

ТЕМА: ЭЛЕКТРОСТАТИКА.

Задание №11

Что нужно знать:

- Закон Кулона, связь напряжённости поля и разности потенциалов для однородного электростатического поля

Что нужно уметь:

- Использовать закон Кулона, связь напряжённости поля и разности потенциалов для однородного электростатического поля для расчёта физических величин

Задание №15

Что нужно знать

- Электризация тел и её проявления. Взаимодействие зарядов. Напряжённость электрического поля. Разность потенциалов и напряжение. Проводники и диэлектрики в электростатическом поле
- Конденсатор. Электроёмкость плоского конденсатора. Энергия заряженного конденсатора

Что нужно уметь:

- Анализировать процессы, связанные с явлением электризации тел, электростатической индукцией в проводниках и поляризацией диэлектриков. Использовать физические величины (кулоновская сила, напряжённость электрического поля, потенциал, разность потенциалов) для характеристики электростатических полей
- Анализировать процессы, связанные с изменением характеристик плоского конденсатора, используя физические величины (электроёмкость конденсатора, напряжённость электрического поля, напряжение между обкладками конденсатора, энергия конденсатора). Анализировать движение заряженных частиц в однородном электрическом поле между пластинами конденсатора

ОСНОВНЫЕ ФОРМУЛЫ

Закон Кулона в СИ:

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

$|q_1||q_2|$ – абсолютные величины взаимодействующих зарядов, r – расстояние между ними, ϵ – относительная диэлектрическая проницаемость среды, в которой находятся заряды, $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12}$ Кл²/(Н·м²) – электрическая постоянная, $k = 9 \cdot 10^9$ Н·м²/Кл² – коэффициент пропорциональности.

Закон сохранения электрических зарядов:

$$q_1 + q_2 + \dots + q_n = \sum_{i=1}^n q_i = const.$$

Относительная диэлектрическая проницаемость среды :

F_0 – сила взаимодействия зарядов в вакууме; F – сила взаимодействия тех же зарядов в диэлектрической среде.

Напряженность электрического поля:

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{|q|} \quad [E] \quad \text{—}$$

\vec{F} – сила, действующая на пробный заряд q_0 , помещенный в некоторую точку поля.

Модуль вектора напряженности электрического поля, созданного точечным зарядом (или заряженной сферой):

$$\frac{|q|}{4\pi\epsilon_0\epsilon r^2} \quad \frac{|q|}{4\pi\epsilon_0\epsilon r^2}$$

Потенциал точки поля φ :

W – потенциальная энергия, которой обладает пробный заряд вследствие его взаимодействия с полем в данной точке.

Работа, совершенная электрическим полем при перемещении заряда q из одной точки в другую:

$$A = q(\varphi_1 - \varphi_2) = qU,$$

$U = \varphi_1 - \varphi_2$ – разность потенциалов начальной и конечной точек траектории заряда (или напряжение между этими

точками – U) .

Связь напряженности однородного поля с разностью потенциалов:

$$E = -\frac{\Delta\varphi}{d} \quad \left(\text{или} \frac{U}{d} \right), \quad [E] = \frac{В}{м}, \quad \Delta\varphi = \varphi_2 - \varphi_1,$$

d – расстояние между двумя точками в электрическом поле вдоль силовой линии.

Потенциал поля, созданного точечным зарядом q (или равномерно заряженной сферой) в СИ:

— —

Принцип суперпозиции полей: напряженность электрического поля в некоторой точке, созданного совокупностью зарядов, равна векторной сумме напряженностей полей, созданных каждым из этих зарядов в отдельности в этой точке:

$$\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 + \dots + \vec{E}_n = \sum_{i=1}^n \vec{E}_i;$$

потенциал электрического поля в некоторой точке, созданного совокупностью зарядов, равен алгебраической сумме потенциалов полей, созданных каждым из этих зарядов в отдельности в этой точке:

$$\varphi = \varphi_1 + \varphi_2 + \dots + \varphi_n = \sum_{i=1}^n \varphi_i;$$

Емкость уединенного проводника:

—

Емкость конденсатора:

—

Емкость плоского конденсатора (в СИ):

—

Соединение конденсаторов:

А) Параллельное

$$C = C_1 + C_2 + \dots + C_n = \sum_{i=1}^n C_i,$$

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

$$q = q_1 + q_2 + \dots + q_n.$$

Б) Последовательное

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \dots + \frac{1}{C_n} = \sum_{i=1}^n \frac{1}{C_i}. \quad U = U_1 + U_2 + \dots + U_n,$$

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

Энергия электрического поля между обкладками заряженного конденсатора:

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

ПРИМЕРЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ

1. Как надо изменить расстояние между двумя одинаковыми точечными зарядами, чтобы при помещении их из воздуха в масло с относительной диэлектрической проницаемостью 2 сила взаимодействия уменьшилась в 8 раз?

$q_1 = q_2 = q$		Сила взаимодействия точечных зарядов в воздухе определяется формулой $F_1 = k \frac{ q_1 q_2 }{\varepsilon_1 r_1^2} = \frac{kq^2}{\varepsilon_1 r_1^2},$ а в масле $F_2 = k \frac{ q_1 q_2 }{\varepsilon_2 r_2^2} = \frac{kq^2}{\varepsilon_2 r_2^2}.$
$\varepsilon_1 = 1$		
$\varepsilon_2 = 2$		
$F_1 = 8F_2$		
<hr/>		$r_2/r_1 = ?$

Сила взаимодействия точечных зарядов в воздухе определяется формулой

$$F_1 = k \frac{|q_1||q_2|}{\varepsilon_1 r_1^2} = \frac{kq^2}{\varepsilon_1 r_1^2},$$

а в масле

$$F_2 = k \frac{|q_1||q_2|}{\varepsilon_2 r_2^2} = \frac{kq^2}{\varepsilon_2 r_2^2}.$$

Так как по условию $F_1 = 8F_2$, то можно записать

$$kq^2/\varepsilon_1 r_1^2 = 8kq^2/\varepsilon_2 r_2^2.$$

Произведя сокращения, получаем

$$1/\varepsilon_1 r_1^2 = 8/\varepsilon_2 r_2^2.$$

Отсюда

$$r_2^2/r_1^2 = 8\varepsilon_1/\varepsilon_2; \quad r_2/r_1 = (8\varepsilon_1/\varepsilon_2)^{1/2} = 2.$$

Расстояние между зарядами надо увеличить в 2 раза.

