Методическое пособие по физике

ЭЛЕКТРОСТАТИКА. ПОТЕНЦИАЛ ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКОГО ПОЛЯ

Выпускная аттестационная работа слушателя (ей) программы профессиональной переподготовки педагогических и управленческих кадров «Большие вызовы»

Гусевой Ольги Викторовны

Научный руководитель

кандидат физико-математических наук,
доцент кафедры общей физики МФТИ(ГУ)

Чивилев Виктор Иванович

Сочи
2018

ЗАЯВЛЕНИЕ О САМОСТОЯТЕЛЬНОМ ХАРАКТЕРЕ ВЫПУСКНОЙ АТТЕСТАЦИОННОЙ РАБОТЫ

Я, Гусева Ольга Викторовна, слушатель программы профессиональной переподготовки «Большие вызовы», заявляю, что в выпускной аттестационной работе на тему «Электростатика. Потенциал», представленной для публичной защиты, не содержится элементов плагиата.

Все прямые заимствования из печатных и электронных источников, а также из защищенных ранее выпускных квалификационных работ, кандидатских и докторских диссертаций имеют соответствующие ссылки.

Я ознакомлен с действующим регламентом учебного процесса, согласно которому обнаружение плагиата (прямых заимствований из других источников без соответствующих ссылок) в выпускной аттестационной работе является основанием для выставления, за выпускную аттестационную работу оценки «неудовлетворительно».

____________________ (Гусева О.В.)

____

ОГЛАВЛЕНИЕ

АННОТАЦИЯ

В разделе «Электростатика» понятие «потенциал» традиционно считается сложным для понимания школьниками. Данное методическое пособие «Электростатика. Потенциал электростатического поля» представляет собой краткое изложение теории электростатики. Оно снабжено наглядными иллюстрациями (показаны линии напряженности, эквипотенциальные поверхности). По ходу изложения теории в пособии рассмотрены примеры решения задач с использованием понятия потенциал. Это помогает еще глубже понять теорию. Пособие является полезным дополнением к существующим учебникам по физике, предназначено для школьников, углубленно изучающих физику, содержит большое количество задач для самостоятельного решения и может быть использовано при подготовке к олимпиадам. Данное методическое пособие разработано в соответствии с программами олимпиад школьников для использования в дополнительном образовании. Ориентировано на организацию самостоятельной индивидуальной работы школьников.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время среди школьников становится популярным профильное физическое образование. Увеличивается конкурс среди абитуриентов, поступающих в технические ВУЗы. Результативное участие в олимпиадах по физике высокого уровня позволяет получать предусмотренные законодательством преимущества при поступлении в ВУЗы. В связи с этим школьники проходят специальную подготовку, которая позволяет им лучше освоить учебный план, приобрести навыки и умения, необходимые для решения физических задач высокого уровня. Частью такого учебного процесса являются практические занятия, в ходе которых ребята учатся понимать и осваивать новые знания.

Решение и анализ задач позволяют понять и запомнить основные законы и формулы физики, создают представление об их характерных особенностях и границах применения. Задачи развивают навык в использовании общих законов материального мира для решения конкретных вопросов, имеющих практическое и познавательное значение. Умение решать задачи является лучшим критерием оценки глубины изучения программного материала и его усвоения.

В основу каждой физической задачи положено то или иное частное проявление одного или нескольких фундаментальных законов природы и их следствий. Поэтому, прежде чем приступать к решению задач какого-либо раздела курса, следует тщательно проработать теорию вопроса и внимательно разобрать иллюстрирующие ее примеры. Без твердого знания теории нельзя рассчитывать на успешное решение и анализ даже сравнительно простых задач, не говоря уже о более сложных,

Олимпиадные задачи отличаются от типовых. Все они решаются на основе базовых понятий и не требуют знаний, выходящих за рамки школьной программы. Но существует большое количество идей и нестандартных, специальных методов решения физических задач, которые дают возможность элегантно и быстро получить решения даже достаточно трудных задач. Залогом успеха при подготовке обучающихся к участию в олимпиадах по физике является применение специально подобранного комплекта задач, использующегося преподавателем в ходе образовательного процесса.

Серьезную помощь в ходе подготовки к интеллектуальным соревнованиям могут оказать дополнительные материалы. Они рассчитаны на самостоятельную работу и ни в коей мере не заменяют учебник, являясь эффективными, но всего лишь вспомогательными пособиями.

Целью данной работы является создание методического пособия «Электростатика. Потенциал электростатического поля». Понятие потенциал традиционно считается сложным для понимания школьниками. Пособие необходимо, чтобы помочь учащимся освоить материал темы, активно применять основные понятия, научиться решать конкретные задачи, приобрести уверенность в самостоятельной работе. Обучающиеся в процессе самостоятельного решения предложенных заданий, применяя разъясненные им методы и приемы решения, получают инструментарий для успешного самостоятельного решения сложных олимпиадных заданий.

В процессе создания пособия были проанализированы школьные учебники, предназначенные для изучения электростатики на профильном уровне, а также большое количество задачников. В результате этой работы из различных учебно-методических материалов были отобраны задачи повышенной сложности по выделенной теме. Силовые характеристики электростатического поля в пособии рассматриваются бегло. Все внимание сосредоточено на энергетических характеристиках электростатического поля.

В пособии вводится понятие потенциал, потенциальная энергия и разность потенциалов и рассматриваются задачи, в решении которых используются эти понятия:

1) потенциал неоднородного поля точечного заряда;
2) потенциальная энергия системы точечных зарядов;
3) потенциал поля проводящей сферы (шара);
4) потенциал поля заряженной плоскости;
5) эквипотенциальные поверхности.

В конце пособия представлены задачи для самостоятельного решения.

Глава 1. ЗАРЯД. НАПРЯЖЕННОСТЬ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ

В современной физике различают следующие виды фундаментальных взаимодействий: гравитационное, электромагнитное, сильное, или ядерное и слабое. Свойства среды, отвечающие за гравитационные, электрические и магнитные силы, описываются в терминах гравитационного, электрического и магнитного полей.

Электростатика — это раздел физики, в котором рассматриваются взаимодействия и условия равновесия заряженных частиц, неподвижных относительно инерциальной системы отсчета. Ввиду большого разнообразия электромагнитных явлений и их чрезвычайной важности с технической точки зрения их изучению посвящена значительная часть дисциплины физики. При изучении общей физики принят принцип "от простого к сложному". В связи с этим изучение этого круга явлений начинается с наиболее простых, получивших название "электростатика".

Подобно тому как участие тел в гравитационных явлениях обусловлено наличием у них массы, участие тел в электромагнитных явлениях связано с наличием у них электрического заряда.

Свойства электрических зарядов:

- заряды называются положительными и отрицательными;
- разноименные заряды притягиваются, а одноименные отталкиваются;
- заряд не существует без материального носителя;
- заряд макроскопического тела делим, т.е. его можно уменьшить, передав часть заряда другому телу;
- заряд дискретен, т.е. имеется предел деления заряда;
- минимальный заряд называется элементарным и равен заряду электрона;
- заряд частицы не зависит от ее скорости;
- при всех взаимодействия в микромире и макромире выполняется закон сохранения электрического заряда;
- в системе СИ электрический заряд измеряется в кулонах (Кл), 1Кл= 1А ·1с.

