

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное автономное образовательное  
учреждение высшего образования  
«ЮЖНЫЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

**И. Б. Доценко**

**Вопросы и задачи по электростатике**

*Учебно-методическое пособие*

Ростов-на-Дону  
2021

УДК 537.2(075.8)

ББК 22.373.11я73

Д71

### Рецензенты:

доцент кафедры методики преподавания математики и физики, ИКТ  
Волгоградского государственного социально-педагогического университета,  
кандидат физико-математических наук, доцент *К. А. Попов*;  
заведующий кафедры «Физики» Института нанотехнологий, электроники  
и приборостроения Южного федерального университета, кандидат  
физико-математических наук, доцент *А. Б. Колпачёв*

Доценко, И. Б.

Д71      Вопросы и задачи по электростатике : учебно-методическое пособие  
/ И. Б. Доценко ; Южный федеральный университет. – Ростов-на-Дону,  
2021. – 46 с.

Теоретические вопросы и задания охватывают материал, знание которого необходимо для решения задач. Задачи подобраны таким образом, чтобы их решение способствовало пониманию физических процессов и свидетельствовало об успешном освоении курса физики на профильном уровне.

Сборник вопросов и задач, в первую очередь, адресован учащимся профильных физико-математических классов Специализированного учебно-научного центра Южного федерального округа (СУНЦ ЮФО). Включение задач разного уровня, от элементарных до олимпиадных, и их расположение в порядке возрастающей трудности позволяет использовать сборник и в классах с обычной программой по физике, а также для самостоятельной подготовки учащихся.

УДК 537.2(075.8)

ББК 22.373.11я73

© Доценко И. Б., 2021

© Южный федеральный университет, 2021

## ПРЕДИСЛОВИЕ

Предлагаемое учебно-методическое пособие «Вопросы и задачи по электростатике» является составной частью сборника вопросов и задач по физике, предназначенного для углублённого изучения школьного курса физики в Специализированном учебно-научном центре Южного федерального округа (СУНЦ ЮФО). Таким образом, издание в первую очередь предназначено для учащихся профильных физико-математических классов а также для других направлений подготовки с расширенной программой по физике.

Пособие состоит из 4 глав, которые в свою очередь разбиты на 10 параграфов. Каждой параграф начинается с теоретических вопросов по основам электростатики. Знание ответов на предлагаемые вопросы является необходимым условием для успешного решения задач. Задачи, насколько это возможно, расположены в логической последовательности и в порядке возрастания трудности. При таком построении материала решение сравнительно элементарных задач создает необходимую базу для «штурма» более сложных и, как правило, более интересных задач. В конце сборника приведен справочный материал, необходимый для решения задач.

Отличительной особенностью сборника является отсутствие «рецептов» решения задач – приводятся лишь числовые ответы. Это создает дополнительный стимул для активного творческого поиска, предполагающего обсуждение различных путей решения как между самими учащимися, так и с преподавателем. Такой диалог чрезвычайно полезен для понимания основ физики. Необходимо также отметить, что числовые данные в условиях и ответах задач приведены с учетом точности соответствующих величин и правил вычисления с приближенными числами.

## 9. ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ЗАРЯДОВ

### 9.1. Закон Кулона

- 9.1.1. Какие два типа электрических зарядов существуют в природе? Как они взаимодействуют между собой?
- 9.1.2. Сформулируйте закон сохранения электрического заряда.
- 9.1.3. Какие частицы являются элементарными носителями электрического заряда?
- 9.1.4. Чему равна величина элементарного электрического заряда?
- 9.1.5. Как вводится единица измерения электрического заряда?
- 9.1.6. Сформулируйте закон Кулона. Укажите область его применения.
- 9.1.7. Запишите закон Кулона для сферически-симметричных зарядов.
- 9.1.8. Запишите закон Кулона для точечных зарядов в однородном диэлектрике.
- 9.1.9. Чему равна величина коэффициента пропорциональности в законе Кулона? В чём его физический смысл?
- 9.1.10. Запишите закон Кулона в рационализированной форме?
- 9.1.11. Как электрическая постоянная связана с коэффициентом пропорциональности в законе Кулона? Чему равна ее величина?
- 9.1.12. Сколько электронов содержится в объеме 1,0 л кислорода при давлении 1,0 МПа и температуре 200°C? Порядковый номер кислорода в таблице Менделеева – 8. (  $2,4 \cdot 10^{24}$  )

9.1.13. Шарик массой 2,0 г, имеющий заряд 20 нКл, подвешен в воздухе на тонкой изолирующей нити. Определите натяжение нити, если снизу на расстоянии 5,0 см расположен одноименный заряд величиной 0,12 мкКл. ( 11 мН )

9.1.14. Во сколько раз сила гравитационного тяготения между двумя протонами меньше силы их кулоновского отталкивания? (  $1,2 \cdot 10^{36}$  )

9.1.15. С какой электрической силой притягивались бы две свинцовые сферические пылинки радиусом 1,0 мкм, центры которых расположены на расстоянии 1,0 м друг от друга, если у каждого атома одной пылинки отнять по одному электрону и все эти электроны перенести на другую пылинку? ( 4,4 мкН )

9.1.16. В центре двух одинаковых капелек воды находится по одному лишнему электрону, причем сила электрического отталкивания капелек уравнивает силу их гравитационного притяжения. Каковы радиусы капелек? ( 76 мкм )

9.1.17. Два одинаковых металлических шарика, положительные заряды которых отличаются в 9,0 раз, находятся на некотором расстоянии друг от друга. Шарика привели в соприкосновение и снова вернули в исходное положение. Во сколько раз при этом изменилась сила их взаимодействия? ( 2,8 )

9.1.18. Одинаковые маленькие металлические шарики, несущие одноименные заряды 15 и 60 нКл, находятся на расстоянии 2,0 м друг от друга. Шарика привели в соприкосновение. На какое расстояние их нужно развести, чтобы сила взаимодействия осталась прежней? ( 2,5 м )

9.1.19. Имеются два одинаковых металлических шарика. На одном заряд 9,0 нКл, на другом – неизвестный отрицательный заряд. Шарика привели в соприкосновение, а затем разместили на расстоянии 5,0 см друг от друга. При этом сила отталкивания между ними оказалась равной 40 мкН. Определите первоначальный заряд второго шарика. ( -2,3 нКл; -15,7 нКл )

9.1.20. Заряженные шарики, находящиеся на расстоянии 2,0 м друг от друга, отталкиваются с силой 1,0 Н. Общий заряд шариков 50 мкКл. Как распределен этот заряд между шариками? ( 38 мкКл; 12 мкКл )

9.1.21. Заряженные шарики, находящиеся на расстоянии 2,0 м друг от друга, притягиваются с силой 1,0 Н. Общий заряд шариков 50 мкКл. Как распределен этот заряд между шариками? ( 58 мкКл; – 8 мкКл )

9.1.22. Два маленьких одинаковых по размеру заряженных шарика, находящиеся на расстоянии 2,0 м, притягиваются с силой 27 мН. После того как шарики были приведены в соприкосновение и затем разнесены на прежнее расстояние, они стали отталкиваться с силой 9,0 мН. Определите первоначальные заряды шариков. (  $\mp$  2,0 мкКл;  $\pm$  6,0 мкКл )

9.1.23. Два одинаковых небольших шарика массой по 0,10 г каждый подвешены в одной точке на нитях длиной по 25 см. После того как шарикам были сообщены одинаковые заряды, они разошлись на расстояние 5,0 см. Определите заряды шариков. (  $\pm$  5,2 нКл )

9.1.24. Два одинаковых маленьких проводящих шарика подвешены на длинных нерастяжимых непроводящих нитях в одной точке. Шарика имеют одинаковые заряды и находятся в состоянии равновесия на расстоянии 16 см друг от друга. С одного из шариков снимают избыточный заряд и отпускают. Какое расстояние установится между шариками? ( 10 см )

9.1.25. Шарик массой 13 г с электрическим зарядом 2,5 нКл может свободно перемещаться внутри гладкой сферы радиусом 17 см. Какой точечный заряд необходимо поместить в нижней точке сферы, чтобы шарик находился в состоянии устойчивого равновесия в экваториальной плоскости сферы? ( 0,46 мКл )

9.1.26. Неподвижные точечные заряды величиной 4,7 и –2,3 нКл расположены в трансформаторном масле. Сила взаимодействия между зарядами составляет 14 мкН. Определите расстояние между зарядами. ( 5,6 см )

9.1.27. Шар радиусом 5,8 см, обладающий равномерно распределенным зарядом, находится в глицерине. На расстоянии 23 см от поверхности шара расположен точечный заряд 5,4 нКл. Сила взаимодействия между зарядом и шаром равна 37 мкН. Определите заряд шара. ( 2,7 мкКл )

9.1.28. Два одинаковых заряженных шарика, подвешенные на нитях одинаковой длины, опускают в керосин. Какова должна быть плотность материала шариков, чтобы угол расхождения нитей в воздухе и в керосине был один и тот же? ( 1600 кг/м<sup>3</sup> )

## 9.2. Принцип суперпозиции

9.2.1. Сформулируйте принцип суперпозиции для взаимодействующих зарядов

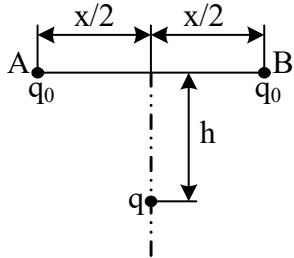
9.2.2. Два положительных точечных заряда величиной 1 и 9 нКл закреплены на оси ОХ в точках с координатами 7 и 15 см соответственно. Определите, в какой точке на прямой ОХ следует поместить третий заряд, чтобы он находился в равновесии. ( 9 см )

9.2.3. В вакууме на расстоянии 13 см друг от друга находятся закрепленные точечные заряд  $q_1 = 5,7$  нКл и неизвестный заряд  $q_2$ . Со стороны заряда  $q_2$  к ним приближается заряд  $q_3 = 2,1$  нКл. Все заряды находятся на одной прямой линии. Когда заряд  $q_3$  приближается к заряду  $q_2$  на расстояние 17 см, равнодействующая сил, действующих на этот заряд, становится равной нулю. Определите заряд  $q_2$ . ( -1,8 нКл )

9.2.4. Имеется система, состоящая из трех одинаковых точечных зарядов, закрепленных в углах равностороннего треугольника. Во сколько раз сила, действующая на точечный заряд со стороны двух других зарядов, больше, чем сила взаимодействия двух таких же зарядов, находящихся на расстоянии, равном длине стороны треугольника. ( 1,73 )

9.2.5. Одинаковые по модулю два положительных и один отрицательный точечные заряды расположены в вершинах равностороннего треугольника.