2. Как изменится сила взаимодействия двух одинаковых маленьких шариков с зарядами $+12$ нКл и -24 нКл, если их привести в соприкосновение, а затем развести на прежнее расстояние?

$$\begin{array}{l} q_1 = +12 \text{ нКл} = 12 \cdot 10^{-9} \text{ Кл} \\ q_2 = -24 \text{ нКл} = -24 \cdot 10^{-9} \text{ Кл} \\ r_1 = r_2 = r \end{array} \quad \left| \right.$$

$$F_2/F_1 = ?$$

Сила взаимодействия шариков до соприкосновения равна

$$F_1 = k |q_1| |q_2| / r^2.$$

Так как шарики одинаковые, то в момент соприкосновения их общий заряд распределится между ними поровну. В соответствии с законом сохранения заряда, их общий заряд до соприкосновения равен сумме их зарядов после соприкосновения:

$$q_1 + q_2 = q + q, \quad q_1 + q_2 = 2q,$$

q — заряд каждого из шариков после их контакта. Отсюда

$$q = (q_1 + q_2) / 2.$$

Сила взаимодействия шариков после соприкосновения равна

$$F_2 = kq^2 / r^2 = k(q_1 + q_2)^2 / (4r^2).$$

Найдем, как изменится сила взаимодействия шариков:

$$F_2/F_1 = (q_1 + q_2)^2 / (4|q_1| |q_2|).$$

После подстановки чисел в полученную формулу можно получить результат

$$F_2/F_1 = 1/8.$$

Сила взаимодействия заряженных шариков после соприкосновения уменьшится в 8 раз.

3. Два одинаковых маленьких шарика заряжены одноименно равными по величине зарядами. На расстоянии 20 см они притягиваются с силой 9 мН. На сколько надо изменить расстояние между шариками при сообщении каждому заряду дополнительно $+100$ нКл, чтобы сила взаимодействия шариков осталась прежней? Ответьте на тот же вопрос для случая, если одному шарика сообщать заряд $+100$ нКл, а другому -100 нКл.

$$\begin{array}{l}
 |q_1| = |q_2| \\
 r_1 = 0,2 \text{ м} \\
 F = 9 \cdot 10^{-3} \text{ Н} \\
 \Delta q = 100 \text{ нКл} = 10^{-7} \text{ Кл} \\
 F_1 = F_2 = F \\
 \varepsilon = 1 \\
 \hline
 \Delta r = ?
 \end{array}$$

1) Найдем, какой была величина каждого заряда:

$$F = kq^2/r_1^2; \quad q = r_1(F/k)^{1/2}.$$

После изменения зарядов на $+\Delta q$, закон Кулона запишется следующим образом:

$$F = k(q + \Delta q)^2/r_2^2.$$

Отсюда можно найти r_2 :

$$r_2 = (q + \Delta q)(k/F)^{1/2}.$$

Подставим в последнюю формулу полученное выше выражение для заряда q :

$$r_2 = (r_1(F/k)^{1/2} + \Delta q)(k/F)^{1/2} = r_1 + \Delta q(k/F)^{1/2}.$$

Отсюда найдем Δr :

$$\Delta r = r_2 - r_1 = \Delta q(k/F)^{1/2};$$

$$[\Delta r] = \text{Кл} \cdot (\text{Н} \cdot \text{м}^2 / (\text{Кл}^2 \cdot \text{Н}))^{1/2} = \text{м}; \quad \Delta r = 0,1 \text{ м}.$$

Расстояние между зарядами надо увеличить на 0,1 м.

2) Если изменить величины зарядов так, как требуется во втором вопросе задачи, то закон Кулона запишется следующим образом:

$$F = \frac{k(q + \Delta q)(q - \Delta q)}{r_2^2} = \frac{k(q^2 - \Delta q^2)}{r_2^2}.$$

Отсюда найдем расстояние r_2 :

$$r_2 = (k(q^2 - \Delta q^2)/F)^{1/2}.$$

Подставим сюда формулу для величины заряда q , получим

$$r_2 = (r_1^2 - k(\Delta q)^2/F)^{1/2};$$

$$[r_2] = (\text{м}^2 - \text{Н} \cdot \text{м}^2 \cdot \text{Кл}^2 / (\text{Кл}^2 \cdot \text{Н}))^{1/2} = \text{м}; \quad r_2 \approx 0,17 \text{ м};$$

$$\Delta r = r_2 - r_1 = 0,03 \text{ м}.$$

Расстояние между зарядами надо увеличить на 0,03 м.

4. Шарик массой 2 г, имеющий заряд 50 нКл, подвешен в воздухе на тонкой изолирующей нити. Определите натяжение нити, если снизу на расстоянии 5 см расположен заряд -100 нКл.

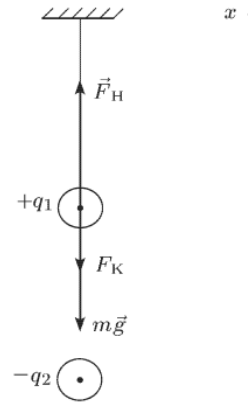
$$m = 2 \cdot 10^{-3} \text{ кг}$$

$$q_1 = 50 \text{ нКл} = 5 \cdot 10^{-8} \text{ Кл}$$

$$r = 5 \cdot 10^{-2} \text{ м}$$

$$q_2 = -100 \text{ нКл} = -10^{-7} \text{ Кл}$$

$$F_H - ?$$



$$F_K = k |q_1 q_2| / r^2; \quad m\vec{g} + \vec{F}_H + \vec{F}_K = 0.$$

$$F_H = mg +$$

$$[F_H] = \text{кг} \cdot \text{м} / \text{с}^2 + \text{Н} =$$

5. Между двумя точечными зарядами $+15$ нКл и $+10$ нКл помещен третий заряд -5 нКл. Расстояние между первым и вторым зарядом равно 1 м, а третий заряд помещен на прямой, соединяющей их, на равном расстоянии от них. Найдите силу, действующую на третий заряд.

$$q_1 = +15 \text{ нКл} = 1,5 \cdot 10^{-8} \text{ Кл}$$

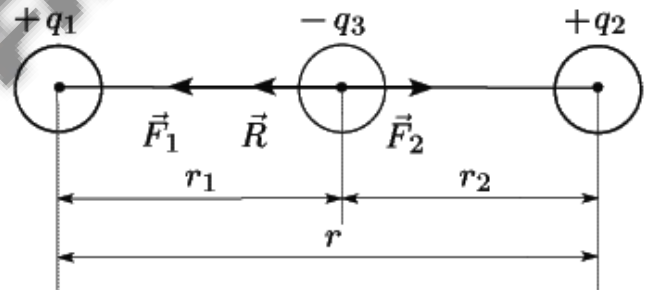
$$q_2 = +10 \text{ нКл} = 10^{-8} \text{ Кл}$$

$$q_3 = -5 \text{ нКл} = -5 \cdot 10^{-9} \text{ Кл}$$

$$r = 1 \text{ м}$$

$$r_1 = r_2 = r/2$$

$$R - ?$$



$$F_1 = k |q_1| |q_3| / r_1^2 = 4k |q_1| |q_3| / r^2;$$

$$F_2 = k |q_2| |q_3| / r_2^2 = 4k |q_2| |q_3| / r^2.$$

$$\vec{R} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2.$$

$$R = F_1 - F_2;$$

$$R = 4k |q_1| |q_3| / r^2 - 4k |q_2| |q_3| / r^2 = 4k |q_3| (|q_1| - |q_2|) / r^2;$$

$$[R] = \text{Н} \cdot \text{м}^2 \cdot \text{Кл} \cdot \text{Кл} / (\text{Кл}^2 \cdot \text{м}^2) = \text{Н}; \quad R = 0,9 \cdot 10^{-6} \text{ Н}.$$

6. Как изменится емкость конденсатора, если расстояние между пластинами увеличить в 2 раза, а диэлектрик заменить другим, диэлектрическая проницаемость которого в 4 раза меньше?

$$C_1 = \varepsilon_1 \varepsilon_0 S / d_1. \quad C_2 = \varepsilon_2 \varepsilon_0 S / d_2.$$

$$C_2 / C_1 = \varepsilon_2 d_1 / (\varepsilon_1 d_2).$$

$$C_2 / C_1 = \varepsilon_1 d_1 / (4 \varepsilon_1 2 d_2) = 1/8.$$

ЗАДАЧИ ДЛЯ ТРЕНИРОВКИ И САМОПОДГОТОВКИ

1.11. (Демидова 2025_9) Расстояние между двумя точечными электрическими зарядами увеличили в 2 раза, при этом один из зарядов уменьшили в 6 раз. Во сколько раз уменьшится модуль сил электростатического взаимодействия между зарядами?