Важным понятием является точечный заряд, т.е. заряженное тело, размерами которого можно пренебречь по сравнению с другими характерными расстояниями до других зарядов (заряженных тел).

Заряженные частицы не могут действовать друг на друга непосредственно: вокруг них всегда существует электромагнитное поле.

Наличие у тела электрического заряда приводит к появлению в окружающем пространстве особого рода материи, называемой электромагнитным полем. Если в этом поле находится другое тело, обладающее электрическим зарядом, то будет иметь место электромагнитное взаимодействие. Оно проявляется в том, что одно заряженное тело действует на другое с некоторой силой. В выбранной системе отсчета электромагнитное поле можно разделить на электрическое и магнитное. Соответственно, упомянутую силу можно разделить на две части: одна обусловлена электрическим полем, а другая – магнитным. Если заряды, создающие поле, неподвижны, то остается только одно электрическое поле.

Электрическое поле проявляется вокруг любых заряженных частиц, может действовать на любые заряженные частицы электрической силой, характеризуется энергией и может совершать работу, может изменять свойства вещества.

Опыт показывает, что характеристикой электрического поля является векторная величина $\vec{\mathrm{E}}$, называемая напряженностью электрического поля и определяемая из равенства:

$$\vec{\mathrm{E}} = \frac{\vec{F}}{q}. \qquad (1)$$

Здесь $\vec{F}$ – сила, действующая на неподвижный точечный заряд, помещенный в исследуемую точку поля. При этом знак заряда q любой, а сам заряд берется настолько малым, чтобы он не вызывал заметного перераспределения зарядов, создающих электрическое поле, и не вызывал существенных изменений в других возможных источниках электрического поля. Источниками электрического поля являются электрические заряды и изменяющееся магнитное поле.

Частным случаем электрического поля является электростатическое поле, т.е. поле, созданное неподвижными зарядами.

Из опыта известно, для напряженности электрического поля справедлив принцип суперпозиции: в каждой точке напряженность электрического поля $\vec{\mathrm{E}}$, равна векторной сумме напряженностей полей, созданных в этой точке всеми источниками электрических полей:

$$\vec{\mathrm{E}} = \vec{\mathrm{E}}_1 + \vec{\mathrm{E}}_2 + \cdots + \vec{\mathrm{E}}_n = \textstyle\sum_i \vec{\mathrm{E}}_i \qquad (2)$$

Глава 2. ПОТЕНЦИАЛ

Как известно из механики, энергия является наиболее общей мерой движения и взаимодействия тел. Кинетическая энергия – энергия, обусловленная движением. Потенциальная энергия - энергия взаимодействия. За счет кинетической энергии тело может совершить работу. Обладая потенциальной энергией, тело тоже может совершить работу благодаря консервативной силе, которая обусловливает эту энергию. Понятие потенциальной энергии вводится только для консервативных сил, работа которых не зависит от формы траектории, а зависит только от начального и конечного положения тела. Примером консервативной силы наряду с силой тяжести и силой упругости является сила взаимодействия электрического заряда с электрическим полем.

Пусть пробный заряд q перемещается в электростатическом поле из точки 1 в точку 2 по некоторой траектории под действием нескольких сил (рис. 1). Каждая сила совершает над зарядом работу. Нас интересует работа, совершенная над зарядом силами электростатического поля.

Всю траекторию можно разбить на столь малые участки, что на каждом из них поле можно считать однородным в пределах погрешности измерений, вычислить работу на каждом участке и просуммировать:

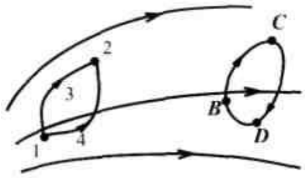


Рис. 1. Траектории пробного заряда

$$\delta A = \vec{F} \cdot d\vec{l} = F \cdot dl \cdot cos\alpha$$

или

$$A = \sum_i F \cdot dl \cdot cos\alpha$$

Работа электрического поля на каждом таком участке равна произведению силы $\vec{F_i}$ на этом участке и проекции перемещения $d\vec{l}$ на направление силовой линии. То есть она зависит только от начального и конечного положения тела. И не зависит от формы траектории. Например, работы на траекториях 1-3-2 и 1- 4 - 2 (рис.1) равны. Из независимости работы от формы траектории следует равенство нулю работы по замкнутой траектории. Например, работа сил электростатического поля над перемещаемым по замкнутой траектории *BCDB* (рис.1) зарядом q равна нулю: $A_{BCDB} = 0$. Поля для которых работа сил поля не зависит от формы траектории, называются потенциальными. А силы электростатического поля являются консервативными. В таких полях можно ввести понятие потенциальной энергии W и потенциала φ. Для электростатического поля работа сил поля над перемещаемым из точки 1 в точку 2 зарядом равна убыли (приращению с обратным знаком) потенциальной энергии заряда в поле:

$$A_{12} = W_1 - W_2 = -\Delta W.$$

Рассмотрим электрическое поле заряда q_0. Поместим в некоторой точке пробный заряд q_n (рис. 2). Он будет взаимодействовать с полем. Энергию этого взаимодействия обозначим *W*. За нулевой уровень возьмём удаленную точку, в которой пробный заряд «не ощущает» взаимодействия с полем заряда q_0 (физическая бесконечность).

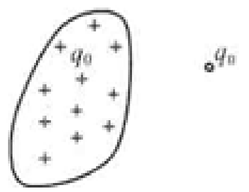


Рис. 2. Взаимодействие пробного заряда с полем

Будем помещать в данную точку различные пробные заряды. В каждом случае энергия их взаимодействия с полем различна. Она равна работе, которую совершит электрическое поле при переносе пробного заряда из данной точки на нулевой уровень:

$$W = A_i.$$

Проведя опыты можно заметить, что отношение энергии взаимодействия пробного заряда с полем к значению этого заряда будет одинаково для любого пробного заряда, помещенного в данную точку поля. То есть одинакова энергия взаимодействия, приходящаяся на единицу заряда:

$$\frac{W_1}{q_{п1}} = \frac{W_2}{q_{п2}} = \frac{W_1}{q_{п3}} = \cdots$$

Таким образом, это отношение можно принять в качестве меры энергии взаимодействия заряда с электрическим полем, и называется эта мера электрическим потенциалом φ:

$$\varphi = \frac{W}{q}. \qquad (3)$$

Потенциал электрический - это скалярная физическая величина, характеризующая энергию взаимодействия заряда с электрическим полем. Электрический потенциал равен отношению потенциальной энергии, которой обладает пробный положительный заряд, помещенный в данную точку поля, к значению этого заряда.

Потенциал - энергетическая характеристика поля, не зависящая от величины пробного заряда. С введением потенциала для работы A_{12} можно записать:

$$A_{12} = q(\varphi_1 - \varphi_2). \qquad (4)$$

Разность потенциалов $\varphi_1 - \varphi_2$ (напряжение*)* зависит только от положения точек 1 и 2.

Разность потенциалов - это скалярная величина, характеризующая разность энергий взаимодействия заряда с электрическим полем в двух точках пространства. Разность потенциалов равна отношению работы, совершаемой электрическим полем при переносе заряда из начальной точки в конечную, к значению перенесённого заряда.