Модуль силы взаимодействия между двумя любыми зарядами равен 5,3 Н. Определите силу, действующую на отрицательный заряд. ( 9,2 Н )



9.2.6. Система из трех точечных зарядов находится в равновесии, образуя равнобедренный треугольник. Заряд  $q$  закреплен. Два других одинаковых заряда  $q_0$  могут перемещаться без трения вдоль соединяющего их непроводящего стержня АВ. При этом расстояние между этими зарядами  $x = \sqrt{5}h$ . Определите отношение зарядов  $q/q_0$ . ( -0,604 )

9.2.7. Три точечных заряда величиной 2,3 нКл каждый находятся в однородном диэлектрике в вершинах равностороннего треугольника со стороной 4,7 см. Сила, действующая на каждый заряд, равна 5,4 мкН. Определите диэлектрическую проницаемость среды. ( 6,9 )

9.2.8. Три маленьких шарика соединены между собой резиновыми нитями так, что образовался правильный треугольник. Система лежит на гладком горизонтальном столе. Какие одинаковые по величине и знаку заряды надо поместить на шарики, чтобы площадь треугольника увеличилась в 2,0 раза? Коэффициент жесткости нити – 800 Н/м, начальная длина нити – 30 см. (  $\pm 45$  мкКл )

9.2.9. Три точечных заряда величиной 1,00, 2,00 и 3,00 мкКл связаны непроводящими нитями и расположены вдоль одной прямой на гладкой горизонтальной поверхности. Длина нити, связывающей первый и второй заряды, равна 12,0 см, а длина нити, связывающей второй и третий заряды, составляет 15,0 см. Определите разность сил натяжения нитей, действующих на средний заряд. ( 1,15 Н )

9.2.10. Три одинаковых маленьких заряженных шарика массой 8,5 г каждый подвешены на шелковых нитях длиной 1,1 м. Верхние концы нитей закреплены в одной точке. Расстояние между любыми двумя шариками равно 6,4 см. Определите заряд каждого шарика. ( 27 нКл )

9.2.11. Четыре одинаковых заряда расположены на гладкой плоской поверхности в вершинах квадрата и удерживаются в равновесии связывающими их непроводящими нитями. Натяжение нитей составляет 5,9 мН. Чему равна сила, действующая на каждый из зарядов со стороны ближайшего соседнего заряда? ( 4,4 мН )

9.2.12. В вершинах квадрата находятся четыре заряда величиной 8,9 нКл каждый. Какой заряд необходимо поместить в центре квадрата, чтобы система находилась в равновесии? (  $-8,5$  нКл )

9.2.13. Два одинаковых положительных точечных заряда закреплены в противоположных вершинах ромба. Расстояние между зарядами равно длине стороны ромба. В оставшихся вершинах размещены два одинаковых отрицательных точечных заряда. Отрицательные заряды находятся в равновесии. Во сколько раз величина отрицательных зарядов больше, чем величина положительных? ( 5,2 )

9.2.14. Тонкое проволочное кольцо радиусом 14 см имеет равномерно распределенный электрический заряд 17 мкКл. На сколько увеличится сила натяжения проволоки, если в центр кольца поместить точечный заряд 25 мкКл? ( 31 Н )

## 10. ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКОЕ ПОЛЕ

### 10.1. Напряженность поля в вакууме

10.1.1. Что называют напряженностью электрического поля? В каких единицах она измеряется?

10.1.2. Как определяется направление напряженности электрического поля?

10.1.3. Как можно вычислить силу, действующую на пробный заряд со стороны электрического поля?

10.1.4. Как определяется величина и направление напряженности поля, создаваемого точечным зарядом? Какое поле называется однородным?

10.1.5. В чем состоит принцип суперпозиций полей?

10.1.6. Выразите работу электрического поля над пробным зарядом через напряжённость поля. Рассмотрите случаи однородного и неоднородного электрического поля.

10.1.7. Положительный точечный заряд создает в точке 1 напряженность 100 В/м, а в точке 2 – напряженность 36 В/м. Какова напряженность поля в точке, лежащей посередине между точками 1 и 2? Заряд и все три точки находятся на одной прямой. ( 56 В/м )

10.1.8. Электрическое поле создается двумя точечными зарядами 9,3 и 4,6 нКл. Определите расстояние между этими зарядами, если известно, что точка, где напряженность поля равна нулю, находится на расстоянии 28 см от первого заряда. ( 48 см )

10.1.9. На непроводящей нити подвешен маленький шарик массой 3,5 г с электрическим зарядом 6,2 мкКл. Когда этот шарик поместили в однородное вертикальное электрическое поле, сила натяжения нити уменьшилась в 2,2 раза. Определите величину напряженности поля. ( 3,0 кВ/м )

10.1.10. Три одинаковых точечных заряда величиной 1,8 нКл закреплены и находятся на одной прямой в вакууме. Расстояния между соседними зарядами равны 2,6 см. Определите напряженность поля в точке, которая находится в середине отрезка, соединяющего второй и третий заряды. ( 11 кВ/м )

10.1.11. Два одинаковых металлических шарика с зарядами 3,5 и  $-5,7$  нКл находятся на расстоянии 1,6 м друг от друга. Шарики привели в соприкосновение и вернули на прежние места. Определите, на сколько после этого уменьшится напряженность электрического поля в точке С, находящейся между зарядами на одной прямой линии с ними. Расстояние от

первого заряда до точки С в 2,3 раза меньше, чем расстояние от второго заряда до этой же точки. ( 0,14 кВ/м )

10.1.12. Две бусинки массой 3,000 г и 2,000 г имеют электрические заряды 75,00 и 25,00 нКл соответственно. Соединенные невесомой непроводящей перемычкой, они расположены на гладкой непроводящей горизонтальной поверхности во внешнем однородном электрическом поле с напряженностью, направленной от большего заряда к меньшему заряду. Напряженность поля, создаваемая меньшим зарядом в месте расположения большего заряда, равна 22,50 кВ/м. При какой напряженности внешнего поля движение бусинок происходит так, что соединяющая их перемычка не деформируется? ( 112,5 кВ/м )

10.1.13. Шарик, имеющий массу 0,40 г и заряд 0,49 мкКл, подвешен на нити в однородном электрическом поле, силовые линии которого горизонтальны. На какой угол от вертикали отклонится шарик, если напряженность поля равна 8,0 кВ/м? ( 45° )

10.1.14. В трех вершинах квадрата закреплены точечные заряды величиной 7,5 нКл каждый, а в четвертой вершине закреплен точечный заряд  $-5,0$  нКл. Напряженность поля в центре квадрата равна 23 кВ/м. Определите длину стороны квадрата. ( 9,9 см )

10.1.15. Два одинаковых заряда по 100 нКл каждый расположены в крайних точках гипотенузы прямоугольного треугольника с катетами длиной 30,0 и 40,0 см. Определите напряженность поля в вершине прямого угла. ( 11,5 кВ/м )

10.1.16. Три одинаковых заряда по 1,0 нКл каждый расположены в вершинах прямоугольного треугольника с катетами 30 и 40 см. Найдите напряженность электрического поля, создаваемого всеми зарядами в точке пересечения гипотенузы с перпендикуляром, опущенном на нее из вершины прямого угла. ( 0,25 кВ/м )

10.1.17. Одинаковые по модулю, но разные по знаку заряды ( $\pm 10$  нКл) расположены в двух вершинах равностороннего треугольника со стороной 1,0 м. Найдите напряженность электрического поля в третьей вершине треугольника. ( 90 В/м )

10.1.18. Два точечных заряда 1,5 и 2,2 мкКл находятся на расстоянии 45 см друг от друга. Определите напряженность электрического поля этих зарядов в точке, составляющей с зарядами равносторонний треугольник. ( 0,14 МВ/м )

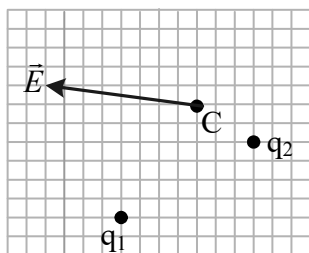
10.1.19. Два точечных заряда 46 и  $-59$  нКл находятся в вершинах равностороннего треугольника со стороной 18 см. Определите напряженность поля, создаваемого этими зарядами в третьей вершине треугольника. ( 15 кВ/м )

10.1.20. В двух вершинах равностороннего треугольника со стороной 10 см расположены в вакууме частицы с зарядом по 10 нКл. Вычислите напряженность электрического поля в центре треугольника. ( 27 кВ/м )

10.1.21. В двух вершинах равностороннего треугольника со стороной 10 см находятся заряды по 1,0 нКл. В третьей вершине – такой же по величине, но противоположный по знаку заряд. Определите величину напряженности поля, создаваемого зарядами в центре треугольника. ( 5,4 кВ/м )

10.1.22. В двух вершинах при основании равнобедренного треугольника закреплены одинаковые положительные точечные заряды. Углы при основании треугольника равны  $30,0^\circ$ , а расстояние между зарядами составляет 16,0 см. Напряженность электрического поля в третьей вершине треугольника равна 12,0 кВ/м. Определите величину зарядов. ( 11,4 нКл )

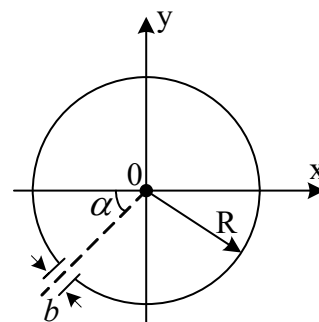
10.1.23. Электрическое поле создано двумя точечными зарядами величиной 30 и  $-10$  нКл. Расстояние между зарядами – 20 см. Определите напряженность электрического поля в точке, находящейся на расстоянии 15 см от первого и 10 см от второго заряда. ( 17 кВ/м )



10.1.24. На рисунке изображен вектор напряжённости  $\vec{E}$  электростатического поля в точке  $C$ , созданного точечными зарядами  $q_1$  и  $q_2$ . Определите заряд  $q_2$ , если  $q_1$  равняется  $-6,4$  нКл. (  $3,2$  нКл )

10.1.25. В точке с координатами  $x_1 = 2,5$  см,  $y_1 = 4,8$  см находится точечный заряд  $-18$  нКл. Точечный заряд  $-13$  нКл расположен в точке с координатами  $x_2 = 9,1$  см,  $y_2 = 7,3$  см. Вычислите напряженность поля в точке с координатами  $x = 6,2$  см,  $y = 9,7$  см. (  $95$  кВ/м )

10.1.26. По кольцу с радиусом  $R = 5,9$  см равномерно распределен заряд  $19$  нКл. В кольце сделана маленькая прорезь шириной  $b = 1,2$  мм,  $\alpha = 60^\circ$ . Определите проекцию напряженности поля в центре кольца на ось  $y$ . (  $-0,14$  кВ/м )



10.1.27. Определите напряженность электрического поля в точке, лежащей на оси равномерно заряженного тонкого кольца радиусом  $8,0$  см на расстоянии  $6,0$  см от его центра. Заряд кольца равен  $28$  нКл. (  $15$  кВ/м )

## 10.2. Потенциал. Разность потенциалов

10.2.1. В чем состоит потенциальность электрического поля?