2.11. (Демидова 2025_10) Расстояние между двумя точечными электрическими зарядами увеличили в 2 раза, при этом один из зарядов увеличили в 6 раз. Во сколько раз увеличился модуль сил электростатического взаимодействия между зарядами?

3.11. (Демидова 2025_17) Во сколько раз уменьшатся силы электростатического взаимодействия двух точечных зарядов, если расстояние между ними увеличить в 4 раза, а каждый заряд уменьшить в 2 раза?

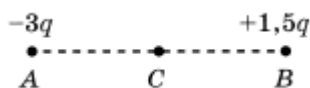
4.11. (Демидова 2025_18) Во сколько раз увеличатся силы электростатического взаимодействия двух точечных зарядов, если расстояние между ними увеличить в 2 раза, а каждый заряд увеличить в 4 раза?

5.11. (Демидова 2025_25) Во сколько раз уменьшится модуль сил взаимодействия двух небольших металлических шариков одинакового диаметра, имеющих заряды $q_1 = +7$ нКл и $q_2 = -3$ нКл, если шарики привести в соприкосновение и раздвинуть на прежнее расстояние?

6.11. (Демидова 2025_26) Во сколько раз уменьшится модуль сил взаимодействия двух небольших металлических шариков одинакового диаметра, имеющих заряды $q_1 = +4$ нКл и $q_2 = -3$ нКл, если шарики привести в соприкосновение и раздвинуть на прежнее расстояние?

7.14. (Демидова 2025_5) Две маленькие бусинки, закреплённые в

точках А и В на горизонтальной прямой, несут на себе заряды $-3q < 0$ и $+1,5q > 0$ соответственно (см. рисунок).



Из приведённого ниже списка выберите все верные утверждения относительно этой ситуации.

- 1) Если бусинки соединить незаряженной стеклянной палочкой, их заряды станут равными.
- 2) Если бусинки соединить тонкой медной проволокой, то они будут притягивать друг друга.
- 3) Модуль силы Кулона, действующей на бусинку В, равен модулю силы Кулона, действующей на бусинку А.
- 4) На бусинку А со стороны бусинки В действует сила Кулона, направленная горизонтально вправо.
- 5) Напряжённость результирующего электростатического поля в точке С направлена горизонтально вправо.

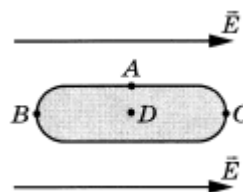
8.14. (Демидова 2025_6) Две маленькие бусинки, закреплённые в точках А и В на горизонтальной прямой, несут на себе заряды $-3q < 0$ и $+1,5q > 0$ соответственно (см. рисунок).



Из приведённого ниже списка выберите все верные утверждения относительно этой ситуации.

- 1) Если бусинки соединить незаряженной эбонитовой палочкой, их заряды останутся прежними.
- 2) Если бусинки соединить тонкой стальной проволокой, то они станут отталкивать друг друга.
- 3) Модуль силы Кулона, действующей на бусинку В, в 2 раза меньше модуля силы Кулона, действующей на бусинку А.
- 4) На бусинку А со стороны бусинки В действует сила Кулона, направленная горизонтально влево.
- 5) Напряжённость результирующего электростатического поля в точке С направлена горизонтально влево.

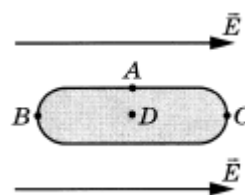
9.14. (Демидова 2025_13) Незаряженное металлическое тело, продольное сечение которого показано на рисунке, поместили в однородное электрическое поле напряжённостью \vec{E} . Из приведённого ниже списка выберите все верные утверждения, описывающие результаты воздействия этого поля на металлическое тело.



- 1) Потенциалы в точках А и С равны.
- 2) В точке А индуцируется положительный заряд.
- 3) Напряжённость электрического поля в точке D не равна нулю.
- 4) В точке D индуцируется отрицательный заряд.

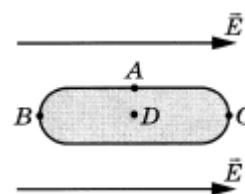
5) Концентрация свободных электронов в точке В наибольшая.

10.14. (Демидова 2025_14) Незаряженное металлическое тело, продольное сечение которого показано на рисунке, поместили в однородное электрическое поле напряжённостью \vec{E} . Из приведённого ниже списка выберите все верные утверждения, описывающие результаты воздействия этого поля на металлическое тело.



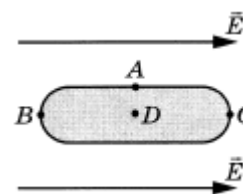
- 1) Потенциал в точке А больше потенциала в точке С.
- 2) В точке С индуцируется положительный заряд.
- 3) Напряжённость электрического поля в точке D равна нулю.
- 4) В точке В индуцируется отрицательный заряд.
- 5) Концентрация свободных электронов в точке В наименьшая.

11.14. (Демидова 2025_27) Незаряженное металлическое тело, продольное сечение которого показано на рисунке, поместили в однородное электрическое поле напряжённостью \vec{E} . Из приведённого ниже списка выберите все верные утверждения, описывающие результаты воздействия этого поля на металлическое тело.



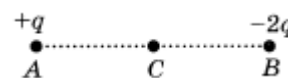
- 1) Напряжённость электрического поля в точке D равна нулю.
- 2) Потенциалы точек В и С равны.
- 3) Концентрация свободных электронов в точке А наибольшая.
- 4) В точке В индуцируется отрицательный заряд.
- 5) В точке А индуцируется положительный заряд.

12.14. (Демидова 2025_28) Незаряженное металлическое тело, продольное сечение которого показано на рисунке, поместили в однородное электрическое поле напряжённостью \vec{E} . Из приведённого ниже списка выберите все верные утверждения, описывающие результаты воздействия этого поля на металлическое тело.



- 1) Напряжённость электрического поля снаружи тела вблизи точки С не равна нулю.
- 2) Потенциал в точке В больше потенциала в точке D.
- 3) Концентрация свободных электронов в точке С наименьшая.
- 4) В точке В индуцируется отрицательный заряд.
- 5) В точке А индуцируется положительный заряд.