Потенциальная энергия и потенциал определены с точностью до произвольной постоянной. Потенциал (и потенциальную энергию) можно отсчитывать от некоторой точки, положив в ней потенциал равным нулю. Обычно полагают равным нулю потенциал бесконечно удалённой точки поля (бесконечности) или потенциал Земли.

Перенесём мысленно пробный заряд из данной точки электростатического поля с потенциалом φ в бесконечность. Силы поля совершат над зарядом работу *A*. Согласно (4) $A_{12} = q(\varphi - \varphi_\infty)$. Если принять φ_∞= 0, то

$$\varphi = \frac{A}{q} \qquad (5)$$

Равенство (5) удобно для нахождения потенциала данной точки поля. Из принципа суперпозиции электрических полей и (5) можно вывести, что потенциал поля, созданного несколькими зарядами, равен сумме потенциалов полей, созданных отдельными зарядами:.

$$\varphi = \varphi_1 + \varphi_2 + \varphi_3 + \cdots = \sum_i \varphi_i \qquad (6)$$

. Единицей потенциала (разности потенциалов) в системе СИ служит вольт (В):

1В = 1Дж/Кл.

Не следует забывать, что независимость работы сил поля над перемещаемым зарядом от формы траектории и понятие потенциала справедливы только для электростатического поля и могут не иметь места для произвольного электрического поля.

Задача 2.1. В неоднородном электростатическом поле электрону сообщили в точке В скорость v_B=1000 км/с. Электрон, двигаясь свободно в поле по криволинейной траектории, достиг точки С со скоростью v_C=2000 км/с. Какую разность потенциалов $\varphi_\text{В} - \varphi_\text{С}$ прошел электрон? [11]

Решение. Работа сил электростатического поля над электроном равна изменению кинетической энергии электрона: $(-e)(\varphi_B - \varphi_C) = \frac{mv_C^2}{2} - \frac{mv_\text{в}^2}{2}$.

Здесь *e*=1,6·10^{-19} Кл – модуль заряда электрона, *m*= 9,1·10^{-31} кг – масса электрона. Имеем: $(\varphi_B - \varphi_C) = -\frac{m}{2e}(v_C^2 - v_\text{в}^2) = -$ 8,5 В.

2.1. Потенциал поля точечного заряда

Простейший пример неоднородного электростатического поля – поле точечного заряда.

Вычислим потенциал поля, созданного точечным зарядом q на расстоянии r от него в однородной среде, диэлектрическая проницаемость которой равна ε (рис.3).

Рис. 3. Расчет потенциала поля точечного заряда через его силу

Потенциал равен работе, которую совершит поле этого заряда по переносу положительного единичного заряда при переходе из данной точки на нулевой уровень. В случае точечного заряда нулевой уровень удобно взять на большом расстоянии, на котором заряд q и пробный заряд q_n практически не взаимодействуют:

$$\varphi = \frac{A}{q_{\text{п}}}$$

Работа на малом перемещении $d\vec{r}$ равна:

$$\delta A = Fdrcos\alpha, \tag{7}$$

где α=0^0 – угол между направлением электрической силы $\vec{F}$ и перемещением.

Сила электрического взаимодействия между зарядами равна

$$F = \frac{kqq_n}{\varepsilon r^2} \tag{8}$$

Подставляя (8) в (7) и интегрируя получим $A = \frac{kqq_n}{\varepsilon r}$.

Подставляя последнее в (5) получаем:

$$\varphi = \frac{kq}{\varepsilon r}$$

.

Потенциал поля точечного заряда прямо пропорционален значению этого заряда, обратно пропорционален диэлектрической проницаемости среды и расстоянию от заряда до данной точки поля.

Потенциал поля, созданного положительным зарядом положителен, а отрицательного – отрицателен (относительного одного и того же уровня, взятого на бесконечности).

Система заряженных тел обладает потенциальной энергией подобно системе тел, взаимодействующих посредством гравитационных сил. В курсе механики было получено выражение для энергии взаимодействия точечных тел.

$$W_p = -\,G\frac{m_1 m_2}{r}$$

Аналогия между гравитационными и электрическими законами и величинами представлена в таблице 1.

Таблица 1. Аналогия между гравитационными и электрическими законами и величинами

Закон всемирного тяготения	Закон Кулона
$F_г = G\frac{m_1 m_2}{r^2}$ – для материальных точек независимо от среды, где G – постоянная всемирного тяготения (гравитационная постоянная), численно равная силе взаимодействия двух тел массо по 1 кг на расстоянии 1м (найдена из опытов Кавендиша с крутильными весами. G = 6,67 $\cdot 10^{-11}\frac{Н\cdot м^2}{кг^2}$)	$F_т = k\frac{q_1 q_2}{r^2}$ – для точечных зарядов в вакууме, (в воздухе). Где k – коэффициент пропорциональности, численно равный силе взаимодействия между двумя точечными зарядами по 1 Кл, находящимися в вакууме на расстоянии 1м (найдена из опытов Кулона с крутильными весами. k = 9 $\cdot 10^9\frac{Н\cdot м^2}{Кл^2}$)
Масса тела (гравитационная) – это физическая величина, характеризующая способность тела к гравитационным взаимодействиям с другими телами – мера тяготения. С другой стороны- $m = \frac{F}{a}$ – по 2 закону Ньютона, т.е. масса (инертная) – мера инертности тела. С очень высокой точностью масса гравитационная совпадает с инертной для одного и того же тела.	Заряд - это мера электромагнитного взаимодействия, то есть величина, характеризующая способность тела к электромагнитному взаимодействию с другими заряженными телами
$\overrightarrow{g} = \frac{\vec{F}}{m}$ – напряженность гравитационного поля (ускорение свободного падения). $g = \frac{F}{m}$, $g = G\frac{M}{r^2}$	$\overrightarrow{E} = \frac{\vec{F}}{q}$ – напряженность электрического поля. $E = \frac{F}{q}, E = k\frac{q}{r^2}$
Энергия гравитационного взаимодействия двух тел: $W_г = -\ G\frac{m_1 m_2}{r}$	Энергия электрического взаимодействия двух заряженных тел: $W_э = k\frac{q_1 q_2}{r}$
Гравитационный потенциал, создаваемый точечным телом массой M $\varphi = \frac{W}{m} = G\frac{M}{r}$	Электрический потенциал, создаваемый точечным зарядом Q: $\varphi = \frac{W}{q} = k\frac{Q}{r}$

Если вместо точечных масс взять два разноименных заряда q_1 и q_2 (заряды притягиваются), то можно получить аналогичное выражение для потенциальной энергии их взаимодействия:

$$W_p = -\,k\frac{|q_1||q_2|}{r} \tag{9}$$

Для зарядов одного знака (заряды отталкиваются) знак потенциальной энергии будет противоположным:

$$W_p = k\frac{|q_1||q_2|}{r} \tag{10}$$

В общем случае можно объединить обе формулы, если вместо модулей зарядов в формуле брать их алгебраические значения:

$$W_p = k\frac{q_1 q_2}{r}$$

Знак потенциальной энергии получится правильным.