10.2.2. Выразите работу электрического поля над пробным зарядом через потенциальную энергию этого заряда в поле.

10.2.3. Что называется потенциалом электрического поля в данной точке? В каких единицах он измеряется?

10.2.4. В каких единицах СИ измеряется потенциал?

10.2.5. В чем состоит неопределенность потенциала поля в данной точке?

10.2.6. Выразите работу со стороны поля над зарядом через изменение потенциала этого поля?

10.2.7. Что называется разностью потенциалов?

10.2.8. В чем состоит физический смысл разности потенциалов?

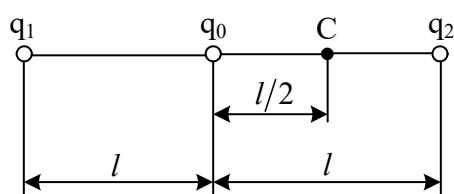
10.2.9. Как вычисляется потенциал поля, создаваемого точечным зарядом?

10.2.10. Как вычисляется потенциал поля, создаваемого системой зарядов?

10.2.11. Как связаны между собой разность потенциалов и напряженность однородного электростатического поля?

10.2.12. Как вычисляется потенциальная энергия взаимодействия зарядов?

10.2.13. Два одинаковых точечных заряда  $q_1$  и  $q_2$  величиной по  $2,37 \text{ мкКл}$



расположены в вакууме. Какой точечный заряд  $q_0$  нужно поместить посередине между ними, чтобы потенциал в точке  $C$  был равен нулю? ( $-3,16 \text{ мкКл}$ )

10.2.14. Два точечных заряда по  $3,46 \text{ нКл}$  каждый расположены на оси  $x$  на расстоянии  $45,6 \text{ см}$  симметрично относительно начала координат, где находится точечный заряд  $-6,37 \text{ нКл}$ . Определите координату точки на оси  $x$ , в которой потенциал поля равен нулю, а проекция напряженности на ось  $x$  отрицательна. ( $13,6 \text{ см}$ )

10.2.15. Четыре заряда закреплены в вершинах квадрата со стороной  $2,7 \text{ см}$ . Какой потенциал они создают в центре квадрата, если полный заряд системы равен  $4,5 \text{ нКл}$ ? ( $2,1 \text{ кВ}$ )

10.2.16. Точечные заряды  $27$  и  $-42 \text{ нКл}$  находятся в вершинах при основании равнобедренного треугольника длиной  $16 \text{ см}$ . Чему равен потенциал электрического поля в третьей вершине треугольника, если угол при этой вершине равен  $40^\circ$ ? ( $-0,58 \text{ кВ}$ )

10.2.17. Заряд величиной  $5,8 \text{ мкКл}$  находится в точке с координатами  $x_1 = 18 \text{ см}$ ,  $y_1 = 23 \text{ см}$ . Заряд  $-4,3 \text{ мкКл}$  находится в точке с координатами

$x_2 = 34$  см,  $y_2 = 77$  см. Определите потенциал поля этих зарядов в точке с координатами  $x = 86$  см,  $y = 29$  см. ( 22 кВ )

10.2.18. По тонкому проволочному кольцу радиусом 3,7 см равномерно распределен заряд 61 нКл. Определите разность потенциалов между центром кольца и точкой, находящейся на оси кольца на расстоянии 4,8 см от его центра. ( 5,8 кВ )

10.2.19. Пылинка массой 100 нг находится в однородном электрическом поле между горизонтальными пластинами с разностью потенциалов 6,0 кВ. Расстояние между пластинами 5,0 см. Каким зарядом обладает пылинка, если она находится в равновесии? (  $\pm 82 \cdot 10^{-16}$  Кл )

10.2.20. Пылинка находится во взвешенном состоянии в плоском конденсаторе, расположенном горизонтально. Ее масса – 10 пг, расстояние между пластинами конденсатора – 5,0 мм. Теряя заряд, пылинка выходит из равновесия. Чтобы вернуть пылинку в состояние равновесия, напряжение пришлось увеличить на 8,0 В. Какой заряд потеряла пылинка, если первоначально к конденсатору было приложено напряжение 154 В? (  $1,6 \cdot 10^{-19}$  Кл )

10.2.21. Два точечных заряда величиной 0,1 и 50 нКл находятся на расстоянии 40 см друг от друга. Какую работу надо совершить, чтобы сблизить их до расстояния 15 см? ( 0,19 мкДж )

10.2.22. Тонкое проволочное кольцо радиусом 6,0 см имеет равномерно распределенный заряд 31 нКл. На оси кольца в точке, расположенной на расстоянии 8,0 см от его центра, помещен заряд 8,85 нКл. Найдите энергию точечного заряда в электрическом поле кольца. ( 25 мкДж )

10.2.23. Три одинаковых точечных заряда величиной 24 нКл закреплены на одной прямой. Расстояние между соседними зарядами составляет 1,8 см. Определите работу сил электростатического поля, совершенную над центральным зарядом после его освобождения. ( 0,58 мДж )

10.2.24. Три одинаковых точечных заряда закреплены в вершинах равностороннего треугольника. Во сколько раз уменьшится потенциальная энергия системы при удалении одного из зарядов на бесконечность? ( 3 )

10.2.25. Три одинаковых заряда величиной 13 нКл закреплены в вершинах квадрата со стороной 25 см. Определите работу сил электростатического поля, совершенную над зарядами после их поочередного освобождения. ( 16 мкДж )

10.2.26. В вершинах равностороннего треугольника размещены точечные заряды  $-2,36$ ,  $5,19$  и  $9,28$  нКл. Последний заряд удалили на бесконечность. Определите отношение значений потенциальной энергии системы в конечном и начальном состояниях. (  $-0,874$  )

10.2.27. Три точечных заряда  $q_1 = 1,4$  нКл,  $q_2 = 2,5$  нКл и  $q_3 = 4,1$  нКл находятся в вершинах равнобедренного прямоугольного треугольника с катетом  $a = 3,8$  см. Заряд  $q_2$  находится в вершине прямого угла. Какую работу совершат силы поля, чтобы заряды расположились вдоль одной прямой в порядке  $q_1, q_2, q_3$  на расстоянии  $a$  друг от друга? ( 0,28 мкДж )

10.2.28. Три одинаковых точечных заряда величиной 47 нКл находятся в вакууме на одной прямой на расстоянии  $a = 1,9$  см друг от друга. Какую работу необходимо совершить, чтобы расположить эти заряды в вершинах равностороннего треугольника со стороной  $a/2$ ? ( 3,7 мДж )

10.2.29. Четыре точечных заряда величиной 6,0 нКл каждый расположены вдоль одной прямой на расстоянии  $a = 5,4$  см друг от друга. Какую работу надо совершить, чтобы разместить эти заряды в вершинах тетраэдра с ребром, равным первоначальному расстоянию между зарядами  $a$ ? ( 10 мкДж )

### 10.3. Электростатическое поле в веществе

10.3.1. Чему равна напряженность электростатического поля внутри проводника? Как распределяется избыточный электрический заряд проводника?

10.3.2. Как определяются напряженность и потенциал электрического поля, создаваемого заряженными сферой или проводящим шаром?

10.3.3. Чему равен потенциал заземленного проводника?

10.3.4. Что называют поверхностной плотностью электрического заряда? В каких единицах она измеряется?

10.3.5. Как вычисляется напряженность поля заряженной плоскости?

10.3.6. Как вычисляется энергия электрического поля заряженного проводника?

10.3.7. Как вычисляется энергия электрического поля заряженных сферы или проводящего шара?

10.3.8. В чем состоит поляризация диэлектрика?

10.3.9. Что называют диэлектрической проницаемостью вещества?

10.3.10. Запишите формулы электростатики с учетом диэлектрической проницаемости вещества.

10.3.11. Определите полный заряд Земли, если известно, что напряженность поля у ее поверхности равна  $130 \text{ В/м}$ . (  $0,59 \text{ МКл}$  )

10.3.12. Заряд равномерно распределен по поверхности проводящего шара. Его поверхностная плотность составляет  $80 \text{ пКл/см}^2$ . Найдите напряженность поля в точке, отстоящей от поверхности шара на расстояние, равное его диаметру. (  $10 \text{ кВ/м}$  )

10.3.13. Металлический шар радиусом  $2,8 \text{ см}$  окружен сферической металлической оболочкой радиусом  $5,1 \text{ см}$ . Определите напряженность электрического поля на расстояниях  $4,6$  и  $6,9 \text{ см}$  от центра шара. Заряд шара равен  $4,3 \text{ нКл}$ , а заряд оболочки составляет  $-6,2 \text{ нКл}$ . (  $18 \text{ кВ/м}$ ;  $3,6 \text{ кВ/м}$  )

10.3.14. Уединенный положительный точечный заряд  $q$  создает на расстоянии  $r$  от себя электрическое поле с напряженностью  $72 \text{ В/м}$ . Три концентрические сферы радиусами  $0,5 \cdot r$ ,  $1,5 \cdot r$  и  $2,5 \cdot r$  обладают равномерно распределенными по их поверхностям зарядами  $1,5 \cdot q$ ,  $-1,0 \cdot q$  и  $0,5 \cdot q$  соответственно. Чему равна напряженность поля в точке, отстоящей от центра сфер на расстояние  $2,0 \cdot r$ , если точечный заряд  $q$  находится в центре сфер? ( $27 \text{ В/м}$ )

10.3.15. Электростатическое поле создается металлической сферой радиусом  $7,6 \text{ см}$ , на которой равномерно распределен заряд величиной  $8,5 \text{ мкКл}$ , а также закрепленным в центре этой сферы точечным зарядом, равным  $-2,6 \text{ мкКл}$ . Определите величину силы, действующей со стороны этого поля на точечный заряд  $3,9 \text{ мкКл}$ , который находится за пределами сферы на расстоянии  $3,1 \text{ см}$  от ее поверхности. ( $1,8 \text{ Н}$ )

10.3.16. К тонкой незаряженной металлической сфере радиусом  $92 \text{ см}$  с центром в начале координат поднесли на расстоянии  $1,25 \text{ м}$  от центра точечный заряд величиной  $3,2 \text{ нКл}$ , расположенный на оси  $x$ . Определите напряженность поля, которое создадут индуцированные на поверхности сферы заряды в точке с координатами  $x = 0,58 \text{ м}$ ,  $y = 0,37 \text{ м}$ ,  $z = 0,43 \text{ м}$ . ( $37 \text{ В/м}$ )