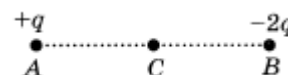
13.14. (Демидова 2025_15) Две маленькие закреплённые бусинки, расположенные в точках А и В, несут на себе заряды $+q > 0$ и $-2q$ соответственно (см. рисунок).



Из приведённого ниже списка выберите все верные утверждения относительно этой ситуации.

- 1) Модуль силы Кулона, действующей на бусинку А, в 2 раза меньше модуля силы Кулона, действующей на бусинку В.
- 2) Если бусинки соединить незаряженной стеклянной палочкой, их заряды не изменятся.
- 3) Напряжённость результирующего электростатического поля в точке С направлена горизонтально влево.
- 4) Если бусинки соединить медной проволокой, они будут отталкивать друг друга.
- 5) На бусинку А со стороны бусинки В действует сила Кулона, направленная горизонтально вправо.

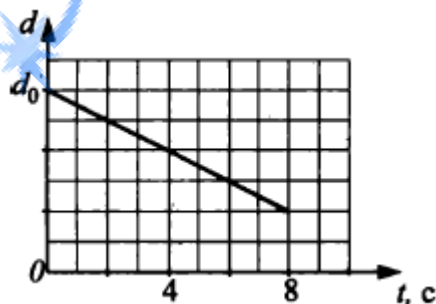
14.14. (Демидова 2025_16) Две маленькие закреплённые бусинки, расположенные в точках А и В, несут на себе заряды $+q > 0$ и $-2q$ соответственно (см. рисунок).



Из приведённого ниже списка выберите все верные утверждения относительно этой ситуации.

- 1) Модули сил Кулона, действующих на бусинки, одинаковы.
- 2) Если бусинки соединить незаряженной стеклянной палочкой, их заряды станут равными.
- 3) Напряжённость результирующего электростатического поля в точке С направлена горизонтально вправо.
- 4) Если бусинки соединить медной проволокой, они будут притягивать друг друга.
- 5) На бусинку А со стороны бусинки В действует сила Кулона, направленная горизонтально влево.

15.14. (Монастырский 2025_3) Плоский воздушный конденсатор ёмкостью C_0 , подключённый к источнику постоянного напряжения, состоит из двух металлических пластин, находящихся на расстоянии d_0 друг от друга. Расстояние между пластинами меняется со временем так, как показано на графике на рисунке.



Из приведённого ниже списка выберите все верные утверждения.

- 1) В промежутке времени от 0 с до 8 с ёмкость конденсатора уменьшилась.
- 2) В момент времени 8 с ёмкость конденсатора увеличилась в 2 раза по сравнению с первоначальной.
- 3) В промежутке времени от 2 с до 8 с заряд конденсатора увеличился.
- 4) В промежутке времени от 0 с до 8 с напряжённость

электрического поля между пластинами конденсатора увеличилась.
 5) В промежутке времени от 0 с до 8 с напряжение на пластинах конденсатора увеличилось.

16.15. (Демидова 2025_17) Конденсатор подсоединили к источнику тока, и он стал заряжаться. Как меняются в процессе зарядки конденсатора заряд конденсатора и модуль напряжённости электрического поля внутри конденсатора?

Для каждой величины определите соответствующий характер изменения:

- 1) увеличивается 2) уменьшается 3) не изменяется

Запишите в таблицу выбранные цифры для каждой физической величины. Цифры в ответе могут повторяться.

Заряд конденсатора	Модуль напряжённости электрического поля внутри конденсатора

17.15. (Демидова 2025_18) Конденсатор подсоединили к источнику тока, и он стал заряжаться. Как меняются в процессе зарядки конденсатора ёмкость конденсатора и энергия электрического поля конденсатора?

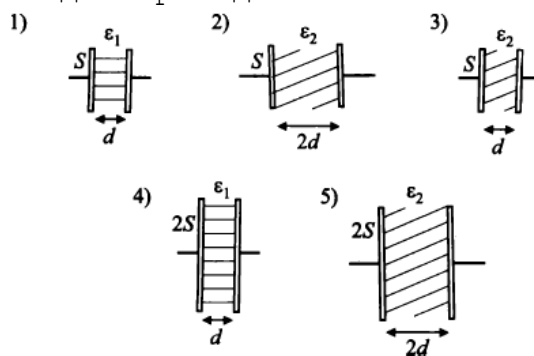
Для каждой величины определите соответствующий характер изменения:

- 1) увеличивается 2) уменьшается 3) не изменяется

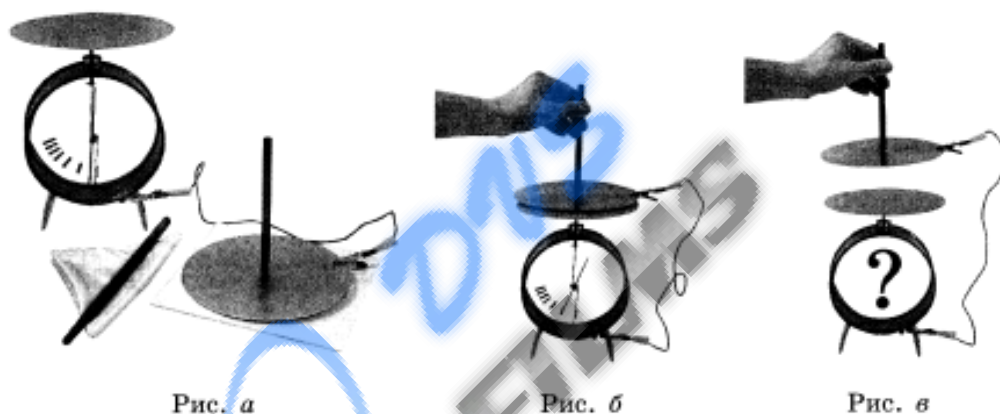
Запишите в таблицу выбранные цифры для каждой физической величины. Цифры в ответе могут повторяться.

Ёмкость конденсатора	Энергия электрического поля конденсатора

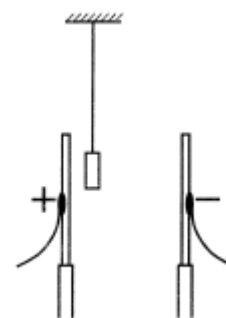
18.20. (Монастырский 2025_24) Необходимо экспериментально изучить зависимость ёмкости плоского конденсатора от свойств диэлектрика, помещённого между его пластинами. На всех представленных ниже рисунках S — площадь пластины конденсатора, d — расстояние между пластинами. Какие две установки (см. рис.) следует использовать для проведения такого исследования?