Потенциальная энергия системы точечных зарядов q_1, q_2, $q_3,\ldots q_N$, равна сумме потенциальных энергий всех пар взаимодействующих зарядов. В общем случае

$$W_p = \sum_{i=1}^{N}\sum_{k=1}^{N}\frac{1}{2}k\frac{q_i q_k}{r_{i,k}}$$

Где $r_{i,k}$ – расстояние между зарядами номеров i и k. Коэффициент $\frac{1}{2}$ получается из-за того, что при суммирование потенциальная энергия учитывается дважды в виде одинаковых слагаемых $\frac{q_i q_k}{r_{i,k}}$ и $\frac{q_k q_i}{r_{i,k}}$.

Задача 2.2. Потенциал поля точечного заряда на расстоянии $r = 5$ см от него равен φ=10 В. Что это значит?

Решение. Это значит, что при переносе пробного положительного заряда 1 Кл с расстояния 5 см от заряда на бесконечность электрическое поле, разгоняя пробный заряд, совершит работу +10 Дж.

При переносе из той же точки на бесконечность (на нулевой уровень) отрицательного заряда –1 Кл электрическое поле, сопротивляясь переносу заряда, совершит отрицательную работу равную –10 Дж.

Задача 2.3. Заряд q_1 находится на расстоянии r от заряда q_2 в среде с диэлектрической проницаемостью ε. Чему равна энергия их взаимодействия?

Решение. Энергия взаимодействия равна произведению потенциала поля первого заряда в том месте, где находится второй заряд, на значение второго заряда:

$$\begin{cases} W_{12} = \varphi_1 q_2, \\ \varphi_1 = \dfrac{kq_1}{\varepsilon r} \end{cases} \Rightarrow \quad W_{12} = \frac{kq_1 q_2}{\varepsilon r}$$

Задача 2.4. В вершинах квадрата со стороной *l=2* см находятся четыре заряженные частицы, заряды которых одинаковы и равны $q=1$ мкКл. Чему равна энергия их взаимодействия? Какой скорости достигнет одна частица, если её освободить? Масса каждой частицы m=1 г.

Решение. Общая энергия взаимодействия равна сумме энергий взаимодействия каждой частицы с каждой:

$$W_0 = 4\frac{kq^2}{l} + 2\frac{kq^2}{\sqrt{2}\,l},$$

после того, как одна частица улетит на достаточно большое расстояние, энергия взаимодействия оставшихся частиц будет равна

$$W = 2\frac{kq^2}{l} + \frac{kq^2}{\sqrt{2}\,l};$$

Скорость улетевшей частицы найдем из закона сохранения энергии:

$$W_0 = W + \frac{mv^2}{2}; \qquad \frac{mv^2}{2} = 2\frac{kq^2}{l} + \frac{kq^2}{\sqrt{2}\,l} \Rightarrow$$

$$v = q\sqrt{\frac{k}{ml}(4+\sqrt{2})} = 50 \text{ м/с}.$$

Задача 2.5. В двух вершинах прямоугольника со сторонами *a* и *2a* (рис. 4) закреплены точечные заряды Q и $3Q$. Какую минимальную работу надо совершить, чтобы переместить точечный заряд $4Q$ из состояния покоя из вершины *B* в вершину *C*? [11]

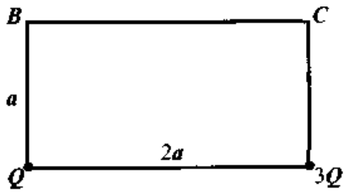


Рис. 4.

Решение. Здесь идёт речь о работе *A,* которую необходимо совершить нам против электрических сил при переносе заряда $4Q$. Работа *A* в сумме с работой A_1 сил электростатического поля над зарядом $4Q$ равна изменению кинетической энергии перемещаемого заряда: $A + A_1 = \Delta K$.

Отсюда $A = -A_1 + \Delta K$. Работа *A* будет минимальной, если величина ΔK минимальна, т. е. заряд $4Q$ придёт в вершину *C* с нулевой скоростью, т. е. $\Delta K = 0$. Итак, $A = -A_1$. Работа сил поля над зарядом, $A = 4Q(\varphi_в - \varphi_с)$, где

$$\varphi_в = k\frac{Q}{a} + k\frac{3Q}{a\sqrt{5}}, \qquad \varphi_c = k\frac{Q}{a\sqrt{5}} + k\frac{3Q}{a},$$

потенциалы результирующего поля, созданного зарядами Q и $3Q$ в вершинах *B* и С. Окончательно

$$A = \frac{8(\sqrt{5}-1)}{\sqrt{5}}\;\frac{kQ^2}{a} > 0$$

Задача 2.6. Три одинаковых одноименно заряженных шарика, каждый зарядом q и массой m, связаны нерастяжимыми нитями, каждая длиной a. Все три шарика неподвижны и расположены на гладкой горизонтальной поверхности (рис. 5). Какую минимальную скорость v, необходимо сообщить центральному шарику, чтобы при дальнейшем движении шарики смогли образовать равносторонний треугольник? Радиус шариков мал по сравнению с длиной нити. [1]

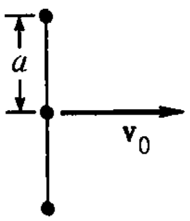


Рис. 5.

Решение. Когда шарики образовали равносторонний треугольник, все они движутся с одной и той же скоростью $\frac{v}{3}$. Это следует из закона сохранения импульса. По закону сохранения энергии имеем:

$$k\frac{5q^2}{2a}+\frac{mv^2}{2}=k\frac{3q^2}{a}+3\frac{m\left({}^{v}/_{3}{}^{2}\right)}{2}$$

Отсюда

$$v=\left(\frac{q}{2}\right)\sqrt{\frac{3k}{ma}}$$

.

2.2. Потенциал поля равномерно заряженной сферы (шара).

Поместим на проводящий шар или сферу радиуса R заряд q. Он равномерно распределится по поверхности. Поэтому формула для потенциала поля проводящей сферы и проводящего шара будет одинакова при $r \geq R$.

Будем перемещать пробный заряд q_n с поверхности сферы, находящейся в среде с диэлектрической проницаемостью ε до расстояния r. Поле шара, заряженного зарядом q будет совершать такую же работу, как и поле точечного заряда q. Это справедливо, поскольку напряжённость, создаваемая полем точечного заряда и полем равномерно заряженной сферы при $r \geq R$, одинакова. Значит, потенциал вне шара равен

$$\varphi=\frac{kq}{\varepsilon r} \quad \text{при } r>R.$$

Если перемещать пробный заряд q_n внутри сферы от центра до поверхности, то поле заряда q не будет совершать работы, потому что напряжённость внутри проводящей сферы равна нулю. Значит, потенциал внутри всей сферы одинаков и равен потенциалу на поверхности сферы:

$$\varphi=\frac{kq}{\varepsilon R} \quad \text{при } r\leq R.$$

Итак, потенциал, созданный полем проводящего шара или сферы радиуса R равен

$$\varphi = \begin{cases} \dfrac{kq}{\varepsilon R}, & \text{при } r \leq R \\ \dfrac{kq}{\varepsilon r}, & r > R \end{cases}$$

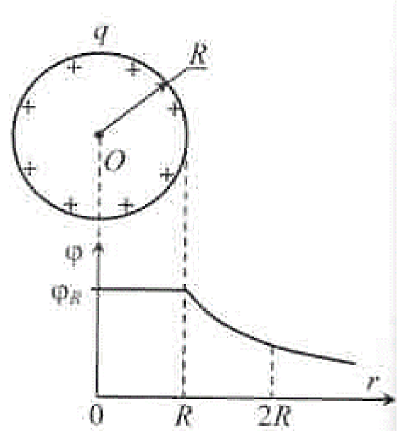


Рис. 6. Потенциал поля зараженного проводящего шара (сферы)

Задача 2.7. Точечный $q>0$ находится на расстоянии r от центра проводящего шара радиусом $R<r$ в вакууме. Чему равен потенциал шара, если а) он не заражен; б) его заряд равен q_0. [7]

Решение.