10.3.17. Центр уединенной проводящей сферы радиусом  $8,3 \text{ см}$  совпадает с началом координат. На одной из координатных осей на расстояниях  $5,1$  и  $24,5 \text{ см}$  от центра сферы закреплены точечные заряды величиной  $46$  и  $0,52 \text{ мкКл}$  соответственно. Определите силу, действующую на меньший из зарядов со стороны электростатического поля. ( $3,6 \text{ Н}$ )

10.3.18. Маленький шарик подвешен на тонкой нити в пространстве между пластинами плоского конденсатора, которые расположены горизонтально. Заряд шарика  $1,0 \text{ нКл}$ . Когда конденсатору сообщили заряд  $20 \text{ мкКл}$ , натяжение нити увеличилось вдвое. Определите массу шарика. Площадь каждой пластины конденсатора равна  $200 \text{ см}^2$ . ( $12 \text{ г}$ )

10.3.19. Две одинаковые проводящие пластины расположены вертикально и параллельно друг другу. На первой из них находится заряд  $-9,56$  мкКл, а на второй – заряд  $7,84$  мкКл. Найдите отношение зарядов на правой и левой плоскостях первой пластины. Размеры пластин считайте много большими расстояния между ними. (  $10,1$  )

10.3.20. Три одинаковые проводящие пластины расположены вертикально и параллельно друг другу. На первой из них (левой) находится заряд  $84$  нКл, на второй (средней) – заряд  $-52$  нКл, на третьей (правой) – заряд  $-32$  нКл. Найдите отношение зарядов, находящихся на левой и правой плоскостях средней пластины. Размеры пластин считайте много большими расстояний между ними. (  $-2,6$  )

10.3.21. Проводящий шар радиусом  $5,4$  см, имеющий заряд  $4,7$  нКл, окружен сферическим слоем диэлектрика с внешним радиусом  $9,1$  см. Диэлектрическая проницаемость вещества равна  $2,3$ . Определите скачок напряженности поля на внутренней и внешней границах диэлектрика. (  $6,3$  кВ/м;  $2,9$  кВ/м )

10.3.22. Чему равен заряд медного шара диаметром  $11$  мм, если он находится в трансформаторном масле во взвешенном состоянии в однородном электрическом поле? Напряженность поля направлена вертикально вверх и равна  $36$  кВ/см. (  $15$  нКл )

10.3.23. В каждой вершине квадрата со стороной  $5,3$  см находится точечный заряд величиной  $29$  нКл. Определите потенциал поля в центре квадрата, если вся система помещена в однородный диэлектрик с диэлектрической проницаемостью, равной  $2,4$ . (  $12$  кВ )

10.3.24. Полый шар равномерно заряжен. В центре шара потенциал равен  $170$  В, а в точке на расстоянии  $38$  см от центра –  $25$  В. Определите радиус шара. (  $56$  мм )

10.3.25. Металлический шар радиусом  $5,0$  см обладает равномерно распределенным зарядом  $34$  нКл. Центр шара совпадает с нулевой точкой прямоугольной системы координат. Определите разность потенциалов между

точкой, отстоящей от поверхности шара на расстояние 35 см и находящейся на оси  $x$ , а также точкой, отстоящей от центра шара на расстояние 15 см и находящейся на оси  $y$ . (  $-1,3$  кВ )

10.3.26. Шарик, заряженный до потенциала  $-792$  В, имеет поверхностную плотность заряда  $-333$  нКл/м<sup>2</sup>. Какое количество электронов составляет избыточный заряд шарика? (  $1,16 \cdot 10^{10}$  )

10.3.27. Центр уединенной незаряженной проводящей сферы радиусом 24 см совпадает с началом координат. На оси  $y$  на расстоянии 17 см от центра сферы находится точечный заряд величиной 8,3 нКл. Определите потенциал поля в точке с координатами  $x = 39$  см,  $y = 42$  см,  $z = 61$  см. (  $8,9$  кВ )

10.3.28. Внутри металлического шарового слоя, внутренний и внешний радиусы которого соответственно равны 19 и 34 см, на расстоянии 12 см от центра находится точечный заряд 26 нКл. Определите потенциал электростатического поля в центре сферы. (  $1,4$  кВ )

10.3.29. Точечный заряд величиной 12 мкКл поместили на расстоянии 26 см от поверхности уединенного заземленного металлического шара радиусом 14 см. Определите заряд, индуцированный на поверхности шара. (  $-0,42$  мкКл )

10.3.30. Вычислить работу сил электрического поля при перенесении точечного заряда 20 нКл из бесконечности в точку, находящуюся на расстоянии 1,0 см от поверхности заряженного шара радиусом 1,0 см с поверхностной плотностью заряда 1,0 нКл/см<sup>2</sup>. (  $-0,11$  мДж )

10.3.31. На расстоянии 90 см от поверхности шара радиусом 10 см, несущего равномерно распределённый заряд с поверхностной плотностью 30 мкКл/м<sup>2</sup>, находится точечный заряд 7,0 нКл. Определите работу, которую надо совершить, чтобы перенести заряд в точку, расположенную на расстоянии 50 см от центра шара. (  $240$  мкДж )

10.3.32. Восемь одинаковых сферических капель заряжены до одинакового потенциала 50 В. Все капли соединяются в одну большую. Определите потенциал большой капли. ( 200 В )

10.3.33. Два металлических шара радиусами 5,0 и 3,0 см заряжены электричеством. Заряд первого шара составляет 5,0 мКл, второго – равен 8,0 мКл. Найдите изменение величины зарядов, если шары соединить между собой тонким длинным металлическим проводником. ( 3,1 мКл )

10.3.34. Центры двух заряженных сфер радиусами 13 и 22 см находятся на расстоянии 54 см друг от друга. По поверхностям этих сфер равномерно распределены электрические заряды  $-17$  и  $46$  нКл соответственно. Определите потенциал в центре меньшей сферы. (  $-0,41$  кВ )

10.3.35. Уединенный точечный заряд  $q$  создает на расстоянии  $r$  от себя электростатическое поле с потенциалом 16 В. Три концентрические сферы с радиусами  $0,75 \cdot r$ ,  $1,5 \cdot r$  и  $2,5 \cdot r$  несут равномерно распределенные по их поверхности заряды  $2,2 \cdot q$ ,  $-1,4 \cdot q$  и  $1,6 \cdot q$  соответственно. Точечный заряд  $q$  находится в центре сфер. Чему равно значение потенциала поля в точке, отстоящей от центра сфер на расстояние  $1,3 \cdot r$ ? ( 35 В )

10.3.36. Две проводящие концентрические сферы радиусами 14 и 26 см находятся в вакууме. Внутренней сфере сообщили заряд 61 нКл, а внешнюю сферу заземлили. Определите потенциал внутренней сферы. ( 1,8 кВ )

10.3.37. Две проводящие концентрические сферы радиусами 17 и 38 см расположены в вакууме. Внутренняя сфера заземлена, а внешней сообщили заряд 0,65 мКл. Определите потенциал внешней сферы. ( 8,5 кВ )

10.3.38. Два металлических шара радиусами 10 и 20 мм соединены между собой тонким прямым проводником длиной 30 см, расположенным по оси системы. Системе сообщают заряд 6,0 мКл. Определите силу взаимодействия шаров. ( 0,65 Н )

10.3.39. Заряженный шар радиусом 20 мм соединяют тонким длинным проводником с незаряженным шаром радиусом 30 мм. После того как шары разъединили, энергия второго шара оказалась равной 400 мДж. Какой заряд был на первом шаре до его соединения со вторым? (  $\pm 2,7$  мкКл )

10.3.40. Тысяча невзаимодействующих капель ртути, несущих одинаковый заряд, сливается в одну большую каплю. Во сколько раз увеличится энергия электрического поля системы по сравнению с первоначальной? ( 100 )

10.3.41. Два одинаковых металлических шара несут одноименные заряды, причем заряд одного из них в 3 раза больше другого. Во сколько раз уменьшится энергия системы после соединения шаров проводящей проволокой? Расстояние между шарами считайте намного большим по сравнению с их размерами. ( 1,25 )

10.3.42. По тонкому диску радиусом 45 см равномерно распределен заряд 83 нКл. Определите разность потенциалов для точек, находящихся в центре диска и на оси диска на расстоянии 3,5 мм от его поверхности. ( 26 В )

10.3.43. Центры двух тонких дисков радиусом 62 см находятся на одной оси на расстоянии 4,8 мм друг от друга. Одному из дисков сообщили заряд 73 нКл, а другому – заряд  $-51$  нКл. Определите разность потенциалов между центрами дисков. ( 28 В )

10.3.44. Три одинаковые проводящие пластины расположены параллельно друг другу на одинаковых расстояниях одна от другой. На первой из них (левой), находится заряд  $5,0q$  ( $q > 0$ ), на второй (средней) – заряд  $1,5q$ , на третьей (правой) – заряд  $-6,5q$ . Среднюю и правую пластины соединяют накоротко. Какая часть энергии электростатического поля этой системы перейдет при этом в другие виды энергии? Считайте размеры пластин много большими по сравнению с расстояниями между ними. ( 0,63 )

## 11. ЭЛЕКТРОЕМКОСТЬ

### 11.1. Конденсаторы

- 11.1.1. Что называется электроемкостью уединенного проводника?
- 11.1.2. В каких единицах измеряется электроемкость?
- 11.1.3. Как вычисляется электроемкость уединенных сферы и шара?
- 11.1.4. Что называется конденсатором?
- 11.1.5. Что понимают под зарядом конденсатора?
- 11.1.6. Как определяется емкость конденсатора?
- 11.1.7. Чем отличаются определения электроемкостей конденсатора и уединенного проводника?
- 11.1.8. Выведите формулу емкости плоского конденсатора.
- 11.1.9. Выведите формулу емкости сферического конденсатора.
- 11.1.10. Выведите формулу цилиндрического конденсатора.
- 11.1.11. От каких физических величин зависит емкость конденсатора?
- 11.1.12. Объясните зависимость емкости конденсатора от площади пластин.
- 11.1.13. Объясните зависимость емкости конденсатора от расстояния между пластинами.
- 11.1.14. Объясните зависимость емкости конденсатора от диэлектрической проницаемости среды.

11.1.15. Что можно сказать о заряде и напряжении для системы конденсаторов, если она подключена к источнику тока или отключена от него?

