$ ,  $E$  в точці  $y_1 = 100$  мм.

**4.8.** По області  $V$  розподілений заряд густиною  $\rho = \rho(r)$ . Написати вираз для потенціалу  $\phi$  та напруженості поля  $E$  в точці, що виражена радіусом-вектором  $\vec{r}'$ .

**4.9.** Знайти напруженість електричного поля, потенціал якого має вигляд  $\phi = \vec{a} \cdot \vec{r}$ , де  $\vec{a}$  – сталий вектор,  $\vec{r}$  – радіус-вектор точки поля.

**4.10.** Знайти напруженість електричного поля, потенціал якого залежить від координати  $x$ ,  $y$  за законом: а)  $\phi = a(x^2 - y^2)$ ; б)  $\phi = axy$ , де  $a$  – стала. Зобразити приблизний вигляд цих полів за допомогою вектора  $\vec{E}$  (у площині  $xy$ ).

**4.11.** Знайти потенціали таких електростатичних полів: а)  $\vec{E} = a(y\vec{i} + x\vec{j})$ ; б)  $\vec{E} = 2axy\vec{i} + a(x^2 - y^2)\vec{j}$ ; в)  $\vec{E} = ay\vec{i} + (ax + bz)\vec{j} + by\vec{k}$ , де  $a$  та  $b$  – сталі;  $\vec{i}$ ,  $\vec{j}$ ,  $\vec{k}$  – орти осей  $x$ ,  $y$ ,  $z$ .

### Робота з переміщення зарядів в електричному полі

**4.12.** Точкові заряди  $Q_1 = 1$  мкКл та  $Q_2 = 0,1$  мкКл знаходяться на відстані  $r_1 = 10$  см один від одного. Яку роботу  $A$  виконують сили поля, якщо другий заряд, відштовхуючись від першого, віддалиться від нього на відстань: а)  $r_2 = 10$  м; б)  $r_3 = \infty$ ?

**4.13.** Тонкий стрижень зігнуто у півколо. Стрижень заряджений з лінійною густиною  $\tau = 133$  нКл/м. Яку роботу  $A$  потрібно виконати, щоб перенести заряд  $Q = 6,7$  нКл з центра півкола у нескінченність?

**4.14.** Тонкий стрижень зігнуто в коло радіусом  $R = 10$  см. Він заряджений з лінійною густиною  $\tau = 300$  нКл/м. Яку роботу  $A$  потрібно виконати, щоб перенести заряд  $Q = 5$  нКл із центра кола в

точку, розміщену на осі кола на відстані  $\tau = 20$  см від його центра?

**4.15.** Дві безмежні площини, рівномірно заряджені з поверхневою густиною заряду  $\sigma = 0,2$  нКл/м<sup>2</sup>, перетинаються під кутом  $\alpha = 60^\circ$ . Накреслити картину екіпотенціальної поверхні та визначити роботу сил поля з переміщення заряду  $Q = 10$  нКл з точки  $A$  в точку  $B$  (рис. 4.8).

**4.16.** Навідрізьку прямого провідника рівномірно розподілено заряд з лінійною густиною  $\tau = 1$  мкКл/м. Визначити роботу  $A$  сил поля з переміщення заряду  $q = 1$  нКл з точки  $B$  в точку  $C$  (рис. 4.9).

**4.17.** Електричне поле створено двома однаковими позитивним точковими зарядами  $Q$ . Знайти роботу  $A_{1,2}$  сил поля з переміщення заряду  $Q_1 = 10$  нКл із точки 1 з потенціалом  $\varphi_1 = 300$  В у точку 2 (рис. 4.10).

**4.18.** Визначити роботу  $A_{1,2}$  з переміщення заряду  $Q_1 = 50$  нКл із точки 1 в точку 2 (рис. 4.11) у полі, що створене двома зарядами, модуль  $|Q|$  яких дорівнює 1 мкКл. Відстань  $a = 0,1$  м.