а) Потенциал всех точек проводящего шара одинаков, поэтому достаточно найти потенциал одной точки. Проще всего найти потенциал центра шара. Он равен сумме потенциала, созданного в центре шара точечным зарядом q

$$\varphi = \frac{kq}{r}$$

и потенциала, созданного индуцированными зарядами. Вследствие электростатической индукции заряды не возникают, а только перераспределяются по поверхности шара. Суммарный заряд шара равен нулю и все элементы заряда находятся на одном расстоянии от центра. Следовательно, индуцированные заряды создают потенциал, равный нулю. Так как сам шар не заряжен, то он создает в своем центре нулевой потенциал, тогда по принципу суперпозиции:

$$\varphi_{\text{ш}} = \frac{kq}{r} + 0 + 0 = \frac{kq}{r}.$$

б) Если кроме индуцированного заряда на шар поместить дополнительный заряд q_0, он распределится по поверхности шара и создаст в любой точке шара дополнительный потенциал, равный

$$\varphi_0 = \sum_i \frac{kq_i}{R} = \frac{k}{R}\sum_i q_i = \frac{kq_0}{R}.$$

Согласно принципу суперпозиции потенциалов, получим, что суммарный потенциал в центре шара и в любой точке шара равен:

$$\varphi'_{\text{ш}} = \varphi_{\text{ш}} + \varphi_0 = \frac{kq}{r} + \frac{kq_0}{R}$$

Задача 2.8. В центре сферы радиусом R находится точечный заряд $Q > 0$. По сфере равномерно распределён заряд $-4Q < 0$. Найти потенциалы φ_a и φ_c на расстояниях $R/2$ и $2R$ от центра сферы (рис. 7). [11]

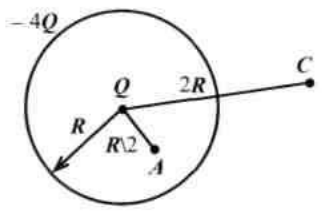


Рис. 7

Решение. Потенциал в любой точке равен сумме потенциалов полей, созданных в этой точке зарядами Q и $-4Q$. Для точек A и C запишем:

$$\varphi_A = k\frac{Q}{R/2} + k\frac{-4Q}{R} = -2k\frac{Q}{R}, \quad \varphi_C = k\frac{Q}{2R} + k\frac{-4Q}{2R} = -\frac{3}{2}k\frac{Q}{R},$$

Задача 2.9. Если воздушный шарик радиусом $R = 10$ *см* потереть о шерсть, о мех или о волосы, то он приобретет довольно большой отрицательный заряд – порядка q= 0,1 мкКл. Каким будет при этом потенциал шарика? [13]

Решение. Поле вне шара совпадает с полем точечного заряда. Потенциал шара будет равен

$$\varphi_ш = \frac{kq}{R} = 9000\ B,$$

т.е. почти 10 кВ (!). Возникает вопрос: не слишком ли много вольт мы здесь получили? Нет ли ошибки в нашей оценке? Нет, мы не ошибаемся. Несмотря на столь внушительный потенциал, шар будет обладать весьма незначительной энергией. Оценить энергию воздушного шарика можно по формуле $W = \frac{1}{2}q\varphi$, которая здесь приводится без вывода, что дает $W \approx 10{,}5\cdot 10^{-3}$Дж. Поэтому все эти 9000 вольт опасности не представляют.

Задача. 2.10. Незаряженный металлический шар радиусом r окружен концентрической проводящей сферой радиусом R. Сфера заряжена до потенциала φ_0 (относительно земли). Чему станет потенциал сферы, если незаряженный шар заземлить (рис. 8)? [7]

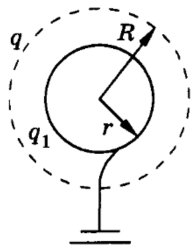


Рис. 8

Решение: До заземления заряд внешней сферы q создает на ее поверхности потенциал

$$\varphi_0 = \frac{kq}{R}..$$

После заземления на внутреннем шаре наведется заряд q_1, который можно найти из условия, что потенциал заземленного шара равен нулю.

Согласно принципу суперпозиции полей, потенциал шара равен:

$$\frac{kq}{R} + \frac{kq_1}{r} = 0$$

Отсюда

$$q_1 = -\frac{r}{R}q$$

Потенциал на внешней сфере после заземления шара создается зарядами q и q_1:

$$\varphi = \frac{kq}{R} + \frac{kq_1}{R} = \varphi_0 \frac{R - r}{R}$$

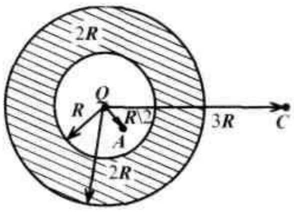


Рис. 9

Задача 2.11. Проводящий полый шар (рис. 9) с радиусами сферических поверхностей R и 2R имеет заряд 2Q (Q>0). В центре шара находится точечный заряд Q. Найти напряженность поля и потенциал в точках A и C на расстояниях R/2 и 3R от центра шара. Найти потенциал полого шара. [11]

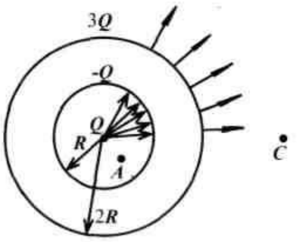


Рис. 10

Решение: Заметим, что все силовые линии, вышедшие из точечного заряда Q заканчиваются на внутренней поверхности полого шара (на рис. 10 показана только часть силовых линий). Заряд на внутренней поверхности равен по модулю и противоположен заряду Q, т.е. равен $-Q$. Так как заряд проводника может располагаться только на его поверхности, то заряд внешней поверхности шара составит *3Q*. Итак, имеем систему зарядов, состоящую из точечного заряда Q и зарядов $-Q$ *и 3Q на* сферах радиусами *R* и *2R*.