11.1.16. Конденсатор заряжен до разности потенциалов 600 В и отключен от источника тока. Определите разность потенциалов между пластинами конденсатора, если расстояние между ними уменьшится вдвое. ( 300 В )

11.1.17. На пластинах плоского конденсатора равномерно распределен заряд с поверхностной плотностью  $180 \text{ нКл/м}^2$ . На сколько возрастет разность потенциалов между пластинами при увеличении расстояния между ними от 1,2 до 2,6 мм? ( 28 В )

11.1.18. Плоский воздушный конденсатор имеет площадь пластин  $60 \text{ см}^2$ , его заряд равен  $1,0 \text{ нКл}$ , разность потенциалов между пластинами составляет 90 В. Определите расстояние между пластинами конденсатора. ( 4.8 мм )

11.1.19. В плоском конденсаторе расстояние между квадратными пластинами со стороной 2,5 см равно 1,2 мм. Какова разность потенциалов между пластинами, если заряд конденсатора составляет  $0,56 \text{ нКл}$ ? ( 0,12 кВ )

11.1.20. Плоский конденсатор зарядили до напряжения 240 В и отключили от источника. Каким станет напряжение между пластинами, если расстояние между ними увеличить от 0,15 до 0,25 мм, а пространство между пластинами заполнить слюдой? ( 67 В )

11.1.21. Плоский воздушный конденсатор емкостью 48 пФ с площадью пластин  $270 \text{ см}^2$  подсоединили к источнику тока с напряжением 14 В. Чему равна напряженность электрического поля в пространстве между пластинами конденсатора? ( 2,8 кВ/м )

11.1.22. У плоского воздушного конденсатора с площадью пластин  $180 \text{ см}^2$ , подсоединенного к клеммам источника тока с напряжением 12 В, напряженность поля в зазоре между пластинами равна  $2,0 \text{ кВ/м}$ . Определите емкость конденсатора. ( 27 пФ )

11.1.23. Площадь пластин плоского воздушного конденсатора составляет  $2,6 \text{ см}^2$ . Пробой воздуха в конденсаторе происходит при напряженности электрического поля  $23 \text{ кВ/м}$ . Какой максимальный заряд может быть сообщен данному конденсатору? (  $53 \text{ пКл}$  )

11.1.24. Одной из пластин плоского конденсатора емкостью  $15 \text{ нФ}$  сообщили заряд  $0,62 \text{ мКл}$ , а другой – заряд  $-1,34 \text{ мКл}$ . Определите разность потенциалов между пластинами конденсатора. (  $65 \text{ В}$  )

11.1.25. Плоский воздушный конденсатор емкостью  $10 \text{ мкФ}$  подключен к источнику, напряжение на его обкладках равно  $6,0 \text{ В}$ . Не отключая конденсатор от источника, в него вставляют слюдяную пластину, заполняющую всё пространство между обкладками. Каким станет заряд конденсатора? (  $0,36 \text{ мКл}$  )

11.1.26. Из плоского конденсатора, присоединенного к источнику с напряжением  $1,0 \text{ кВ}$ , вытаскивают заполняющую все пространство между его обкладками пластину из диэлектрика с проницаемостью, равной  $3,0$ . Какой заряд вернется в источник? Площадь обкладок конденсатора равна  $100 \text{ см}^2$ , расстояние между обкладками составляет  $10 \text{ мм}$ . (  $18 \text{ нКл}$  )

11.1.27. Вычислите силу, с которой притягиваются друг к другу пластины заряженного конденсатора емкостью  $1,0 \text{ мкФ}$  с расстоянием между пластинами  $1,0 \text{ см}$ , если напряжение на конденсаторе равно  $1 \text{ кВ}$ . (  $50 \text{ Н}$  )

11.1.28. Вычислите емкость Земли, считая ее проводящим шаром. (  $0,71 \text{ мФ}$  )

11.1.29. Определите емкость металлической сферы радиусом  $2,7 \text{ см}$ , погруженной в воду. (  $0,24 \text{ нФ}$  )

11.1.30. Разность потенциалов между обкладками воздушного сферического конденсатора равна  $380 \text{ В}$ . Расстояние между ними составляет  $1,7 \text{ мм}$ . Радиус

внутренней обкладки равен 2,95 см. Определите поверхностную плотность заряда на внутренней обкладке. ( 2,1 мкКл/м<sup>2</sup> )

11.1.31. Две концентрические металлические сферы радиусами 2,3 и 2,4 см образуют сферический конденсатор. Определите емкость этого конденсатора, если пространство между сферами заполнено парафином. ( 0,12 нФ )

## 11.2. Соединения конденсаторов

11.2.1. Что понимают под зарядом и напряжением для системы конденсаторов, соединённых параллельно? Как связаны между собой напряжения на конденсаторах, соединенных параллельно?

11.2.2. Выведите формулу для общей емкости параллельно соединенных конденсаторов. Какой вид примет эта формула для N одинаковых конденсаторов, соединённых параллельно?

11.2.3. Как связаны между собой заряды и емкости параллельно соединенных конденсаторов?

11.2.4. Что понимают под зарядом и напряжением для системы конденсаторов, соединённых последовательно? Как связаны между собой заряды на последовательно соединенных конденсаторах?

11.2.5. Установите связь между величиной емкости и разностью потенциалов на конденсаторах, соединенных последовательно.

11.2.6. Выведите формулу для общей емкости системы конденсаторов, соединенных последовательно. Получите частные случаи этой формулы для двух произвольных конденсаторов и для N одинаковых конденсаторов, соединённых последовательно.

11.2.7. Конденсатор состоит из трех металлических пластин площадью 5,0 см<sup>2</sup> каждая, разделенных одинаковыми слоями слюды толщиной 100 мкм.

Крайние пластины соединены между собой. Какова емкость такого конденсатора? ( 0,53 нФ )

11.2.8. Заряженный до напряжения 310 В конденсатор емкостью 54 мкФ соединили параллельно с незаряженным конденсатором емкостью 92 мкФ. Какой заряд появится на втором конденсаторе? ( 11 мКл )

11.2.9. К воздушному плоскому конденсатору, заряженному до напряжения 210 В и отключенному от источника питания, присоединили параллельно с такими же геометрическими размерами, но не заряженный конденсатор со стеклянной пластиной, заполняющей весь зазор между его обкладками. Какова диэлектрическая проницаемость стекла, если напряжение на зажимах батареи конденсаторов оказалось равным 30 В? ( 6,0 )

11.2.10. Обкладки конденсатора с неизвестной емкостью, заряженного до напряжения 80 В, соединяют с одноименными обкладками конденсатора емкостью 6,0 мкФ, заряженного до 16 В. Определите неизвестную емкость, если напряжение на конденсаторах после соединения стало 20 В. ( 0,4 мкФ )

11.2.11. Конденсаторы с емкостями 0,23 и 0,47 нФ заряжены до разности потенциалов 52 и 146 В соответственно. После зарядки конденсаторы соединяют параллельно разноименно заряженными пластинами. Определите установившуюся разность потенциалов между пластинами конденсаторов. ( 81 В )

11.2.12. Во сколько раз увеличится емкость плоского конденсатора, пластины которого расположены вертикально, если конденсатор погрузить до половины в жидкий диэлектрик с диэлектрической проницаемостью, равной 5? ( 3 )

11.2.13. Плоский воздушный конденсатор с расстоянием между пластинами 4,5 мм погружают до середины пластин в диэлектрик с диэлектрической проницаемостью, равной 3,7. На сколько нужно увеличить расстояние между пластинами конденсатора, чтобы его емкость осталась прежней? ( 6,1 мм )

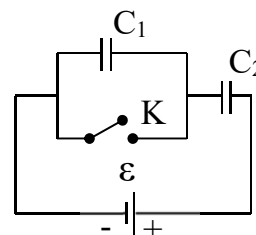
11.2.14. Воздушный конденсатор с электроемкостью  $72 \text{ нФ}$  заполняют диэлектриком с диэлектрической проницаемостью, равной  $4,4$ . Конденсатор какой емкости необходимо включить последовательно с данным, чтобы электроемкость получившейся батареи конденсаторов равнялась исходной? ( $93 \text{ нФ}$ )

11.2.15. Площадь обкладок плоского воздушного конденсатора равна  $560 \text{ см}^2$ . Расстояние между пластинами составляет  $3,2 \text{ мм}$ . Между обкладками параллельно им помещают пластину толщиной  $1,5 \text{ мм}$  из диэлектрика с диэлектрической проницаемостью, равной  $6,7$ . Определите электроемкость получившегося конденсатора. ( $0,26 \text{ нФ}$ )

11.2.16. Определите емкость плоского воздушного конденсатора, если между его обкладками параллельно им помещена металлическая пластина толщиной  $1,7 \text{ мм}$ . Площадь пластины и обкладок конденсатора одинакова и составляет  $36 \text{ см}^2$ . Расстояние между обкладками конденсатора равно  $4,3 \text{ мм}$ . ( $12 \text{ пФ}$ )

11.2.17. Два конденсатора, рассчитанные на максимальное напряжение  $300 \text{ В}$  каждый, но имеющие различные емкости  $C_1$  и  $C_2$ , соединены последовательно. Какое наибольшее напряжение можно приложить к такой батарее конденсаторов, не вызывая пробоя любого из них, если  $C_2/C_1 = 0,6$ ? ( $480 \text{ В}$ )

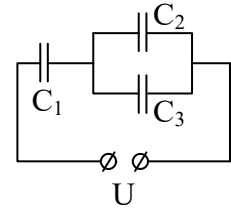
11.2.18. На рисунке приведена электрическая цепь, в которой  $\varepsilon = 10 \text{ В}$ ,  $C_1 = 10 \text{ мкФ}$  и  $C_2 = 15 \text{ мкФ}$ . Какой заряд пройдет через источник тока после замыкания ключа? ( $90 \text{ мкКл}$ )



11.2.19. Плоский воздушный конденсатор с расстоянием между обкладками  $3,0 \text{ мм}$  заполнен параллельными обкладкам слоями слюды и парафина одинаковой толщины и подключен к источнику тока с напряжением  $700 \text{ В}$ . Определите напряженность электрического поля в каждом слое диэлектрика. ( $120 \text{ кВ/м}$ ;  $350 \text{ кВ/м}$ )

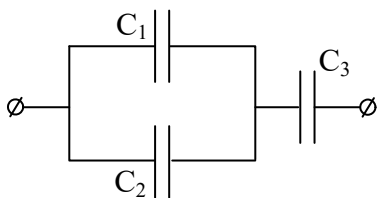
11.2.20. В пространство между обкладками плоского конденсатора параллельно его пластинам вводят фторопластовую пластинку. Ее толщина составляет половину расстояния между обкладками конденсатора. Во сколько раз увеличится сила электростатического взаимодействия между обкладками конденсатора, если разность потенциалов между ними поддерживается постоянной? ( 2,25 )