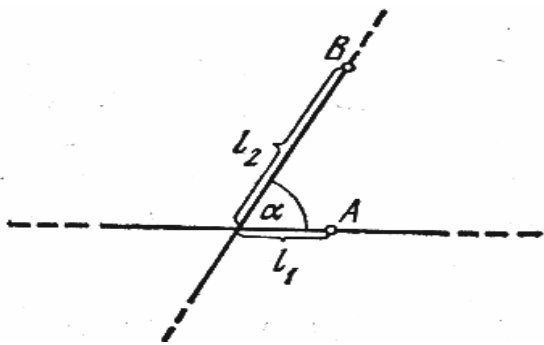


Рис. 4.8

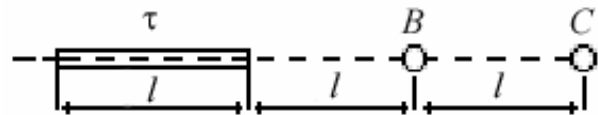


Рис. 4.9

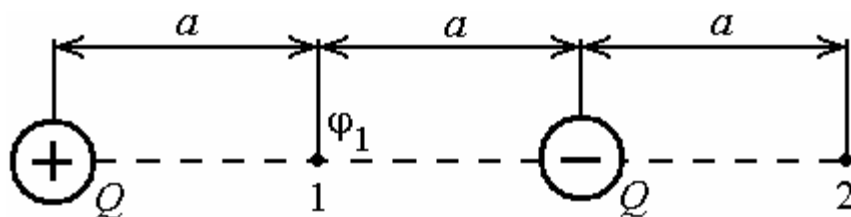


Рис. 4.10

**4.19.** Електричне поле створено рівномірно розподіленим по кільцю зарядом ( $\tau = 1$  мкКл/м). Визначити роботу  $A_{1,2}$  сил поля з переміщення заряду  $Q = 10$  нКл із точки 1 (в центрі кільця) в точку 2, що знаходиться на перпендикулярі до площини кільця (рис. 4.12).

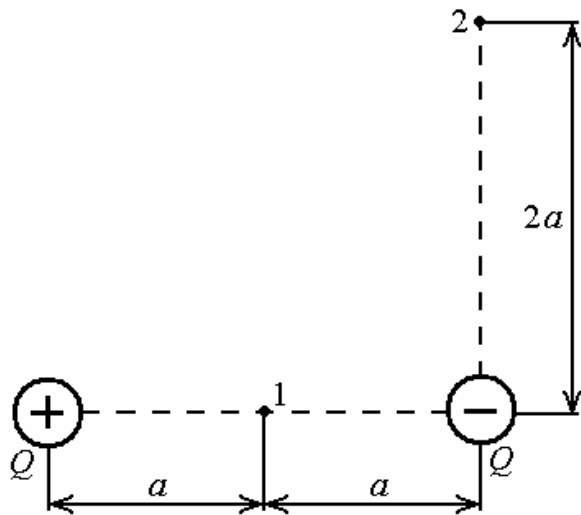


Рис. 4.11

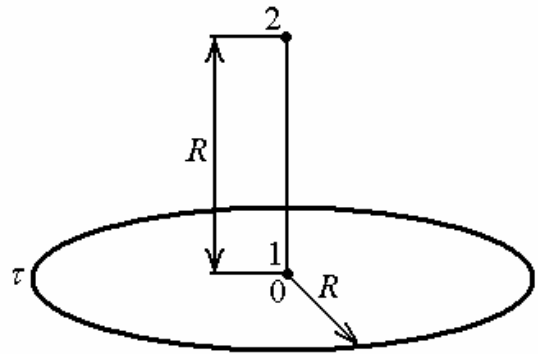


Рис. 4.12

### Рух заряджених частинок в електричному полі

**4.20.** Протон, початкова швидкість  $v_0$  якого дорівнює 100 км/с, улетів в однорідне електричне поле ( $E = 300$  В/см) так, що вектор швидкості збігся з напрямком ліній напруженості. Який шлях  $l$  має пройти протон у напрямку ліній поля, щоб його швидкість подвоїлась?

**4.21.** Нескінченну площину заряджено негативно з поверхневою густиною  $\sigma = 35,4$  нКл/м<sup>2</sup>. У напрямку силової лінії поля, створеного площиною, летить електрон. Визначити мінімальну відстань  $l_{\min}$ , на яку може підійти до площини електрон, якщо на відстані  $l_0 = 5$  см він мав кінетичну енергію  $T = 80$  еВ.

**4.22.** Електрон, що летів горизонтально із швидкістю  $v_0 = 1,6$  Мм/с, влітає в однорідне електричне поле з напруженістю  $E = 90$  В/см, яке напрямлене вертикально вгору. Якою буде за абсолютним значенням та напрямом швидкість електрона через 1 нс?

**4.23.** Уздовж силової лінії однорідного електричного поля рухається протон. У точці поля з потенціалом  $\phi_1$  протон мав швидкість  $v_1 = 0,1$  Мм/с. Визначити потенціал  $\phi_2$  точки поля, в якій швидкість протона зростає у  $n = 2$  рази. Відношення заряду протона до його маси становить  $e / m = 96$  МКл/кг.

**4.24.** В однорідне електричне поле напруженістю  $E = 1$  кВ/м влітає вздовж силової лінії електрон зі швидкістю  $v_0 = 1$  Мм/с.

Визначити відстань  $l$ , пройдену електроном до точки, у якій його швидкість  $v_1$  буде дорівнювати половині початкової.

**4.25.** Яку мінімальну швидкість  $v_{\min}$  повинен мати протон, щоб він зміг досягнути поверхні зарядженої до потенціалу  $\varphi = 400$  В металеві кулі. (рис. 4.13).