Для точек A и C по принципу суперпозиции полей проекция напряжённости результирующего поля на ось *x*, проведённую из центра шара через исследуемую точку (для точек *A* и C оси *x* различны), равна сумме проекций напряжённостей полей, созданных зарядами *Q*, *-Q*, *3Q:*

$$E_{Ax} = k\frac{Q}{(R/2)^2} + 0 + 0 = 4k\frac{Q}{R^2} > 0$$

$$E_{Cx} = k\frac{Q}{(3R)^2} + k\frac{-Q}{(3R)^2} + k\frac{3Q}{(3R)^2} = \frac{1}{3}k\frac{Q}{R^2} > 0$$

Проекции получились положительные, это означает, что напряженности полей в точках A и C направлены от центра шара и равны

$$E_{Ax} = 4k\frac{Q}{R^2} \qquad E_{Cx} = \frac{1}{3}k\frac{Q}{R^2}$$

Найдем потенциалы. По принципу суперпозиции потенциал в точке А равен сумме потенциалов в этой точке от полей, создаваемых зарядами Q, $-Q$ и 3Q:

$$\varphi_{\text{A}} = k\frac{Q}{R/2} + k\frac{-Q}{R} + k\frac{3Q}{2R} = \frac{5}{2}k\frac{Q}{R}$$

Аналогично потенциал в точке С:

$$\varphi_{\text{C}} = k\frac{Q}{3R} + k\frac{-Q}{3R} + k\frac{3Q}{3R} = k\frac{Q}{R}$$

Потенциал шара находится как потенциал внешней поверхности радиусом 2R

$$\varphi = k\frac{Q}{2R} + k\frac{-Q}{2R} + k\frac{3Q}{2R} = \frac{3}{2}k\frac{Q}{R}.$$

Задача 2.12. Проводящий шар радиуса R, на котором находится заряд q>0, окружен диэлектриком проницаемостью ε=2 (рис. 11). Толщина диэлектрика равна радиусу шара. Определить, на сколько понизился потенциал φ шара по сравнению с потенциалом φ_0 на поверхности этого же шара, находящегося в вакууме. [13]

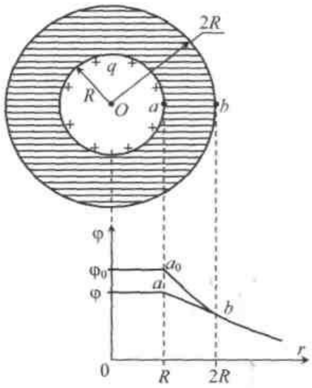


Рис. 11

Решение: Потенциал на поверхности шара, находящегося в вакууме: $\varphi = k\frac{Q}{R}$.

Поскольку диэлектрик уменьшает поле только внутри себя, то напряжённость, а значит, и потенциал вне диэлектрика остались такими же, как и без него.

$$\varphi_r = k\frac{q}{r} \qquad \text{при } r \geq 2R$$

Значит на внешней поверхности диэлектрика при $r=2R$

$$\varphi_b = k\frac{q}{2R}$$

При перемещении положительного пробного заряда $q_{\text{п}}$ внутри диэлектрика из точки a ($r_0=R$) в точку b ($r_0=2R$) электрическое поле заряда q совершит работу, равную

$$A = q_{\text{п}}(\varphi_a - \varphi_b)$$

Поскольку диэлектрик уменьшает напряженность поля внутри себя в ε раз, то эта работа будет во столько же раз меньше, чем при таком же перемещении этого же заряда в отсутствие диэлектрика

$$A_0 = q_{\text{п}}\left(k\frac{q}{R} - k\frac{q}{2R}\right) = q_{\text{п}}k\frac{q}{2R}$$

$$A = \frac{A_0}{\varepsilon} = q_{\text{п}}k\frac{q}{2\varepsilon R}$$

Итак, потенциал шара, находящегося в диэлектрике

$$\varphi_a = \varphi_b + \frac{A}{q_n} = k\frac{q}{2R} + k\frac{q}{2\varepsilon R} = \frac{\varepsilon+1}{2\varepsilon}\frac{kq}{R} = \frac{\varepsilon+1}{2\varepsilon}\varphi_0$$

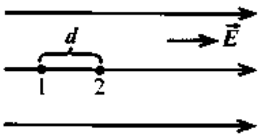
$$\varphi = \varphi_a = 0{,}75\varphi_0$$

Таким образом, потенциал шара уменьшился на 25%.

2.3. Связь напряженности электростатического поля и разности потенциалов

Пусть имеется однородное электростатическое поле напряженностью $\vec{E}$. Переместим пробный положительный заряд q вдоль силовой линии на расстояние d от точки 1 до точки 2 (рис. 12*а*). Со стороны электрического поля к заряду приложена сила $\vec{F} = q\vec{E}$.

а)



б)

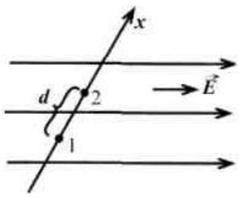


Рис. 12. Напряженность и разность потенциалов

Поле при этом переходе совершит положительную работу $A = Fd = qEd.$ С другой стороны эту же работу можно выразить через переносимый заряд и разность потенциалов:

$$A = q(\varphi_1 - \varphi_2).$$

Тогда

$$qEd = q(\varphi_1 - \varphi_2) \tag{11}$$

и

$$(\varphi_1 - \varphi_2) = Ed \tag{12}$$

Эту зависимость можно обобщить, если в однородном поле взять произвольные точки 1 и 2 (рис. 12*б*). Проведем через эти точки ось Оx. Тогда

$$(\varphi_1 - \varphi_2) = E_x d, \tag{13}$$

где E_x – проекция напряженности поля на ось x.

Если поле неоднородно, то соотношение (13) можно применить, взяв d столь малым, что неоднородностью на участке 1-2 можно пренебречь.

Анализируя соотношение (12), можно заключить, что потенциал убывает в направлении силовой линии поля. Это утверждение справедливо и для неоднородного поля.

2.4. Эквипотенциальные поверхности

Для наглядного представления электрических полей удобно пользоваться понятием «эквипотенциальная поверхность».

Эквипотенциальная поверхность - геометрическое место точек с одинаковым электрическим потенциалом.

При переносе заряда по эквипотенциальной поверхности работа электрического поля равна нулю:

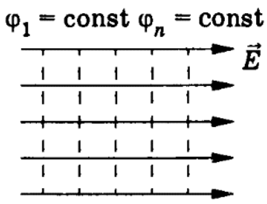
$$\varphi_1 = \varphi_2, \quad A = q(\varphi_1 - \varphi_2) = 0$$

Но ведь сила действует со стороны поля на переносимый заряд? Работа равна нулю при переносе заряда на произвольном малом участке пути, если сила перпендикулярна перемещению:

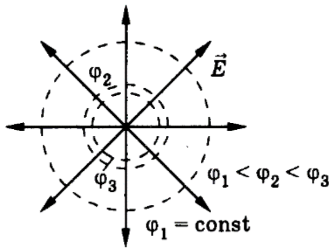
$A = F\Delta S cos\alpha$, если α=90^0, то А=0.

Следовательно, эквипотенциальные поверхности перпендикулярны силовым линиям в каждой точке.

Эквипотенциальные поверхности однородного поля представляют собой плоскости (рис.13*а*), а поля точечного заряда – концентрические сферы (рис. 13*б*).