19.21. (Демидова 2025_22) Воспользовавшись оборудованием, представленным на рисунке а, учитель собрал модель плоского конденсатора (рисунок б), зарядил нижнюю пластину положительным зарядом, а корпус электromетра заземлил. Соединённая с корпусом электromетра верхняя пластина конденсатора приобрела отрицательный заряд, равный по модулю заряду нижней пластины. После этого учитель увеличил расстояние между пластинами (рисунок в). Как изменились при этом показания электromетра (увеличились, уменьшились, остались прежними)? Ответ поясните, указав, какие явления и закономерности Вы использовали для объяснения. Показания электromетра в данном опыте прямо пропорциональны разности потенциалов между пластинами конденсатора.

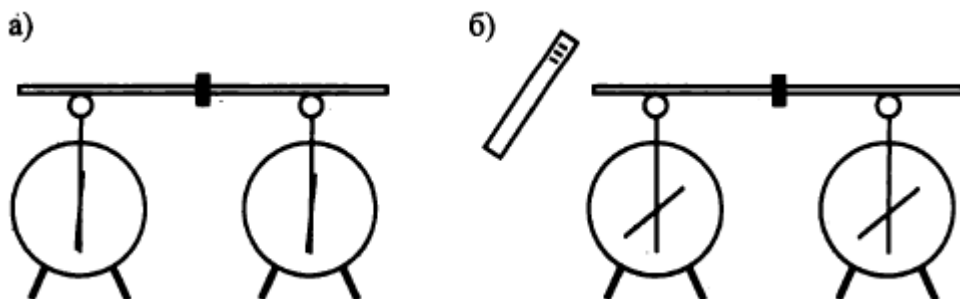


20.21. (Демидова 2025_25) Между двумя металлическими близко расположенными вертикальными пластинами, укреплёнными на изолирующих подставках, подвесили на длинной шёлковой нити лёгкую металлическую незаряженную гильзу (см. рисунок). Когда к пластинам приложили постоянное высокое напряжение, гильза пришла в движение. Опираясь на законы электростатики и механики, опишите движение гильзы и объясните его.



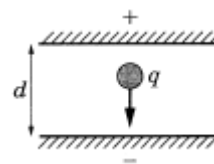
21.21. (Демидова 2025_27) Маленький незаряженный шарик, подвешенный на непроводящей нити, помещён над горизонтальной диэлектрической пластиной, равномерно заряженной положительным зарядом. Размеры пластины во много раз превышают длину нити. Опираясь на законы механики и электродинамики, объясните, как изменится период малых свободных колебаний шарика, если ему сообщить отрицательный заряд.

22.21. (Монастырский 2025_5) На столе установили два незаряженных электрметра и соединили их алюминиевым стержнем с изолирующей ручкой (см. рис.а). Затем к первому электрметру поднесли, не касаясь шара, отрицательно заряженную палочку (см. рис.б). Не убирая палочки, убрали стержень, а затем убрали палочку.

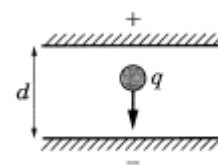


Ссылаясь на известные вам законы и явления, объясните, почему электрметры оказались заряженными, и определите знаки заряда каждого из электрметров после того, как палочку убрали.

23.23. (Демидова 2025_17) Пластины большого по размерам плоского конденсатора расположены горизонтально на расстоянии $d = 2$ см друг от друга. Напряжение на пластинах конденсатора 10 кВ. В пространстве между пластинами падает капля жидкости. Масса капли $m = 5$ мг. При каком значении заряда q капли её скорость будет постоянной? Влиянием воздуха на движение капли пренебречь.



24.23. (Демидова 2025_18) Пластины большого по размерам плоского конденсатора расположены горизонтально на расстоянии $d = 2$ см друг от друга. Напряжение на пластинах конденсатора 10 кВ. В пространстве между пластинами падает капля жидкости. Заряд капли $q = 8 \cdot 10^{-11}$ Кл. При каком значении массы капли её скорость будет постоянной? Влиянием воздуха на движение капли пренебречь.



25.25. (Демидова 2025_5) К изолированному заряженному конденсатору с электроёмкостью $C = 1$ нФ и зарядом $q = 12$ нКл параллельно подключили незаряженный конденсатор электроёмкостью $2C$. Найдите установившееся напряжение на первом конденсаторе.

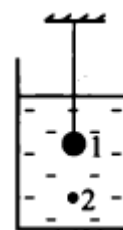
26.25. (Демидова 2025_6) К изолированному заряженному конденсатору с электроёмкостью $C = 10$ нФ и зарядом $q = 2$ мкКл параллельно подключили незаряженный конденсатор электроёмкостью $3C$. Найдите установившееся напряжение на втором конденсаторе.

27.25. (Монастырский 2025_1) Две большие параллельные вертикальные пластины заряжены разноимённо и расположены на

расстоянии d друг от друга. Между пластинами, на равном расстоянии от них, помещён маленький шарик, имеющий заряд $q = 2 \cdot 10^{-11}$ Кл. Масса шарика $m = 2$ мг. Напряжённость поля между пластинами $E = 5 \cdot 10^6$ В/м. В момент, когда шар коснулся одной из пластин, его скорость была равна $v = 2$ м/с. Найдите расстояние между пластинами. Трением о воздух и размерами шарика пренебречь.

28.25. (Монастырский 2025_2) Две большие параллельные вертикальные пластины заряжены разноимённо и расположены на расстоянии $d = 10$ см друг от друга. Между пластинами, на равном расстоянии от них, помещён маленький шарик, имеющий заряд $q = 2 \cdot 10^{-11}$ Кл. Масса шарика $m = 1$ мг. Напряжённость поля между пластинами $E = 4 \cdot 10^5$ В/м. Найдите, какой скоростью обладал шарик в момент, когда он коснулся одной из пластин.

29.25. (Монастырский 2025_5) На каком расстоянии от погружённого в чистую воду шарика 1 (см. рис.) расположен находящийся в равновесии стальной шарик 2 объёмом $V = 4,5$ мм³? Заряд шарика 1 $q_1 = 7$ нКл, а заряд шарика 2 $q_2 = -2$ нКл. Плотность стали равна 7800 кг/м³.



30.25. (Монастырский 2025_23) Заряженный шарик массой $m = 20$ г, подвешенный на невесомой нити длиной $l = 10$ см, совершает колебания в однородном электрическом поле напряжённостью E (линии напряжённости направлены вертикально вниз). Какова напряжённость поля E , если заряд шарика $q = 10$ мКл, а частота колебаний шарика равна 3 Гц.

31.11. Два заряда, один из которых в 3 раза больше другого, находясь в вакууме на расстоянии 30 см, взаимодействуют с силой 30 Н. Определите значения этих зарядов.

32.12. Два одинаковых маленьких шарика имеют одинаковые положительные заряды по $3,2$ нКл. Какими должны стать заряды этих шариков, чтобы сила их взаимного отталкивания на том же расстоянии уменьшилась в 4 раза? Добавить или наоборот, снять надо некоторое количество электронов для уменьшения силы взаимодействия? Чему равно это количество электронов?

33.13. Два металлических шарика диаметром 5 см каждый находятся в трансформаторном масле на расстоянии 50 см между центрами. Определите поверхностную плотность заряда, если шарики взаимодействуют с силой $2,2$ мН. Заряды шариков одинаковы.