**4.26.** Електрон рухається вздовж силової лінії однорідного електричного поля. У деякій точці поля с потенціалом  $\varphi_1 = 100$  В електрон мав швидкість  $v_1 = 6$  Мм/с. Визначити потенціал  $\varphi_2$  точки поля, у якій швидкість  $v_2$  електрона буде дорівнювати  $0,5 v_1$ .

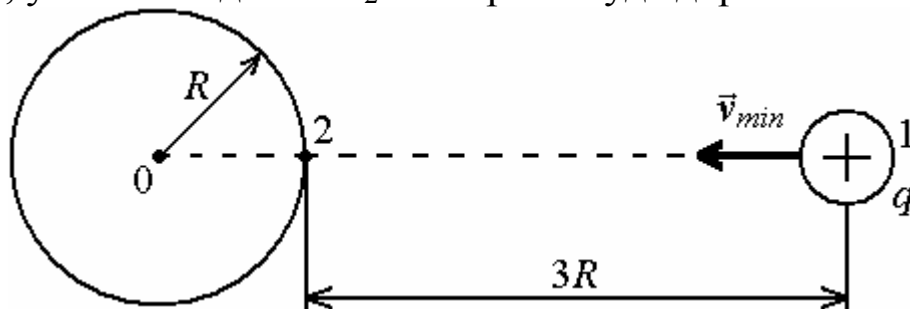


Рис. 4.13

**4.27.** Електрон з початковою швидкістю  $v_0 = 3$  Мм/с улетів в однорідне електричне поле напруженістю  $E = 150$  В/м. Вектор початкової швидкості перпендикулярний до ліній напруженості електричного поля. Знайти: 1) силу  $F$ , що діє на електрон; 2) прискорення  $a$ , якого набуває електрон; 3) швидкість  $v$  електрона через  $t = 0,1$  мкс.

**4.28.** Електрон влетів у простір між пластинами плоского конденсатора зі швидкістю  $v = 10$  Мм/с, напрямленою паралельно до пластин. На скільки наблизиться електрон до позитивно зарядженої пластини за час руху усередині конденсатора, якщо відстань  $d$  між пластинами дорівнює  $16$  мм, різниця потенціалів  $U = 30$  В і довжина  $l$  пластин становить  $6$  мм? Поле вважати однорідним.

**4.29.** Електрон влетів у плоский конденсатор зі швидкістю  $v_0 = 10$  Мм/с, напрямленою паралельно до пластин. У момент вильоту з конденсатора напрям швидкості електрона становив кут  $\alpha = 35^\circ$  з початковим напрямом швидкості. Визначити різницю потенціалів між пластинами (поле вважати однорідним), якщо довжина  $l$  пластин дорівнює  $10$  см і відстань  $d$  між ними дорівнює  $2$  см.



**4.30.** Електрон влетів у плоский конденсатор, знаходячись на однаковій відстані від кожної пластини та маючи при цьому швидкість  $v_0 = 10$  Мм/с, напрямлено паралельно до пластин, відстань  $d$  між якими дорівнює 2 см. Довжина  $l$  кожної пластини становить 10 см. Яку найменшу різницю потенціалів  $U$  необхідно прикласти до пластин, щоб електрон не вилетів з конденсатора?

**4.31.** Позитивно заряджена частинка, заряд якої дорівнює елементарному заряду  $e$ , під дією прискорювальної різниці потенціалів  $U = 60$  кВ летить на ядро атома літію, заряд якого дорівнює трьом елементарним зарядам. На яку найменшу відстань  $r_{\min}$  частинка може наблизитися до ядра? Початкову відстань частинки від ядра можна вважати майже нескінченно великою, а масу частинки – малою порівняно з масою ядра.

**4.32.** Два електрони, що знаходяться на великій відстані один від одного, наближаються з відносною початковою швидкістю  $v = 10$  Мм/с. Визначити мінімальну відстань  $r_{\min}$ , на яку вони можуть підійти один до одного.

**4.33.** Дві однойменні заряджені частинки із зарядами  $Q_1$  та  $Q_2$  наближаються з великої відстані. Вектори швидкостей  $\vec{n}_1$  та  $\vec{n}_2$  частинок лежать на одній прямій. Визначити мінімальну відстань  $r_{\min}$ , на яку ці частинки можуть наблизитись одна до одної, якщо їх маси відповідно дорівнюють  $m_1$  та  $m_2$ . Розглянути два випадки: 1)  $m_1 = m_2$  та 2)  $m_2 \gg m_1$ .

**4.34.** Відношення мас двох заряджених частинок дорівнює  $k = m_1 / m_2$ . Частинки знаходяться на відстані  $r_0$  одна від одної. Яку кінетичну енергію  $T_1$  буде мати частинка масою  $m_1$ , якщо вона під дією сили взаємодії з іншою частинкою віддалиться від неї на відстань  $r \gg r_0$ . Розглянути три випадки: 1)  $k = 1$ ; 2)  $k = 0$ ; 3)  $k \rightarrow \infty$ . Заряди частинок брати рівними  $Q_1$  та  $Q_2$ . Початковими швидкостями частинок знехтувати.