11.2.21. Два одинаковых плоских конденсатора соединены последовательно и подключены к источнику постоянной ЭДС. Во сколько раз изменится напряженность поля в одном из конденсаторов, если в другой так ввести пластину с диэлектрической проницаемостью, равной 3,0, чтобы она полностью заполнила все пространство между обкладками? ( 1,5 )

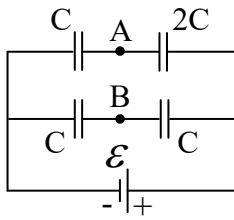


11.2.22. Конденсаторы с емкостями  $C_1 = 1,4$  мкФ,  $C_2 = 2,6$  мкФ,  $C_3 = 3,8$  мкФ соединены как показано на рисунке. Напряжение  $U = 18$  В. Определите заряд конденсатора  $C_3$ . ( 12 мкКл )

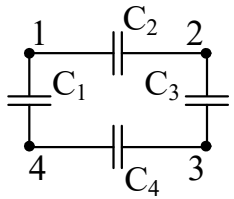
11.2.23. К конденсатору емкостью 1,0 мкФ подключены последовательно два конденсатора с емкостями 1,0 и 2,0 мкФ, соединенные параллельно. Конденсаторы подключены к источнику постоянного напряжения 120 В. Какова общая емкость конденсаторов? Определите напряжение на каждом конденсаторе. ( 0,75 мкФ; 90 В; 30 В )



11.2.24. Батарея из трех одинаковых плоских воздушных конденсаторов заряжена до напряжения 270 В и отсоединена от источника. Чему будет равно напряжение на клеммах батареи, если расстояние между пластинами конденсатора  $C_3$  увеличить в 1,80 раза и заполнить пространство между его пластинами однородным диэлектриком с диэлектрической проницаемостью, равной 2,40? ( 225 В )

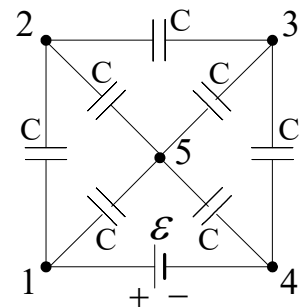


11.2.25. Найдите разность потенциалов между точками А и В, если электродвижущая сила источника  $\varepsilon = 1,2 \text{ В}$ . (  $0,2 \text{ В}$  )



11.2.26. Источник тока может быть подключен к батарее конденсаторов либо в точках 1 и 3, либо в точках 2 и 4. Емкости конденсаторов  $C_1$  и  $C_3$  равны  $18 \text{ мкФ}$ , а емкость конденсатора  $C_2 - 13 \text{ мкФ}$ . Определите, какой должна быть емкость конденсатора  $C_4$ , чтобы заряды на всех конденсаторах были одинаковыми независимо от способа подключения источника тока? (  $13 \text{ мкФ}$  )

11.2.27. К батарее из семи одинаковых конденсаторов емкостью  $C$  подключен источник тока с ЭДС, равной  $40 \text{ В}$ . Определите разность потенциалов между обкладками конденсатора, соединяющего точки 3 и 4. (  $15 \text{ В}$  )



### 11.3. Энергия электрического поля

11.3.1. Выразите энергию заряженного конденсатора через его заряд и разность потенциалов между пластинами.

11.3.2. Выразите энергию заряженного конденсатора через его заряд и емкость.

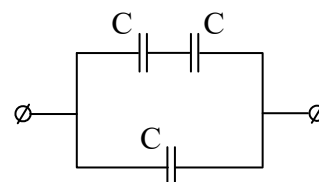
11.3.3. Выразите энергию заряженного конденсатора через его емкость и разность потенциалов между пластинами.

11.3.4. Выведите формулу для объемной плотности энергии электрического поля.

11.3.5. Как приращение энергии системы конденсаторов связано с работой источника тока и сторонних сил?

11.3.6. Напряженность электрического поля плоского воздушного конденсатора емкостью  $4,0 \text{ мкФ}$  равна  $1,0 \text{ кВ/м}$ . Расстояние между обкладками конденсатора равно  $1 \text{ мм}$ . Определите энергию электрического поля конденсатора. ( $2,0 \text{ мкДж}$ )

11.3.7. Три одинаковых конденсатора соединены, как показано на рисунке. При разности потенциалов на зажимах батареи конденсаторов в  $750 \text{ В}$  энергия батареи равна  $1,3 \text{ Дж}$ . Определите емкость каждого конденсатора. ( $3,1 \text{ мкФ}$ )



11.3.8. Между пластинами заряженного плоского конденсатора, отключенного от источника, поместили диэлектрик с диэлектрической проницаемостью, равной  $3,0$ , так, что он заполнил пространство между пластинами конденсатора наполовину (толщина диэлектрика равна расстоянию между пластинами). Во сколько раз изменилась энергия конденсатора? ( $2,0$ )

11.3.9. Два одинаковых по конструкции плоских конденсатора включены параллельно. Половина зазоров между пластинами конденсаторов по их толщине заполнена диэлектриком: в первом конденсаторе парафином, а во втором – слюдой. Определите отношение энергий, запасенных в первом и втором конденсаторах. ( $0,78$ )

11.3.10. Плоский конденсатор, заполненный керосином, зарядили, сообщив ему энергию  $1,5 \text{ Дж}$ , затем конденсатор отсоединили от источника, слили керосин и разрядили. Какая энергия выделилась при разряде? ( $3,0 \text{ Дж}$ )

11.3.11. Плоский воздушный конденсатор емкостью 100 пФ подключили к источнику постоянного напряжения 300 В. Затем источник отсоединили. Какую работу необходимо совершить, чтобы раздвинуть пластины конденсатора, удвоив расстояние между ними? ( 4,5 мкДж )

11.3.12. Плоский конденсатор имеет площадь обкладок 100 см<sup>2</sup>. Заряд конденсатора равен 100 нКл. Между обкладками помещена металлическая пластина толщиной 1,2 мм той же площади, что и обкладки. Определите работу внешних сил, которую нужно совершить, чтобы вынуть эту пластину из конденсатора при отключенном источнике. ( 68 мкДж )

11.3.13. Парафиновая пластина заполняет все пространство между обкладками плоского конденсатора. Емкость конденсатора равна 4,8 мкФ, его заряд составляет 0,26 мКл. Конденсатор отключен от источника тока. Какую работу необходимо совершить, чтобы извлечь пластину из конденсатора? ( 7,0 мДж )

11.3.14. К конденсатору электроемкостью  $C=1,0$  мкФ, заряженному до напряжения 1,0 кВ, подключают параллельно конденсатор емкостью  $C/2$ , далее к ним параллельно подключают конденсаторы емкостью  $C/4$ ,  $C/8$  и т.д. Какое количество энергии выделится в системе при подключении 5 конденсаторов. ( 0,25 Дж )

11.3.15. Конденсатор, заряженный до некоторого напряжения, соединяют разноименно заряженными обкладками с конденсатором такой же емкости, но заряженным до напряжения, вдвое большего. Во сколько раз уменьшилась энергия системы после соединения конденсаторов? ( 10 )

11.3.16. Конденсаторы емкостями 2,4 и 8,5 мкФ заряжают до напряжения 12 В каждый, а затем соединяют последовательно и замыкают на резистор. Какое максимальное количество теплоты может при этом выделиться на резисторе? ( 0,54 мДж )

11.3.17. Конденсаторы с емкостями  $C_1$  и  $C_2$ , обладающие зарядами  $q$  и  $3,2q$  соответственно, соединяют последовательно и замыкают на резистор. Если

заряды первого и второго конденсаторов поменять местами, то при таком же способе их коммутации выделившееся на резисторе количество теплоты увеличивается в 2,5 раза. Определите отношение емкостей  $C_2/C_1$ . ( 3,8 )

11.3.18. Два конденсатора с емкостями 200 и 100 мкФ, соединенные последовательно, зарядили от источника напряжения 300 В и отсоединили от него. Затем конденсаторы пересоединили параллельно одноименными обкладками вместе. Найдите энергию, выделившуюся при этом. ( 0,33 Дж )

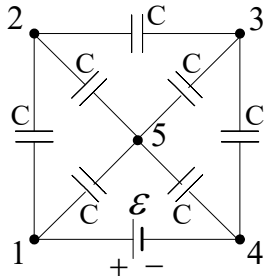
11.3.19. Два одинаковых конденсатора соединены последовательно и подключены к источнику ЭДС. Во сколько раз изменится энергия системы конденсаторов, если один из них погрузить в жидкость с диэлектрической проницаемостью, равной 3,0? Погружение осуществляется при подключенном источнике. ( 1,5 )

11.3.20. Между обкладками плоского конденсатора с площадью  $24 \text{ см}^2$  и расстоянием между ними 3,8 мм помещена пластина с такой же площадью и толщиной, выполненная из диэлектрика с диэлектрической проницаемостью 5,6. Конденсатор подключен к источнику постоянного напряжения, величиной 180 В. Определите приращение энергии электрического поля после извлечения пластины из конденсатора.  
(  $-0,42 \text{ мкДж}$  )

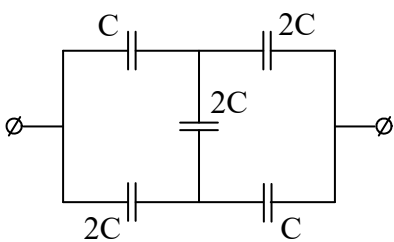
11.3.21. Плоский воздушный конденсатор с обкладками площадью  $60 \text{ см}^2$  и расстоянием между ними 30 мм присоединен к источнику постоянного напряжения 2,0 кВ. Параллельно обкладкам в конденсатор ввели металлическую пластину толщиной 10 мм и с такой же площадью, как и обкладки. Определите работу источника тока, совершенную при этом процессе. ( 3,5 мкДж )

11.3.22. Между обкладками плоского конденсатора с площадью  $36 \text{ см}^2$  и расстоянием между ними 2,3 мм помещена пластина с такой же площадью и толщиной из диэлектрика с диэлектрической проницаемостью, равной 4,9. Конденсатор подключен к источнику постоянного напряжения 260 В. Какую

минимальную работу должны совершить внешние силы для извлечения пластины из конденсатора? ( 1,8 мкДж )



11.3.23. Батарея из семи одинаковых конденсаторов с емкостями  $C = 6,4$  мкФ подключена к источнику тока с ЭДС, равной 450 В. Какая электрическая энергия запасена в конденсаторе, подсоединенном к точкам 2 и 5? ( 10 мДж )



11.3.24. Определите энергию, запасенную в батарее конденсаторов, если  $C = 0,72$  мФ, а разность потенциалов на зажимах батареи составляет 24 В. ( 0,30 Дж )

11.3.25. Объем заряженного резинового шара увеличивается в восемь раз. Чему равна у поверхности шара доля объемной плотности электрической энергии, потерянной при этом? ( 0,94 )

## 12. ДВИЖЕНИЕ ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ В ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКОМ ПОЛЕ

### 12.1. Движение частиц в однородном поле

12.1.1. Как вычислить ускорение заряженной частицы, движущейся в однородном электростатическом поле заданной напряженности?