34.14. Два точечных заряда находятся в парафине на расстоянии 20 см. На каком расстоянии они должны находиться в воздухе,

чтобы сила взаимодействия между ними была такой же?

35.15. Два разноименно заряженных шарика находятся в масле на расстоянии 5 см. Определите диэлектрическую проницаемость масла, если те же шарики взаимодействуют с такой же силой в воздухе на расстоянии 11,2 см.

36.16. На двух одинаковых каплях воды находится по одному избыточному электрону. Определите массу капли, если электрическая сила отталкивания капель уравнивает силу их гравитационного тяготения.

37.20. Определите модуль и направление силы, действующей на заряд 4 нКл, помещенный посередине между двумя точечными зарядами 30 нКл и -50 нКл, если они находятся в вакууме на расстоянии 0,6 м.

38.21. В точках А и В, расстояние между которыми 20 см, помещены заряды 100 нКл и 200 нКл. Определите модуль и направление силы, действующей со стороны этих зарядов на третий заряд равный -1 мкКл, помещенный в середине отрезка АВ. Среда – воздух.

39.22. Два точечных электрических заряда 60 нКл и 0,24 мкКл находятся в трансформаторном масле на расстоянии 16 см друг от друга. Где между ними следует поместить третий заряд, чтобы под действием электрических сил он оставался в равновесии? Каким будет состояние равновесия, если третий заряд будет положительным? Отрицательным?

40.23. Маленький шарик массой 0,3 г подвешен на тонкой шелковой нити и имеет заряд $3 \cdot 10^{-7}$ Кл. Каким станет натяжение нити, если снизу к нему на расстоянии 30 см поднести другой шарик с одноименным зарядом 50 нКл?

41.24. На изолирующей нити в воздухе висит шарик 0,9 г, заряд которого равен 49 нКл. Снизу к нему поднесли другой заряженный шарик на расстояние 10 см. Какой величины и знака должен быть заряд поднесенного шарика, чтобы нить не испытывала натяжения?

42.28. Заряды $+q$, $-q$ и $+q_0$ расположены в углах равностороннего треугольника со стороной a . Какова величина силы, действующей на заряд $+q_0$?

43.31. В центре квадрата, в вершинах которого находятся заряды $+q$, помещен отрицательный заряд. Какой должна быть величина этого заряда, чтобы система находилась в равновесии?

44.37. Шарик массой 4 г, несущий заряд 278 нКл, подвешен в воздухе на невесомой нерастяжимой непроводящей нити. При приближении к нему другого заряда противоположного знака нить отклонилась на угол 45° от вертикали. Найдите значение поднесенного заряда, если расстояние между шариками, расположенными на одной горизонтали, равно 6 см.

45.44. Два одинаковых проводящих шарика с зарядами $-1,5 \cdot 10^{-5}$ Кл и $2,5 \cdot 10^{-5}$ Кл вследствие притяжения соприкоснулись и вновь разошлись на 5 см. Определите силу электрического взаимодействия между ними после соприкосновения.

46.45. Небольшие равные по величине металлические шарики с

одноименными зарядами приведены в соприкосновение и вновь удалены на 10 см. Какова сила их взаимодействия, если на шариках до соприкосновения были заряды 70 нКл и 30 нКл?

47.46. Два одинаковых металлических шарика заряжены так, что заряд одного из них в 5 раз больше заряда другого. Шарик привели в соприкосновение и раздвинули на прежнее расстояние. Как изменится сила взаимодействия, если шарик был заряжен одноименно? разноименно?

48.47. Металлический шарик имеет $5 \cdot 10^6$ избыточных электронов. Сколько избыточных электронов останется на шарике после соприкосновения с другим таким же шариком, заряд которого $3,2 \cdot 10^{-14}$ Кл?

49.48. Маленький проводящий шарик, имеющий заряд $4,8 \cdot 10^{-11}$ Кл, привели в соприкосновение с таким же незаряженным шариком. Сколько избыточных электронов осталось на шарике? Какой заряд получил другой шарик? Какая сила будет действовать на шарик, если они в воздухе находятся на расстоянии 2,4 см один от другого?

50.55. С какой силой действует электрическое поле Земли, напряженность которого 100 Н/Кл, на тело, несущее заряд 10^{-6} Кл? С каким ускорением будет двигаться тело к Земле, если его масса 0,5 г?

51.56. Определите напряженность электрического поля, созданного в воздухе точечным зарядом $8 \cdot 10^{-6}$ Кл, в точке, удаленной от него на 30 см.

52.57. На заряд 50 нКл в некоторой точке поля действует сила 15 мН. Найдите силу, действующую в этой точке поля на заряд -25 нКл. Совпадают ли направления сил, действующих на первый и второй заряды?

53.61. На каком расстоянии от точечного заряда 10 нКл напряженность поля равна 300 Н/Кл?

54.79. В точках А и В, отстоящих друг от друга на 60 см, помещены заряды +250 нКл и -250 нКл. Определите напряженность поля в точке С, которая лежит на расстоянии 40 см от основания перпендикуляра, восстановленного из середины отрезка АВ.

55.80. Расстояние между зарядами +6400 нКл и -6400 нКл равно 12 см. Найдите напряженность поля в точке, удаленной на 8 см от каждого из зарядов.

56.81. Два заряда 20 нКл и 160 нКл находятся на расстоянии 5 см друг от друга. Определите напряженность поля в точке, удаленной от первого заряда на 3 см и от второго заряда на 4 см.

57.82. В двух вершинах равностороннего треугольника находятся заряды по +0,5 нКл. Сторона треугольника 5 см. Найдите напряженность в третьей вершине треугольника. Какой станет напряженность, если сменить знак у одного заряда?

58.83. Одинаковые по модулю, но разные по знаку заряды расположены в двух вершинах равностороннего треугольника со стороной 2 м. Напряженность электрического поля в третьей вершине треугольника равна 40,5 Н/Кл. Найдите значение зарядов.

59.184. Электрон влетает в однородное поле между двумя заряженными параллельными пластинами по направлению линий напряженности и на участке 2 см уменьшает скорость с $2 \cdot 10^6$ м/с до

нуля. Определите разность потенциалов между пластинами, расстояние между которыми равно 6 см.

60.185. Электрон влетает в однородное электрическое поле, и на участке пути в 2 см его скорость возрастает с 3 км/с до 10 км/с. Найдите напряженность электрического поля.

61.186. Между двумя параллельными горизонтальными пластинами с разностью потенциалов 0,7 кВ висит капелька масла, радиус которой 1,5 мкм. Расстояние между пластинами 0,4 см, плотность масла 0,8 г/см³. Найдите заряд капли.

62.202. Электрон влетает в плоский конденсатор параллельно плоскости пластин со скоростью $3 \cdot 10^6$ м/с. Найдите напряженность поля конденсатора, если электрон вылетает под углом 30° к пластинам. Длина пластины 20 см.

63.203. Электрон влетает в плоский конденсатор параллельно пластинам со скоростью $2 \cdot 10^7$ м/с. Расстояние между пластинами конденсатора 10 мм, длина пластин 5 см. На пластины подано постоянное напряжение 50 В. На какое расстояние сместится электрон от первоначального направления?