## 6.4. Задачі для самостійної роботи

### Електроємність конденсаторів

**6.1.** На пластинах плоского конденсатора рівномірно розподілений заряд з поверхневою густиною  $\sigma = 0,2 \text{ мкКл/м}^2$ . Відстань  $d$  між пластинами дорівнює 1 мм. На скільки зміниться різниця потенціалів на його обкладках зі збільшенням відстані між пластинами до 3 мм?

**6.2.** Між пластинами плоского конденсатора, зарядженого до різниці потенціалів  $U = 600 \text{ В}$ , знаходиться два шари діелектриків: скла товщиною  $d_1 = 7 \text{ мм}$  та ебоніту товщиною  $d_2 = 3 \text{ мм}$ . Площа  $S$  кожної пластини конденсатора дорівнює  $200 \text{ см}^2$ . Знайти: а) електроємність  $C$  конденсатора; б) зміщення  $D$ , напруженість  $E$  поля та падіння потенціалу  $\Delta\phi$  у кожному шарі.

**6.3.** Між пластинами конденсатора вставили плитку парафіну товщиною  $d = 1 \text{ см}$ , яка щільно прилягає до його пластин. На скільки потрібно збільшити відстань між пластинами, щоб отримати попередню ємність.

**6.4.** Відстань  $d$  між пластинам плоского конденсатора дорівнює 1,33 мм, площа  $S$  пластин дорівнює  $20 \text{ см}^2$ . У просторі між пластинами конденсатора знаходяться два шари діелектрика: слюди товщиною  $d_1 = 0,7 \text{ мм}$  і ебоніту товщиною  $d_2 = 0,3 \text{ мм}$ . Визначити електроємність  $C$  конденсатора.

**6.5.** Електроємність  $C$  плоского конденсатора дорівнює  $1,5 \text{ мкФ}$ . Відстань  $d$  між пластинами становить 5 мм. Якою буде електроємність  $C$  конденсатора, якщо на нижню пластину покласти лист ебоніту товщиною  $d_1 = 3 \text{ мм}$ ?

**6.6.** Між пластинами плоского конденсатора знаходиться щільно прилягаюча скляна пластинка. Конденсатор заряджений до різниці потенціалів  $U_1 = 100 \text{ В}$ . Якою буде різниця потенціалів  $U_2$ , якщо вийняти скляну пластинку з конденсатора?

**6.7.** Дві концентричні металеві сфери радіусами  $R_1 = 2 \text{ см}$  і  $R_2 = 2,1 \text{ см}$  утворюють сферичний конденсатор. Визначити його ємність  $C$ , якщо простір між сферами заповнено парафіном.

**6.8.** Конденсатор складається з двох концентричних сфер. Радіус  $R_1$  внутрішньої сфери дорівнює 10 см, зовнішньої –  $R_2 = 10,2$  см. Проміжок між сферами заповнений парафіном. Внутрішній сфері надали заряд  $Q = 5$  мкКл. Визначити різницю потенціалів  $U$  між сферами.

**6.9.** Конденсатор типу КД виготовлений з низькочастотної кераміки у вигляді диска, на обидва боки якого нанесено електроди. Конденсатор М 750 має ємність  $C = 6800$  пФ, діаметр диска  $D = 13,5$  мм, товщину  $d = 0,6$  мм. Визначити діелектричну проникність діелектрика.

**6.10.** У конденсаторах типу КТ діелектриком є конденсаторна кераміка у вигляді трубки середнього діаметра  $D$  і довжини  $l$ . Визначити діелектричну проникність для конденсатора КТ-2, якщо його ємність  $C = 30$  пФ,  $D = 3,5$  мм,  $l = 7$  мм, а товщина трубки  $d = 0,3$  мм.

**6.11.** Коаксіальний радіочастотний кабель (РК-75-4-12) складається з центрального дроту і концентричної відносно нього циліндричної оболонки (екрана), між якими знаходиться ізоляція з поліетилену. Знайти ємність одиниці довжини такого кабелю (мкФ/м), якщо діаметр проводу  $d = 1,2$  мм, а діаметр екрана  $D = 4,6$  мм.

### З'єднання конденсаторів

**6.12.** Два конденсатори електроємністю  $C_1 = 3$  мкФ і  $C_2 = 6$  мкФ з'єднані між собою та приєднані до ЕРС  $\mathcal{E} = 120$  В. Визначити заряди  $Q_1$  і  $Q_2$  конденсаторів та різницю потенціалів  $U_1$  і  $U_2$  між їх обкладками, якщо конденсатори з'єднані: а) паралельно; б) послідовно.