а)



б)

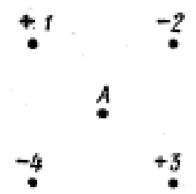
Рис. 13. Эквипотенциальные поверхности однородного (*а*) и неоднородного (*б*) полей

Подобно линиям напряженности эквипотенциальные поверхности качественно характеризуют распределение поля в пространстве. Вектор напряженности перпендикулярен эквипотенциальным поверхностям и направлен в сторону убывания потенциала. Это особенно очевидно на примере поля точечного положительного заряда (рис. 13*б*). Потенциал убывает по мере удаления от точечного заряда, а напряженность поля направлена от заряда вдоль радиусов концентрических сфер. Чем больше напряженность поля, тем меньше расстояние между соседними эквипотенциальными поверхностями.

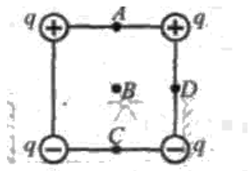
Эквипотенциальной является поверхность любого проводника в электростатическом поле. Причем не только поверхность, но и все точки внутри проводника имеют один и тот же потенциал.

Глава 3. ЗАДАЧИ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОГО РЕШЕНИЯ

1. В вершинах квадрата расположены точечные заряды (в нКл): $q_1 = +1$, $q_2 = -2$, $q_3 = +3$, $q_4 = -4$. Найти потенциал электрического поля в центре квадрата. Диагональ квадрата равна 20 см. [2]



2. В четырех углах квадрата находятся одинаковые по модулю, но разные по знаку заряды (см. рис.). Выберите верное утверждение о значениях электрического потенциала в точках *A*, *B*, *C* и *D*. [8]

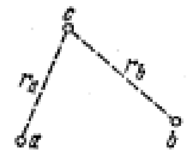


1) $\varphi_A > \varphi_B = \varphi_D > \varphi_C$
2) $\varphi_A > 0$, $\varphi_C > 0$ $\varphi_B = \varphi_D = 0$
3) $\varphi_B > \varphi_A = \varphi_D = \varphi_C$
4) $\varphi_A = \varphi_C$, $\varphi_B > \varphi_D$

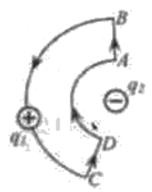
3. N одинаковых шарообразных одноименно заряженных капелек ртути одноименно заряжены до одного и того же потенциала φ. Каков будет потенциал большой капли ртути Φ, получившейся в результате слияния этих капель? [2]

4. Два металлических шара, расположенных далеко друг от друга, имеют радиусы 5 см, 15 см и заряды 12 нКл, -40 нКл. Шары соединяют тонкой проволокой. Какой заряд Δq пройдет по проволоке? [4]

5. Точечный положительный заряд q, находящийся в точке C создает в точках a и b поля с напряженностями E_a и E_b. Найти работу электрических сил при перемещении точечного заряда q_0 из точки a в точку b. [2]



6. Точечный заряд $q_1 > 0$ перемещают по контуру *ABCDA* в поле заряда $q_2 < 0$. Укажите участки, на которых энергия взаимодействия зарядов уменьшается. [8]



7. Какую скорость будет иметь на бесконечности заряд q, если изначально он покоился на расстоянии R от закрепленного заряда q. Масса заряда m.

8. Какую скорость будут иметь на бесконечности два заряда q, разлетающиеся из состояния покоя? Начальное расстояние между зарядами R. Масса зарядов m.

9. Частица массой m =1г с зарядом q = 1 мкКл движется к закрепленному одноименно заряду q_0 = 2 мкКл. На расстоянии r_0 = 10 см от заряда скорость частицы υ_0 = 30 м/с.

На какое минимальное расстояние частица приблизится к закрепленному заряду. Сопротивлением воздуха и гравитационным взаимодействием пренебречь. [12]

10. Частица массой m_1 и зарядом q_1 движется со скоростью υ_1 из бесконечности к покоящейся вначале частице массой m_2 и зарядом q_2. Определить минимальное расстояние r_{min} между заряженными частицами. [12]

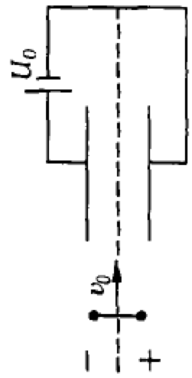
11. Два тела с зарядом q =10 мкКл и массой m = 5 г каждое удерживают на горизонтальной поверхности на расстоянии r =1м друг от друга. Тела отпускают, и они начинают скользить по поверхности, коэффициент трения о которую μ =0,5. Определим максимальную скорость, которую разовьют тела, и расстояние, которое они пройдут до остановки. [13]

12. Пусть два тела находятся на расстоянии r_0 = 10 м друг от друга. Определить минимальную скорость, которую нужно сообщить одному из тел, чтобы второе тело сдвинулось с места. [13]

13. Какую скорость может сообщить электрону, находящемуся в состоянии покоя, ускоряющая разность потенциалов в 1000 В? Масса электрона $9{,}1 \cdot 10^{-31}$ кг. [12]

14. Из ядра атома радия со скоростью $2 \cdot 10^7$м/с вылетает α-частица массой $6{,}67 \cdot 10^{-27}$ кг. Определите энергию частицы и разность потенциалов, которая бы обеспечила частице такую энергию. Заряд частицы $3{,}2 \cdot 10^{-19}$ Кл. [12]

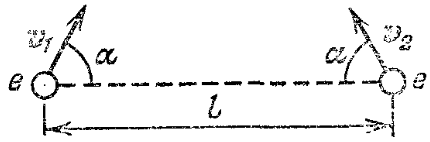
15. Двум электронам, находившимся на бесконечно большом расстоянии друг от друга, сообщили одинаковые скорости 100 м/с в направлении друг друга. До какого минимального расстояния электроны могут сблизиться? Элементарный заряд $1{,}6 \cdot 10^{-19}$ Кл, масса электрона $9{,}1 \cdot 10^{-31}$ кг. Электрическая постоянная равна $8{,}85 \cdot 10^{-12}$ Ф/м. [12]



16. Электрический диполь из двух жестко связанных точечных зарядов $+q$ и $-q$, расположенных на расстоянии L друг от друга, пролетает плоский конденсатор, между пластинами которого поддерживается постоянная разность потенциалов U. Определить скорость диполя в центре конденсатора, если известно, что его скорость вдали от конденсатора равна V_0. Расстояние между пластинами конденсатора d, масса диполя m. [Задачник Кванта. Ф1035]

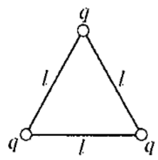
17. Электрический диполь находится в электростатическом поле. Чтобы унести его на бесконечность, нужно совершить работу $\boldsymbol{A}$. Какую работу нужно совершить, чтобы перевернуть его на 180°? [5]

18. Скорости двух электронов v_1 и v_2 лежат в одной плоскости и при расстоянии l между электронами образуют угол α с прямой, соединяющей электроны. На какое минимальное расстояние сблизятся электроны, если $v_1 = v_2$ равны по модулю v. Заряд электрона равен e, масса m. [6]



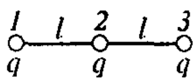
19. Три одинаковых одноименно заряженных шарика, каждый с зарядом q и массой m, связаны нерастяжимыми нитями, каждая длиной a. Все три шарика неподвижны и расположены на гладкой горизонтальной поверхности. Одна из нитей пережигается. Какие скорости будут иметь шарики в тот момент, когда они будут располагаться на одной прямой? Радиус шарика мал по сравнению с длиной нити. [1]