64.204. Электрон влетает в плоский горизонтальный конденсатор параллельно пластинам со скоростью 10^7 м/с. Напряженность поля в конденсаторе 100 В/см, длина пластин конденсатора 5 см. Найдите величину и направление скорости электрона перед его вылетом из конденсатора.

65.205. Электрон влетает в плоский конденсатор параллельно пластинам на расстоянии 4 см от положительно заряженной пластины; длина пластин 15 см. Через какое время электрон упадет на эту пластину, если напряженность поля внутри конденсатора равна 500 В/м? С какой минимальной скоростью должен влетать электрон, чтобы не упасть на эту пластину?

66.235. Плоский воздушный конденсатор имеет расстояние между пластинами 2,4 мм. На сколько надо раздвинуть пластины конденсатора при опускании его в воду, чтобы емкость конденсатора не изменилась?

67.236. Плоский воздушный конденсатор составлен из двух круглых пластин диаметром 0,22 м каждая, находящихся на расстоянии 3 мм друг от друга. Напряжение на пластинах конденсатора 120 В. Какой заряд сосредоточен на каждой пластине?

68.237. Обкладки плоского конденсатора изолированы друг от друга пластиной из диэлектрика. Конденсатор заряжен до разности потенциалов 1000 В. Определите относительную диэлектрическую проницаемость материала пластин, если при ее удалении разность потенциалов между обкладками конденсатора возрастает до 3000 В.

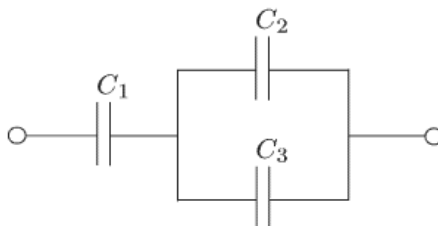
69.257. Два конденсатора соединены последовательно в батарею, на которую подан заряд 500 нКл. Емкости конденсаторов 20 и 80 пкФ. Найдите общую емкость конденсаторов, напряжение батареи и напряжение на каждом из конденсаторов.

70.258. Три конденсатора соединены последовательно в батарею, и на них имеется заряд 250 нКл. Емкости конденсаторов равны 2, 3 и 5 мкФ. Найдите общую емкость батареи конденсаторов, напряжение батареи и на каждом конденсаторе.

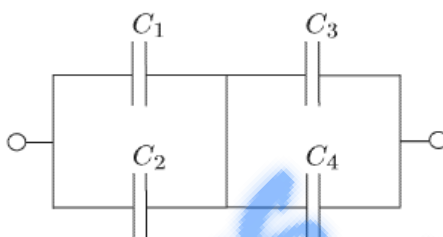
71.259. Два последовательно соединенных конденсатора с емкостями 2 и 4 мкФ присоединены к источнику напряжения 120 В.

Определите напряжение на каждом конденсаторе.

72.280. Определите емкость батареи конденсаторов, соединенных по схеме, приведенной на рисунке если $C_1 = 70$ мкФ, $C_2 = 120$ мкФ, $C_3 = 80$ мкФ.



73.281. Определите емкость батареи конденсаторов, включенных по схеме, изображенной на рисунке, если $C_1 = 4$ мкФ, $C_2 = 6$ мкФ, $C_3 = 10$ мкФ и $C_4 = 5$ мкФ.



ОТВЕТЫ, ПОЯСНЕНИЯ, РЕШЕНИЯ ОТДЕЛЬНЫХ ЗАДАЧ.

№ п/п	ОТВЕТ	ПОЯСНЕНИЕ
1.	24	
2.	1,5	
3.	64	
4.	4	
5.	5,25	
6.	48	
7.	3 4	
8.	1 2 5	
9.	1 5	
10.	2 3 4	
11.	1 2 4	
12.	1 3	
13.	2 4 5	
14.	1 3	
15.	3 4	
16.	1 1	
17.	3 1	
18.	1 3	
19.		Возможное решение см. ниже.
20.		Возможное решение см. ниже.
21.		Возможное решение см. ниже.

22.		Возможное решение см. ниже.
23.	-10^{-10} Кл	$q = -\frac{mdg}{U} = -\frac{5 \cdot 10^{-6} \cdot 2 \cdot 10^{-2} \cdot 10}{10^4} = -10^{-10}$ Кл.
24.	4 мг	
25.	4 В	
26.	50 В	$U_2 = U' = \frac{U}{4} = \frac{q}{4C} = \frac{2 \cdot 10^{-6}}{4 \cdot 10 \cdot 10^{-9}} = 50$ В.
27.	16 см	$d = \frac{v^2}{a_x + \frac{a_y^2}{a_x}} = \frac{v^2 q E m}{q^2 E^2 + g^2 m^2}$,
28.	1,43 м/с	$v = \sqrt{\frac{q^2 E^2 d + g^2 m^2 d}{q E m}}$.
29.	2 см	$r = \sqrt{k \frac{q_1 \cdot q_2}{mg - \rho \cdot g \cdot V}}$,
30.	51,1 В/м	Возможное решение см. ниже.
31.	10 мкКл; 30 мкКл	
32.	1,6 нКл; добавить 10^{10} электронов	
33.	$4,7 \cdot 10^7$ Кл/м ²	
34.	30 см	
35.	5	
36.	$1,86 \cdot 10^{-9}$ кг	
37.	$3,2 \cdot 10^{-5}$ Н; в сторону второго заряда	
38.	0,09 Н	
39.	5,3 см от меньшего заряда	
40.	1,4 мН	
41.	200 нКл	
42.		$F = q_0 \cdot q / (4\pi\epsilon_0 a^2)$.
43.	-0,957 q	
44.	56 нКл	
45.	$3 \cdot 10^{-5}$ Н	
46.	2,3 мН	
47.	Увеличилась в 1,8 раза; уменьшилась в 1,25 раза.	
48.	$1,5 \cdot 10^6$	
49.	$1,5 \cdot 10^8$; $-2,4 \cdot 10^{-11}$; $9 \cdot 10^{-9}$ Н	
50.	10^{-4} Н; $10,2$ м/с ²	
51.	$8 \cdot 10^5$ Н/Кл	
52.	7,5 мН; нет	
53.	55 см	
54.	13 кН/Кл	
55.	$1,4 \cdot 10^7$ Н/Кл	
56.	$9,2 \cdot 10^5$ Н/Кл	
57.	3 кН/Кл; 1,8 кН/Кл	
58.	+18 нКл; -18 нКл	
59.	34 В	
60.	$1,29 \cdot 10^{-2}$ В/м	

61.	$0,2 \cdot 10^{-18}$ Кл	
62.	147 В/м	
63.	$27,4 \cdot 10^{-4}$ м	
64.		$1,23 \cdot 10^7$ м/с; $\alpha = \arctg 0,88 \approx 41^\circ$.
65.	$3 \cdot 10^{-8}$ с; $5 \cdot 10^6$ мс	
66.	На 19,2 см	
67.	13,4 нКл	
68.	3	
69.	16 пФ; 31,25 кВ; 25 кВ; 6,25 кВ	
70.	0,97 мкФ; 0,258 В; 0,125 В; 0,083 В; 0,05 В	
71.	80В; 40 В	
72.	51,8 мкФ	
73.	6 мкФ	

ВОЗМОЖНОЕ РЕШЕНИЕ ОТДЕЛЬНЫХ ЗАДАЧ С ПОЛНЫМ РЕШЕНИЕМ

19. 1. Стрелка и стержень электрометра, соединённые с нижней пластиной, но изолированные от корпуса, заряжаются положительно, и стрелка отклоняется на некоторый угол.