**6.13.** Конденсатор електроємністю  $C_1 = 0,6$  мкФ був заряджений до різниці потенціалів  $U_1 = 300$  В. Його з'єднали з іншим конденсатором електроємністю  $C_2 = 0,4$  мкФ, зарядженим до різниці потенціалів  $U_2 = 150$  В. Знайти заряд  $\Delta Q$ , що перетік з пластини першого конденсатора на другий.

**6.14.** Три однакові плоскі конденсатори з'єднані послідовно. Електроємність  $C$  такої батареї конденсаторів дорівнює 89 пФ.

Площа  $S$  кожної пластини дорівнює  $100 \text{ см}^2$ . Діелектрик – скло. Яка товщина  $d$  діелектрика?

**6.15.** Конденсатор електроємністю  $C_1 = 0,2 \text{ мкФ}$  був заряджений до різниці потенціалів  $U_1 = 320 \text{ В}$ . Після того як його з'єднали з іншим конденсатором, зарядженим до різниці потенціалів  $U_2 = 450 \text{ В}$ , напруга на ньому змінилася до  $400 \text{ В}$ . Визначити ємність  $C_2$  другого конденсатора.

**6.16.** Конденсатори електроємністю  $C_1 = 10 \text{ нФ}$ ,  $C_2 = 40 \text{ нФ}$ ,  $C_3 = 2 \text{ нФ}$  і  $C_4 = 30 \text{ нФ}$  з'єднані так, як це показано на рис. 6.3. Визначити електроємність  $C$  батареї конденсаторів.

**6.17.** Конденсатори з'єднали так, як це зображено на рис. 6.4. Електроємності конденсаторів:  $C_1 = 0,2 \text{ мкФ}$ ,  $C_2 = 0,6 \text{ мкФ}$ ,  $C_3 = 0,3 \text{ мкФ}$ ,  $C_4 = 0,5 \text{ мкФ}$ . Визначити електроємність  $C$  батареї конденсаторів.

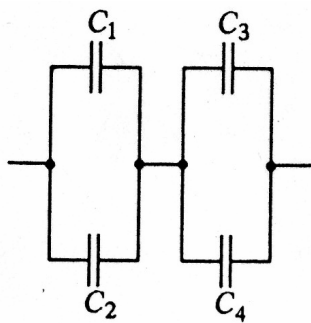


Рис. 6.3

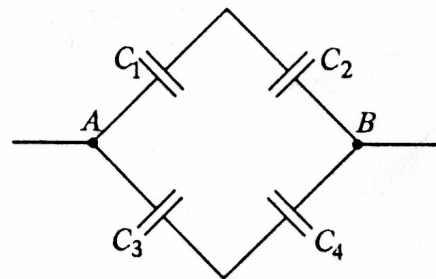


Рис. 6.4

**6.18.** До повітряного конденсатора, зарядженого до різниці потенціалів  $U = 600 \text{ В}$  й від'єданого від джерела живлення, приєднали паралельно другий незаряджений конденсатор такої ж форми й розміру, але з діелектриком (фарфор). Визначити діелектричну проникність  $\epsilon$  фарфору, якщо після приєднання другого конденсатора різниця потенціалів зменшилась до  $U_1 = 100 \text{ В}$ .

**6.19.** Конденсатори електроємністю  $C_1 = 2 \text{ мкФ}$ ,  $C_2 = 2 \text{ мкФ}$ ,  $C_3 = 3 \text{ мкФ}$ ,  $C_4 = 1 \text{ мкФ}$  з'єднані так, як це показано на рис. 6.5. Різниця потенціалів на обкладках четвертого конденсатора  $U_4 = 100 \text{ В}$ . Знайти заряди та різниці потенціалів на обкладках кожного конденсатора, а також загальний заряд та різницю потенціалів батареї конденсаторів.

**6.20.** П'ять різних конденсаторів з'єднали за схемою (рис. 6.6). Визначити електроємність  $C_4$ , за якої електроємність усього з'єднання не залежить від величини електроємності  $C_5$ . Вважати  $C_1 = 8$  пФ,  $C_2 = 12$  пФ,  $C_3 = 6$  пФ.