12.1.2. Запишите выражение для зависимости от времени скорости заряженной частицы, движущейся в однородном электростатическом поле заданной напряженности при известном значении начальной скорости частицы.

12.1.3. Запишите выражения для зависимости от времени радиус-вектора и перемещения заряженной частицы, движущейся в однородном

электростатическом поле заданной напряженности при известном значении начальной скорости частицы и начального положения частицы.

12.1.4. Запишите выражения для зависимости от времени координат заряженной частицы, движущейся в однородном электростатическом поле заданной напряженности при известном значении начальной скорости частицы и начального положения частицы.

12.1.5. Электрон движется в однородном электрическом поле с напряженностью  $160 \text{ В/м}$  вдоль силовых линий. В некоторый момент времени его скорость равна  $3,8 \cdot 10^6 \text{ м/с}$ . За какой промежуток времени скорость электрона уменьшится в 2,3 раза? (  $76 \text{ нс}$  )

12.1.6. От положительно заряженной нижней пластины расположенного горизонтально плоского конденсатора отделяется пылинка массой  $10 \text{ мг}$ , несущая заряд  $0,3 \text{ нКл}$ . Заряд конденсатора  $89 \text{ нКл}$ . Площадь пластин конденсатора  $100 \text{ см}^2$ . С каким ускорением будет подниматься пылинка? (  $20 \text{ м/с}^2$  )

12.1.7. Частица массой  $1,0 \text{ мг}$  с зарядом  $10 \text{ мкКл}$  пролетает область однородного электрического поля за  $100 \text{ мкс}$ . Скорость частицы на входе в область поля равна  $1,0 \text{ км/с}$  и направлена вдоль вектора напряженности поля. Протяженность области поля в направлении движения равна  $20 \text{ см}$ . Определите напряженность поля. Влиянием силы тяжести на движение частицы можно пренебречь. (  $2,0 \text{ МВ/м}$  )

12.1.8. Расстояние между пластинами плоского конденсатора составляет  $4,0 \text{ см}$ . Электрон начинает двигаться от отрицательной пластины в тот момент, когда от положительной пластины начинает двигаться протон. Какое расстояние до встречи с электроном пройдет протон? (  $22 \text{ мкм}$  )

12.1.9. Электрон влетает в полупространство, заполненное однородным электрическим полем. Напряженность поля составляет  $200 \text{ В/м}$ . Скорость электрона равна  $1,0 \cdot 10^4 \text{ км/с}$  и направлена вдоль вектора напряженности поля

и перпендикулярно границе полупространства. В течение какого времени электрон будет находиться в области этого поля? ( 0,57 мкс )

12.1.10. Пластины конденсатора расположены вертикально на расстоянии 7,2 см друг от друга. Напряженность поля внутри конденсатора составляет 13 кВ/м. Посередине между пластинами помещают маленький шарик массой 32 г с зарядом 8,6 мкКл. Шарик отпускают, он начинает падать без начальной скорости и ударяется об отрицательно заряженную пластину. Определите время падения шарика до удара о пластину. ( 0,14 с )

12.1.11. Между пластинами плоского горизонтально расположенного конденсатора находится заряженная капелька жидкости массой 0,57 мг. При отсутствии электрического поля капелька вследствие сопротивления воздуха падает с некоторой постоянной скоростью. Если к пластинам конденсатора приложить разность потенциалов 620 В, то капелька будет падать в 2,5 раза медленнее. Определите заряд капельки, считая силу сопротивления воздуха пропорциональной скорости. Расстояние между пластинами конденсатора равно 14 мм. ( 76 пКл )

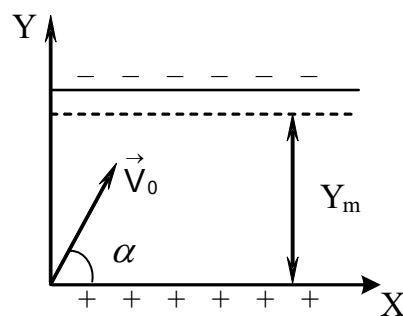
12.1.12. Между пластинами плоского конденсатора на расстоянии 8,0 мм от нижней пластины находится в равновесии заряженная пылинка. Разность потенциалов между пластинами равна 300 В. Через сколько времени пылинка упадет на нижнюю пластину, если разность потенциалов уменьшится на 60 В? ( 90 мс )

12.1.13. Электрон, имеющий горизонтальную скорость 2200 км/с, влетает в перпендикулярное к его скорости электрическое поле с напряженностью 400 кВ/м. Найдите величину скорости электрона и ее направление через 200 пс. ( 14200 км/с, 81° )

12.1.14. Электрон влетает посередине в пространство между пластинами плоского конденсатора параллельно им со скоростью  $1,0 \cdot 10^3$  км/с. При каком наименьшем напряжении электрон не вылетит из конденсатора, если длина конденсатора 5,0 см, расстояние между пластинами 1,0 см ? ( 230 мВ )

12.1.15. Частицы с массой  $1,0 \text{ мг}$  и с положительным зарядом  $1,0 \text{ мкКл}$  влетают в плоский конденсатор длиной  $10 \text{ см}$  под углом  $30^\circ$  к плоскости пластин, а вылетают под углом  $45^\circ$  к плоскости пластин. Определите начальную скорость движения частиц, если напряженность поля внутри конденсатора составляет  $50 \text{ кВ/м}$ . (  $65 \text{ м/с}$ ;  $126 \text{ м/с}$  )

12.1.16. Электрон влетает в пространство между пластинами плоского конденсатора со скоростью, направленной под углом  $60,0^\circ$  к оси  $X$ . На пластинах поддерживается постоянная разность потенциалов указанной на рисунке полярности. Определите отношение координат электрона  $X/Y$  в тот момент, когда его вектор скорости будет составлять с осью  $X$  угол  $30,0^\circ$ . Считайте, что максимальное значение вертикальной координаты электрона  $Y_m$  меньше расстояния между пластинами. (  $0,866$ ;  $1,732$  )



12.1.17. Электрон пролетает сквозь конденсатор перпендикулярно его пластинам. Скорость электрона изменилась от  $100$  до  $200 \text{ км/с}$ . Определите напряжение на конденсаторе. (  $85 \text{ мВ}$  )

12.1.18. Электрическое поле образовано двумя параллельными пластинами, находящимися на расстоянии  $20 \text{ мм}$  друг от друга, разность потенциалов между ними равна  $120 \text{ В}$ . Какую скорость получит электрон под действием поля, пройдя вдоль его силовой линии расстояние  $3,0 \text{ мм}$ , если начальная его скорость равна нулю? (  $2,5 \cdot 10^6 \text{ м/с}$  )

12.1.19. На положительно заряженной пластине плоского конденсатора имеется источник, из которого вылетают электроны. Двигаясь внутри конденсатора, электроны удаляются от положительной пластины не более чем на  $3,0 \text{ мм}$ . Определите максимальную скорость вылетающих электронов, если напряжение между пластинами составляет  $22,7 \text{ В}$ , расстояние между пластинами равно  $24 \text{ мм}$ . (  $1,0 \cdot 10^6 \text{ м/с}$  )

12.1.20. В электронно-лучевой трубке поток электронов, движущийся горизонтально, ускоряется из состояния покоя разностью потенциалов 5,0 кВ и попадает в пространство между вертикально отклоняющими пластинами длиной 5,0 см, напряженность поля между которыми равна 40 кВ/м. Найти вертикальное смещение луча на выходе из пространства, ограниченного пластинами. ( 5,0 мм )

12.1.21. Электрон из состояния покоя прошел область с ускоряющей разностью потенциалов 10 кВ и влетел посередине в пространство между пластинами плоского конденсатора, заряженного до разности потенциалов 175 В, по прямой линии, параллельной пластинам. На какой угол от первоначального направления отклонится электрон, вылетевший из конденсатора? Расстояние между пластинами равно 2,0 см, длина пластин составляет 20 см. ( 5,0° )

12.1.22. Электрон влетает в плоский горизонтально расположенный конденсатор параллельно его пластинам со скоростью  $3,0 \cdot 10^7$  м/с в непосредственной близости от его верхней пластины. Разность потенциалов между обкладками конденсатора равна 400 В, расстояние между ними – 1,0 см, длина конденсатора – 5,0 см. Найдите величину и направление скорости электрона при вылете его из конденсатора. Считайте, что электрическое поле исчезает на границе конденсатора. (  $3,2 \cdot 10^7$  м/с, 21° к горизонту )

12.1.23. На две параллельные сетки, подключенные к батарее с ускоряющим напряжением 10 В, под углом 45° направлен параллельный пучок электронов с начальной энергией 10 эВ . Под каким углом преломления выйдет пучок, пройдя обе сетки? ( 30° )

12.1.24. Шар массой 1,0 кг и зарядом 200 мкКл подвешен на изолирующей нити в однородном электрическом поле с напряженностью 30 кВ/м, причем вектор  $E$  этого поля перпендикулярен силе тяжести и направлен влево. Шар отвели вправо так, что нить отклонилась на угол 30° от вертикали, и отпустили. Найдите натяжение нити при прохождении ею вертикального положения. ( 18 Н )

12.1.25. Положительно заряженная горизонтальная диэлектрическая пластина создает однородное электрическое поле напряженностью 13 кВ/м. Маленький шарик массой 26 г, несущий отрицательный электрический заряд  $-18$  мкКл, падает на пластину без начальной скорости. При абсолютно неупругом ударе шарик передал пластине импульс, равный  $71 \cdot 10^{-3}$  кг·м/с. С какой высоты падал шарик? ( 20 см )

12.1.26. На невесомом нерастяжимом стержне длиной 73 см висит маленький шарик массой 14 г с электрическим зарядом 12 мКл. Через второй конец стержня проходит горизонтальная ось, вокруг которой стержень с шариком может свободно вращаться в вертикальной плоскости. На время 2,5 мс включается горизонтальное однородное электрическое поле, в результате чего шарик получает начальный импульс, приходит во вращение вместе со стержнем и совершает полный оборот. Определите напряженность этого электрического поля, если сила упругости, возникающая в стержне в верхней точке его траектории, в 2,3 раза превосходит силу тяжести, действующую на шарик. ( 2,3 кВ/м )

## 12.2. Движение частиц в неоднородном поле

12.2.1. Запишите закон сохранения энергии для точечной заряженной частицы, движущейся в неоднородном электростатическом поле.