Благодаря заземлению в верхней пластине и металлическом корпусе электрометра происходит перераспределение свободных электронов таким образом, что верхняя пластина заряжается отрицательно. Заряды перераспределяются до тех пор, пока корпус электрометра и верхняя пластина не станут эквипотенциальной поверхностью с одним потенциалом, а стрелка и нижняя пластина – эквипотенциальной поверхностью с другим потенциалом.

2. Заряды пластин одинаковы по модулю и противоположны по знаку, пластины образуют конденсатор с ёмкостью $C = \frac{\epsilon_0 \epsilon S}{d}$, где S – площадь перекрытия пластин, d – расстояние между ними, ϵ – диэлектрическая проницаемость диэлектрика между пластинами.

Характер изменения угла отклонения стрелки совпадает с изменением разности потенциалов между пластинами: при увеличении разности потенциалов увеличивается угол отклонения, при уменьшении разности потенциалов угол уменьшается.

3. При увеличении расстояния d между пластинами ёмкость конденсатора уменьшается, заряд конденсатора практически не меняется, так как его ёмкость много больше ёмкости системы «корпус + стрелка электрометра», а нижняя пластина вместе со стержнем и стрелкой электрометра образуют изолированную систему заряженных тел. Поэтому разность потенциалов $\Delta\varphi = \frac{q}{C}$ и угол отклонения стрелки электрометра увеличивается.

20. 1. Под действием электрического поля пластин изменится распределение электронов в гильзе: левая сторона будет иметь отрицательный заряд, а правая сторона – положительный (см. рисунок).

Сила взаимодействия заряженных тел уменьшается с ростом расстояния между ними. Поэтому притяжение к пластинам ближних к ним сторон гильзы будет больше отталкивания противоположных сторон гильзы. Гильза первоначально находится ближе к левой, положительно заряженной пластине. Поэтому равнодействующая сил Кулона, действующих на гильзу, будет направлена в сторону положительно заряженной пластины и, согласно второму закону Ньютона, гильза будет двигаться к этой пластине, пока не коснётся её.

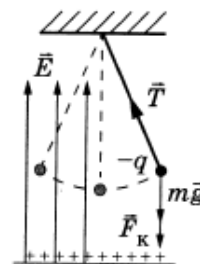
2. В момент касания пластины гильза приобретёт заряд того же знака, какой имеется у пластины, оттолкнётся от неё и будет двигаться к противоположной пластине. Так как нить достаточно длинная, то гильза на нити дойдёт до противоположной пластины. Коснувшись противоположной пластины, гильза поменяет знак заряда, вернётся к первой пластине, и такое движение будет периодически повторяться.

3. Ответ: гильза начнёт двигаться влево, после касания пластины станет двигаться вправо, затем опять влево. Начнутся колебания гильзы между пластинами.



21.

1. Колеблющийся шарик на нити можно считать при малых колебаниях математическим маятником. Первоначально, когда шарик не заряжен, электрическое поле пластины не оказывает влияния на колебательное движение, колебания происходят только за счёт периодически изменяющейся касательной составляющей силы тяжести. Поэтому период свободных колебаний зависит только от длины нити l и ускорения свободного падения g ($T_1 = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$).



2. Протяжённая равномерно заряженная пластина создаёт однородное электрическое поле \vec{E} . Если шарiku сообщить отрицательный заряд, то со стороны электрического поля пластины на него начнёт действовать постоянная сила Кулона, равная по величине $F_K = E|q|$ и направленная вертикально вниз (см. рисунок).

3. В этом случае равнодействующая сил тяжести и Кулона, которая будет определять период свободных колебаний маятника, равна по модулю $mg + |q|E > mg$. Возвращающая сила, действующая на шарик (касательная составляющая силы $m\vec{g} + q\vec{E}$), увеличится, шарик будет быстрее возвращаться к положению равновесия, а значит, период свободных колебаний маятника уменьшится ($T_2 = 2\pi\sqrt{\frac{l}{a}} = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g + Eq/m}}$, т. е. $T_2 < T_1$).

22. Электрометр является проводником, следовательно, при приближении к нему отрицательно заряженной палочки создаётся электрическое поле, под действием которого будет происходить перераспределение зарядов до тех пор, пока потенциал на электрометрах не станет одинаковым. Так как палочка заряжена отрицательно, то при этом электроны с ближнего электрометра переместятся на дальний, то есть заряд ближнего электрометра станет положительным. По закону сохранения заряда дальний электрометр будет заряжен отрицательно, при этом модули зарядов на электрометрах будут равны. По условию задачи сначала удаляют соединяющий стержень, следовательно, электрометры сохранят свои заряды, то есть ближний к палочке будет заряжен положительно, дальний – отрицательно.

30.

25. Дано: $m = 20$ г, $l = 10$ см, $q = 10$ мКл, $\nu = 3$ Гц.

Найти: E .

Сделаем чертёж к этой задаче (см. рис. 357).

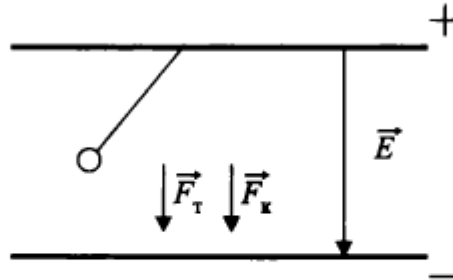


Рис. 357

Рассмотрим шарик как математический маятник. Период колебания такого шарика определяется не только силой тяжести, но и силой Кулона, с которой положительно заряженный шарик взаимодействует с отрицательно заряженной пластиной. Считаем, что однородное электрическое поле создано двумя бесконечными заряженными пластинами. Эти две силы создают ускорение шарика $a = g + a'$.

Здесь g — ускорение силы тяжести, a' — ускорение силы Кулона.

Тогда можем написать выражение для напряжения E такого поля:

$$E = \frac{F_K}{q}.$$

С другой стороны,

$$F_K = ma' = qE.$$

Отсюда $a' = \frac{qE}{m}$.

Период колебаний в этом случае

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g + a'}}.$$

Частота $\nu = \frac{1}{T}$.

После преобразований получим формулу:

$$E = \frac{(4\pi^2\nu^2l - g)m}{q} = \frac{(4\pi^2 \cdot 9 \cdot 0,1 - 10) \cdot 2 \cdot 10^{-2}}{10^{-2}} \approx 51,1 \text{ (В/м)}.$$

Ответ: 51,1 В/м.