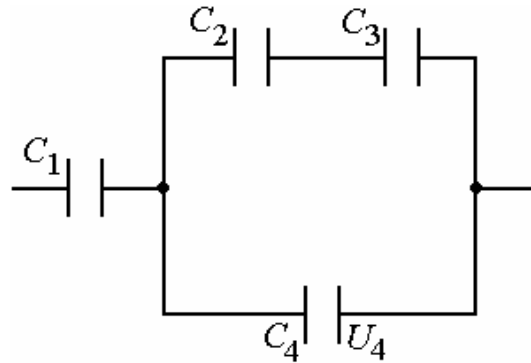


Рис. 6.5

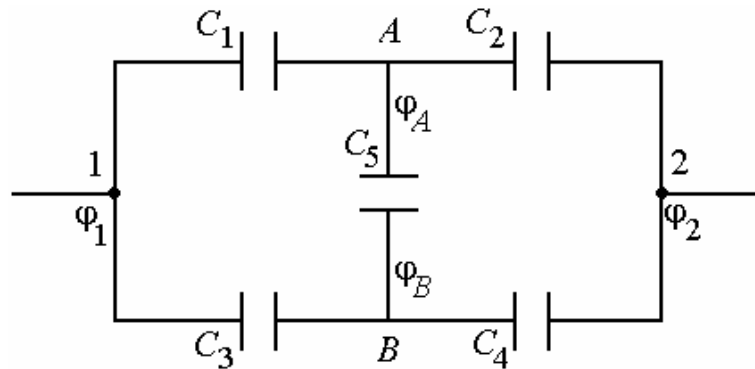


Рис. 6.6

### Енергія поля плоского конденсатора

**6.21.** Відстань  $d$  між пластинами плоского конденсатора дорівнює 2 см, різниця потенціалів  $U = 6$  кВ. Заряд  $Q$  кожної пластини дорівнює 10 нКл. Обчислити енергію  $W$  поля конденсатора та силу  $F$  взаємного протягування пластин.

**6.22.** Яка кількість теплоти  $Q$  виділиться під час розряду плоского конденсатора, якщо різниця потенціалів  $U$  між пластинами дорівнює 15 кВ, відстань  $d = 1$  мм, діелектрик – слюда. Площа кожної пластини становить  $300$  см<sup>2</sup>?

**6.23.** Сила  $F$  притягання між пластинами плоского повітряного конденсатора дорівнює 50 мН. Площа  $S$  кожної пластини дорівнює  $200$  см<sup>2</sup>. Знайти густину енергії  $w$  поля конденсатора.

**6.24.** Плоский повітряний конденсатор складається з двох круглих пластин радіусами  $r = 10$  см кожна. Відстань  $d_1$  між

пластинами дорівнює 1 см. Конденсатор зарядили до різниці потенціалів  $U = 1,2$  кВ і від'єднали від джерела струму. Яку роботу  $A$  необхідно виконати, щоб, віддаляючи пластини одну від одної, збільшити відстань між ними до  $d_2 = 3,5$  см?

**6.25.** Плоский повітряний конденсатор електроємністю  $C = 1,11$  нФ заряджений до різниці потенціалів  $U = 300$  В. Після відключення від джерела струму відстань між пластинами конденсатора була збільшена в 5 разів. Визначити: 1) різницю потенціалів  $U'$  на обкладках конденсатора після їх розсування; 2) роботу  $A$  зовнішніх сил із розсування пластин.

**6.26.** Конденсатор електроємністю  $C_1 = 666$  пФ зарядили до різниці потенціалів  $U = 1,5$  кВ й від'єднали від джерела струму. Потім до конденсатора приєднали паралельно другий, незаряджений конденсатор електроємністю  $C_2 = 444$  пФ. Визначити енергію, витрачену на утворення іскри, що проскочила під час з'єднання конденсаторів.

**6.27.** Конденсатори електроємностями  $C_1 = 1$  мкФ,  $C_2 = 2$  мкФ,  $C_3 = 3$  мкФ увімкнено в коло з напругою  $U = 1,1$  кВ. Визначити енергію кожного конденсатора у випадках: 1) послідовного і 2) паралельного приєднання.

**6.28.** Електроємність  $C$  плоского конденсатора дорівнює 111 пФ. Діелектрик – кераміка. Конденсатор зарядили до різниці потенціалів  $U = 600$  В і від'єднали від джерела напруги. Яку роботу  $A$  треба виконати, щоб витягнути діелектрик з конденсатора? Тертям знехтувати.

**6.29.** Простір між пластинами плоского конденсатора заповнений діелектриком (кераміка), об'єм  $V$  якого дорівнює  $100$  см<sup>3</sup>. Поверхнева густина заряду  $\sigma$  на пластинах конденсатора дорівнює  $8,85$  нКл/м<sup>2</sup>. Знайти роботу  $A$ , яку треба здійснити для того, щоб видалити діелектрик з конденсатора. Тертям діелектрика до пластин конденсатора знехтувати.

**6.30.** Пластину з ебоніту товщиною  $d = 2$  мм і площею  $S = 300$  см<sup>2</sup> помістили в однорідне електричне поле напруженістю  $E = 1$  кВ/м, розмістивши так, що силові лінії перпендикулярні до її плоскої поверхні. Знайти: 1) густину  $\sigma'$  зв'язаних зарядів на поверхні пластини; 2) енергію  $W$  електричного поля, зосереджену в пластині.

**6.31.** Пластину попередньої задачі перемістили в область простору, де зовнішнього поля немає. Нехтуючи зменшенням поля в діелектрику з плином часу, знайти енергію  $W$  електричного поля в пластині.