12.2.2. В цилиндрический конденсатор влетает электрон по касательной к осевой линии этого конденсатора. При каком значении кинетической энергии электрона он будет продолжать двигаться между пластинами по осевой линии конденсатора, не касаясь его пластин? Радиус осевой линии равен 35 см. Величина напряженности электрического поля на осевой линии конденсатора составляет 5,4 кВ/м. ( 0,15 фДж )

12.2.3. В атоме водорода электрон движется вокруг протона с угловой скоростью  $4,1 \cdot 10^{16}$  рад/с. Найдите радиус орбиты электрона. ( 53 пм )

12.2.4. Определите кинетическую энергию электрона, находящегося в атоме водорода на первой бортовой (стационарной) орбите радиусом 52,9 пм. ( $21,8 \cdot 10^{-19}$  Дж = 13,6 эВ )

12.2.5. Две частицы, имеющие одинаковые массы и равные по величине, но противоположные по знаку электрические заряды, движутся по окружностям вокруг своего неподвижного центра масс. Определите отношение потенциальной энергии электростатического взаимодействия этих частиц к их общей кинетической энергии. ( -2 )

12.2.6. Вокруг точечного заряда  $-1,0$  нКл в горизонтальной плоскости вращаются без трения по круговой орбите, располагаясь в углах квадрата со стороной 10 см, четыре одинаковые частицы с массой 1,0 г и зарядом 1,0 нКл. Отрицательный заряд находится в центре этого квадрата. Определите угловую скорость движения частиц по орбите. ( 33 мрад/с )

12.2.7. В точке с потенциалом 600 В электрон обладает скоростью  $1,2 \cdot 10^7$  м/с. Определите потенциал точки, в которой скорость электрона обратится в нуль. ( 190 В )

12.2.8. Электрическое поле переместило частицу с зарядом 200 мКл из точки с потенциалом 600 В в другую точку. При этом кинетическая энергия частицы возросла на 100 Дж. Определите потенциал второй точки. ( 100 В )

12.2.9. Покоящееся ядро  ${}^4_2\text{He}$  ускоряется разностью потенциалов 2,0 кВ. Определите скорость ядра после ускорения. ( 440 км/с )

12.2.10. Маленький шарик массой 250 мг, имеющий заряд 1,0 мкКл, скользит без трения с высоты 3,0 м по наклонной плоскости, образующей с горизонтом угол  $30^\circ$ . В вершине прямого угла, у основания наклонной плоскости, находится неподвижный точечный заряд 2,0 мкКл. Определите скорость шарика у основания, если начальная его скорость равна нулю. ( 8,9 м/с )

12.2.11. Шарик массой 1,8 г, имеющий электрический заряд 23 нКл, удерживается на одной вертикали под закрепленным зарядом  $-37$  нКл на

расстоянии 1,4 см от него. Какую минимальную скорость необходимо сообщить нижнему шарик, чтобы он упал на землю? Расстояние до земли считайте много большим, чем начальное расстояние между зарядами. ( 0,26 м/с )

12.2.12. К закрепленному положительно заряженному шару по его радиальному направлению приближается частица с зарядом  $-3,2$  мкКл. В точке, в которой потенциал шара равен 11 кВ, кинетическая энергия частицы составляет 0,37 Дж. Определите кинетическую энергию частицы в момент столкновения с шаром, если потенциал на его поверхности равен 94 кВ. ( 0,64 Дж )

12.2.13. С какой минимальной скоростью должен вылететь электрон с поверхности заряженного шарика радиусом 10 мм и с зарядом 100 пКл, чтобы он мог удалиться от поверхности шарика на расстояние 30 мм? ( 4900 км/с )

12.2.14. К незаряженному проводящему шару радиусом 2,0 см летят поодиночке с интервалом 1,0 мкс электроны с кинетической энергией 10 эВ. Испускающий их точечный источник находится на расстоянии 3,0 см от поверхности шара. Через какое время электроны перестанут достигать поверхность шара? ( 230 с )

12.2.15. На какое расстояние к закрепленному точечному отрицательному заряду величиной  $-1,0$  нКл может приблизиться электрон, летящий со скоростью  $1,0 \cdot 10^7$  м/с? ( 3,2 см )

12.2.16. Протон, обладающий начальной скоростью 100 км/с, движется из бесконечности в направлении первоначально покоящейся  $\alpha$ -частицы (ядро атома гелия). Определите минимальное расстояние между частицами. ( 69 пм )

12.2.17. В вакууме из бесконечности навстречу друг другу движутся два электрона со скоростями  $2,4 \cdot 10^6$  и  $8,6 \cdot 10^6$  м/с. На какое минимальное расстояние могут сблизиться электроны? ( 8,4 пм )

12.2.18. Два одноименных одинаковых точечных неподвижных заряда величиной  $9,42 \text{ нКл}$  соединены между собой гладкой тонкой горизонтальной изолирующей нитью длиной  $2,0 \text{ м}$ . По нити может перемещаться бусинка массой  $10 \text{ г}$ , несущая заряд  $8,85 \text{ нКл}$ . Бусинку вывели из положения равновесия толчком, после которого она стала совершать незатухающие колебания с амплитудой  $50 \text{ см}$ . Определите максимальную скорость бусинки. ( $1,0 \text{ см/с}$ )

12.2.19. Два маленьких одноименно заряженных шарика закреплены в вакууме на расстоянии, значительно превышающем их размеры. Если отпустить первый шарик, то на некотором расстоянии от другого шарика его скорость будет  $33 \text{ м/с}$ . Если отпустить второй шарик, не отпуская первого, то его скорость на том же расстоянии будет равна  $46 \text{ м/с}$ . Определите скорости шариков в тот момент, когда они разойдутся на то же самое расстояние, если отпустить оба шарика одновременно. ( $19 \text{ м/с}$ ;  $37 \text{ м/с}$ )

12.2.20. В углах квадрата со стороной  $10 \text{ см}$  закреплены одинаково заряженные частицы. Точно такая же частица находится в центре квадрата в состоянии неустойчивого равновесия. После легкого толчка она начинает двигаться вдоль прямой, перпендикулярно плоскости квадрата. На каком расстоянии от точки старта частица наберет скорость, равную половине максимальной? ( $6,2 \text{ см}$ )

12.2.21. В четырех вершинах квадрата со стороной  $1,0 \text{ мкм}$  расположено по электрону. Какую скорость приобретут электроны, когда они разлетятся на бесконечно большое расстояние? ( $26 \text{ км/с}$ )

12.2.22. Тонкое закрепленное кольцо радиусом  $3,4 \text{ см}$  равномерно заряжено с линейной плотностью заряда  $49 \text{ мкКл/м}$ . На оси кольца на расстоянии  $5,6 \text{ см}$  от его центра помещен маленький шарик с зарядом  $13 \text{ нКл}$ . Какую максимальную кинетическую энергию приобретет шарик, если его освободить? ( $19 \text{ мДж}$ )

12.2.23. По тонкому закрепленному кольцу радиусом  $2,9 \text{ см}$  равномерно распределен заряд  $35 \text{ нКл}$ . В центре кольца находится частица массой  $8,2 \text{ мг}$

с зарядом  $-4,6$  нКл. Какую наименьшую скорость необходимо сообщить этой частице, чтобы она могла удалиться от кольца на бесконечность? (  $3,5$  м/с )

12.2.24. Закрепленная полусфера радиусом  $7,3$  см заряжена равномерно с поверхностной плотностью заряда  $0,92$  мкКл/м<sup>2</sup>. В центре полусферы находится частица массой  $0,65$  г и с электрическим зарядом  $48$  нКл. Какую максимальную скорость приобретет частица в процессе движения, если ее освободить? (  $0,75$  м/с )

12.2.25. Частица массой  $1,0$  мкг, имеющая заряд  $20$  нКл, приближается к заряженному незакрепленному кольцу, двигаясь вдоль его оси. Радиус кольца  $10$  мм, заряд  $50$  нКл, масса  $10$  мкг. Какова должна быть минимальная скорость частицы на очень большом расстоянии от кольца, чтобы она смогла пролететь сквозь него? Кольцо в начальный момент времени покоится. (  $1,4$  км/с )

## Справочный материал

### 1. Основные константы

Гравитационная постоянная.....	$6,67 \cdot 10^{-11} \text{ Н} \cdot \text{м}^2 / \text{кг}^2$
Масса электрона.....	$9,11 \cdot 10^{-31} \text{ кг}$
Масса протона.....	$1,673 \cdot 10^{-27} \text{ кг}$
Масса нейтрона.....	$1,675 \cdot 10^{-27} \text{ кг}$
Масса $\alpha$ -частицы ( ${}^4_2\text{He}$ ).....	$6,645 \cdot 10^{-27} \text{ кг}$
Радиус Земли (средний).....	$6,37 \cdot 10^6 \text{ м}$
Ускорение свободного падения.....	$9,8 \text{ м/с}^2$
Число Авогадро	$6,02 \cdot 10^{23} \text{ 1/моль}$
Элементарный заряд.....	$1,60 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$
Электрическая постоянная.....	$8,85 \cdot 10^{-12} \text{ Ф/м}$

### 2. Плотность веществ

Вода.....	$1000 \text{ кг/м}^3$
Керосин.....	$800 \text{ кг/м}^3$
Масло ( трансформаторное ).....	$870 \text{ кг/м}^3$
Медь.....	$8960 \text{ кг/м}^3$
Свинец.....	$11300 \text{ кг/м}^3$

### 3. Диэлектрическая проницаемость

Вода.....	81
Глицерин.....	43
Керосин.....	2,0
Масло трансформаторное.....	2,2
Парафин.....	2,0
Слюда.....	6,0
Фторопласт.....	3,0

### 4. Молярная масса веществ

Свинец.....	$270 \cdot 10^{-3} \text{ кг/моль}$
-------------	-------------------------------------

*Учебно-методическое издание*

**Доценко Игорь Борисович**

**Вопросы и задачи по электростатике**

Подписано в печать 21.12.2021 г.  
Бумага офсетная. Формат 60×84 <sup>1</sup>/<sub>16</sub>. Тираж 50 экз.  
Усл. печ. лист. 2,62. Уч. изд. л. 1,72. Заказ № 8291.

Отпечатано в отделе полиграфической, корпоративной и сувенирной продукции  
Издательско-полиграфического комплекса КИБИ МЕДИА ЦЕНТРА ЮФУ.  
344090, г. Ростов-на-Дону, пр. Стачки, 200/1, тел (863) 243-41-66.