**6.32.** Визначити роботу, яку треба виконати для збільшення на  $\Delta x = 0,2$  мм відстані  $x$  між пластинами плоского конденсатора, зарядженими різнойменними зарядами  $q = 0,2$  мкКл. Площа кожної пластини  $S = 400$  см<sup>2</sup>. Між пластинами знаходиться повітря.

**6.33.** Зазор між обкладками плоского конденсатора заповнюється діелектриком з проникністю  $\epsilon$ . Що відбувається при цьому з густиною енергії  $w$  поля в зазорі, якщо конденсатор: а) приєднаний до джерела напруги; б) від'єднаний від джерела напруги?

**6.34.** Плоский конденсатор, відстань між пластинами якого  $d = 1$  мм, опустили в горизонтальному положенні у воду, що повністю заповнила його. Після цього конденсатор приєднали до джерела постійної напруги  $U = 500$  В. Знайти приріст тиску води в конденсаторі.

**6.35.** Плоский конденсатор розміщено так, що одна його пластина знаходиться над поверхнею рідини, інша – під поверхнею. Діелектрична проникність рідини  $\epsilon$ , її густина  $\rho$ . На яку висоту підніметься рівень рідини в конденсаторі після надання його пластинам заряду з поверхневою густиною  $\sigma$ ?

### Енергія поля зарядженої сфери (кулі)

**6.36.** Металеву сферу електроємністю  $C = 10$  пФ заряджено до потенціалу  $\phi = 3$  кВ. Знайти енергію  $W$  поля, розміщеного в сферичному шарі, обмеженому сферою і концентричною до неї сферичною поверхнею, радіус якої в три рази більший від радіуса сфери.

**6.37.** Електричне поле створено зарядженою ( $Q = 0,1$  мкКл) сферою радіусом  $R = 10$  см. Яка енергія  $W$  поля, зосередженому в об'ємі, обмеженому сферою і концентричною до неї сферичною поверхнею, радіус якої в два рази більший від радіуса сфери?

**6.38.** Металева куля радіусом  $R_1 = 6$  см містить заряд  $Q$ . Концентрична поверхня цієї кулі поділяє простір на дві частини (внутрішня – обмежена і зовнішня – нескінченна) так, що енергії електричного поля обох частин однакові. Знайти радіус  $R_2$  цієї сферичної поверхні.

**6.39.**Суцільна парафінова куля радіусом  $R = 10$  см заряджена рівномірно по об'єму з об'ємною густиною  $\rho = 10$  нКл/м<sup>3</sup>. Знайти енергію  $W_1$  електричного поля, зосереджену в самій кулі й енергію  $W_2$  ззовні неї.

**6.40.** Ебонітову куля рівномірно заряджена по об'єму. У скільки разів енергія електростатичного поля ззовні кулі перевищує енергію поля, зосереджену в кулі.

**6.41.**Заряд  $q = 10^{-10}$  Кл рівномірно розподілений по поверхні кулі радіусом  $r = 1$  см. Діелектрична проникність, що оточує кулю середовища  $\varepsilon = 1$ : а) обчислити енергію  $W$  поля, пов'язаного з кулею; б) яка частина  $\eta$  цієї енергії міститься в межах концентричної з кулею уявною сферою радіусом  $R = 1$  м? в) чому дорівнює радіус сфери в межах якої міститься половина енергії?

**6.42.** Спочатку заряд  $q = 10^{-10}$  Кл розподіляється рівномірно по об'єму кулі радіусом  $r = 1$  см. Потім в наслідок взаємного відштовхування заряди переходять на поверхню кулі. Яку роботу  $A$  виконають при цьому електричні сили над зарядами ( $\varepsilon = 1$ )?

**6.43.**Точковий заряд  $q = 3$  мкКл розміщується в центрі сферичного шару з однорідного та ізотропного діелектрика ( $\varepsilon = 3$ ). Внутрішній радіус шару  $a = 250$  мм, зовнішній  $b = 500$  мм. Знайти енергію  $W$ , що міститься в межах діелектрика.

**6.44.**Система складається з двох концентричних металевих оболонок з радіусами  $R_1, R_2$  та відповідними зарядами  $q_1$  та  $q_2$ . Знайти власну енергію  $W_1$  та  $W_2$  кожної оболонки, енергію взаємодії  $W_{12}$  оболонок та повну електричну енергію  $W$  системи.

**6.45.**Сферичну оболонку радіусом  $R_1$ , рівномірно заряджену зарядом  $q$ , розширили до радіуса  $R_2$ . Знайти роботу, здійснену при цьому електричними силами.

**6.46.**В циліндричний конденсатор вводять довгий циліндричний шар діелектрика з діелектричною проникністю  $\varepsilon$ , що заповнює майже весь зазор між обкладинками. Середній радіус обкладок  $R$ , зазор між ними  $d$ , причому  $d \ll R$ . Обкладки конденсатора підключені до джерела постійної напруги  $U$ . Знайти модуль електричної сили, що втягує діелектрик у конденсатор.



# Таблиці варіантів\* домашніх завдань

*Таблиця 1*

## Закон Кулона. Взаємодія заряджених тіл

Варіант	Номер задач			
0	1.1	1.18	1.22	1.29
1	1.2	1.17	1.20	1.25
2	1.3	1.16	1.19	1.26
3	1.4	1.15	1.23	1.21
4	1.5	1.14	1.24	1.28
5	1.6	1.13	1.19	1.27
6	1.7	1.12	1.20	1.26
7	1.8	1.11	1.22	1.25
8	1.9	1.18	1.23	1.29
9	1.10	1.17	1.20	1.26

*Таблиця 2*

## Напруженість електричного поля. Електричне зміщення

Варіант	Номер задач				
0	2.1	2.18	2.24	2.33	2.49
1	2.2	2.17	2.25	2.34	2.48
2	2.3	2.16	2.26	2.35	2.50
3	2.4	2.15	2.27	2.36	2.51
4	2.5	2.14	2.28	2.37	2.52
5	2.6	2.13	2.29	2.38	2.53
6	2.7	2.12	2.31	2.39	2.54
7	2.8	2.11	2.22	2.40	2.55
8	2.9	2.10	2.23	2.35	2.56
9	2.1	2.17	2.32	2.34	2.57

\* Номер варіанта – це номер останньої цифри залікової книжки студента

**Таблиця 3**

**Потенціал. Енергія системи електричних зарядів. Градієнт потенціалу. Робота з переміщення електричного заряду. Рух заряджених частинок в електричному полі**

Варіант	Номер задач				
0	3.1	3.15	3.23	4.12	4.20
1	3.2	3.14	3.24	4.13	4.21
2	3.3	3.13	3.25	4.14	4.22
3	3.4	3.12	3.26	4.15	4.23
4	3.5	3.21	4.10	4.16	4.24
5	3.6	3.20	4.9	4.17	4.25
6	3.7	3.19	4.8	4.18	4.26
7	3.8	3.18	4.7	4.19	4.27
8	3.9	3.17	4.6	4.17	4.28
9	3.10	3.16	4.5	4.18	4.29

**Таблиця 4**

**Електроємність, конденсатори. Енергія зарядженого провідника. Енергія електричного поля**

Варіант	Номер задач			
0	6.1	6.17	6.23	6.33
1	6.2	6.16	6.24	6.44
2	6.3	6.15	6.25	6.34
3	6.4	6.14	6.26	6.43
4	6.5	6.13	6.18	6.35
5	6.6	6.12	6.19	6.42
6	6.7	6.11	6.20	6.36
7	6.8	6.10	6.21	6.41
8	6.1	6.9	6.22	6.37
9	6.2	6.17	6.27	6.40

## Таблиця фізичних величин Префікси та множники для утворення кратних і часткових одиниць

Найменування	Позначення	Множник	Найменування	Позначення	Множник
Екса	Е	$10^{18}$	деци	д	$10^{-1}$
Пета	П	$10^{15}$	санти	с	$10^{-2}$
Тера	Т	$10^{12}$	мілі	м	$10^{-3}$
Гіга	Г	$10^9$	мікро	мк	$10^{-6}$
Мега	М	$10^6$	нано	н	$10^{-9}$
Кіло	к	$10^3$	піко	п	$10^{-12}$
Гекто	г	$10^2$	фемто	ф	$10^{-15}$
Дека	да	$10^1$	атто	а	$10^{-18}$

### Фундаментальні фізичні сталі

Назва	Позначення	Числове значення
Електрична стала	$\epsilon_0$	$8,854 \cdot 10^{-12} \text{ Ф} \cdot \text{м}^{-1}$
Гравітаційна стала	$G$	$6,672 \cdot 10^{-11} \text{ м}^3 \cdot \text{кг}^{-1} \cdot \text{с}^{-2}$
Елементарний заряд	$e$	$1,602 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$
Маса спокою електрона	$m_e$	$9,109 \cdot 10^{-31} \text{ кг}$
Маса спокою протона		
Маса спокою нейтрона	$m_p$	$1,673 \cdot 10^{-27} \text{ кг}$
Прискорення вільного падіння	$m_n$	$1,675 \cdot 10^{-27} \text{ кг}$
Питомий заряд електрона	$g$	$9,807 \text{ м/с}^2$
	$e/m_e$	$1,76 \cdot 10^{11} \text{ Кл/кг}$

### Діелектрична проникність $\epsilon$

Речовина	$\epsilon$	Речовина	$\epsilon$
Вода	81	Олива трансформаторна	2,2
Восковий папір	3,7	Парафін	2
Гас	2	Скло	5,5...10
Ебоніт	2,6	Слюда	6
Кварц	2,7	Кераміка	6