20. Три одинаковых одноименно заряженных шарика, каждый с зарядом q и массой m, связаны нерастяжимыми нитями, каждая длиной l. Все три шарика неподвижны и расположены на гладкой горизонтальной поверхности. Все три нити одновременно пережигают. Пренебрегая силой тяжести, определить:



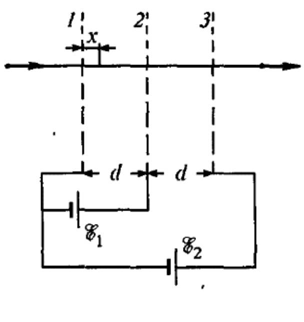
1) ускорения шариков сразу после пережигания нитей
2) импульс каждого шарика после разлета на большие расстояния друг от друга. [1]

21. Три маленьких одинаковых шарика, каждый массой m и зарядом q, расположены на гладкой горизонтальной поверхности. Шарики связаны друг с другом двумя нерастяжимыми и непроводящими нитями, каждая длиной l. Обе нити одновременно пережигают. Пренебрегая силой тяжести, определить:



1) ускорения шариков сразу после пережигания нитей;
2) импульс каждого шарика после разлета на большие расстояния. [1]

22. Положительно заряженная частица пролетает через три плоские металлические сетки, между которыми с помощью двух источников постоянной ЭДС $\mathcal{E}_1$=250 В и $\mathcal{E}_2$=200 В поддерживаются постоянные разности потенциалов (см. рис.). На каком расстоянии x от первой сетки скорость частицы будет равна скорости, которую она имела вдали от сеток? Расстояние d между сетками много меньше размеров сеток. [1]

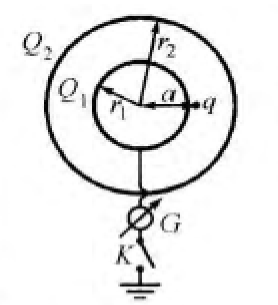


23. Маленький шарик массой 1 г, которому сообщили заряд 0,15 мкКл, брошен издалека со скоростью 1 м/с в сферу, заряженную зарядом 0,3 мкКл. При каком минимальном значении радиуса сферы шарик достигнет ее поверхности? [7]

24. Металлический шар радиусом R_1, заряженный до потенциала φ, окружают концентрической сферической проводящей оболочкой радиусом R_2. Чему станет равен потенциал шара, если заземлить внешнюю оболочку. [12]

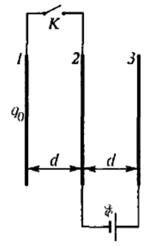
25. Две одинаковые металлические сферы расположены на большом удалении друг от друга (расстояние между ними много больше их диаметра). На сфере 1 расположен заряд Q, а сфера *2* не заряжена. К сфере 1 подносят и приводят в соприкосновение с ней незаряженный шарик. Затем шарик переносят и приводят в соприкосновение со сферой *2*. После этого контакта на шарике оказался заряд, равный $Q/9$, Какой заряд приобрела сфера 2? [1]

26. Между двумя концентрически расположенными проводящими сферами с радиусами r_1 и r_2 и зарядами Q_1 и Q_2 расположен точечный заряд q на расстоянии a от центра сфер. Какой заряд протечет через гальванометр G после замыкания ключа К приводящего к заземлению внутренней сферы? [1]

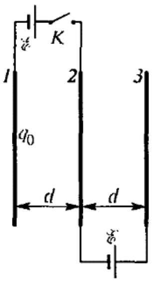


27. Три тонкие незаряженные металлические пластины площадью S каждая расположены на расстояниях d друг от друга, причем d много меньше размеров пластин. К пластинам 2 и 3 подсоединили батарею с ЭДС Ɛ (см. рис.). Пластине 1 сообщили заряд q_0 и замкнули ключ К.

1) Определить заряд пластины 3 до сообщения пластине 1 заряда q_0.
2) Определить заряд пластины 3 после замыкания ключа К. [1]

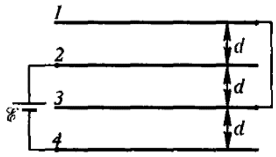


28. Три тонкие незаряженные металлические пластины площадью S каждая расположены на расстояниях d друг от друга, причем d много меньше размеров пластин. К пластинам 2 и 3 подсоединили батарею с ЭДС Ɛ (см. рис.). Пластины 1 и 2 через ключ К тоже подсоединили к батарее с ЭДС Ɛ. Пластине 1 сообщили заряд q_0 и замкнули ключ К.



1) Определить заряд пластины 3 до сообщения пластине 1 заряда q_0
2) Определить заряд пластины 3 после замыкания ключа К. [1]

29. Четыре проводящие пластины удерживают напротив друг друга. Расстояние между соседними пластинами d. Пластины 1 и 3 закорочены. Пластины 2 и 4 подсоединены к источнику с ЭДС $\mathcal{E}$ (см. рис.). Определить силу, действующую на пластину 3 со стороны электрического поля. Площадь каждой пластины S, а расстояние между ними много меньше размеров пластин. [1]



30. Четыре проводящие пластины удерживают напротив друг друга. Расстояние между соседними пластинами d. Пластины 1 и 4 подсоединены к источнику с ЭДС $\mathcal{E}_1$, пластины 2 и 3 подсоединены к источнику с ЭДС $\mathcal{E}_2$ (см. рис.). Определить силу, действующую на пластину 2 со стороны электрического поля. Площадь каждой пластины S, а расстояние между ними много меньше размеров пластин. [1]

Ответ к задачам для самостоятельного решения

1. $\varphi_A = -180$ В.
2. Ответ 1).
3. $\Phi = N^{\frac{2}{3}}\varphi$.
4. $\Delta q = 19$ нКл.
5. $A = q_0\sqrt{kq}(\sqrt{E_a} - \sqrt{E_b})$.
6. CD.
7. $v = \sqrt{\frac{2kq^2}{mR}}$
8. $v = \sqrt{\frac{kq^2}{mR}}$
9. $r_{min} = 3$ см.
10. $r_{min} = \frac{2kq_1q_2(m_1+m_2)}{m_1m_2v_1^2}$
11. S = 17,5 м.
12. V= 8 м/с.
13. V= $1{,}87\cdot10^7$ м/с.
14. W = $1{,}33\cdot10^{-12}$ Дж, U = $4{,}17\cdot10^6$ В.
15. R=2,5 см.
16. $A = 2A$.
17. $V = \sqrt{V_0^2 + \frac{2qlU}{md}}$.
18. $r_{min} = \frac{l}{\left(1+\frac{4\pi\varepsilon_0}{e^2}lmv^2\cos^2\alpha\right)}$
19. $v = \frac{q}{\sqrt{6\pi\varepsilon_0 ma}}$
20. $a = \frac{\sqrt{3}q^2}{4\pi\varepsilon_0 l^2 m}$, $P = q\sqrt{\frac{m}{2\pi\varepsilon_0 l}}$
21. $a_2 = 0, a_1 = a_3 = \frac{5q^2}{16\pi\varepsilon_0 l^2 m}$, $P_2 = 0, P_1 = P_3 = q\sqrt{\frac{5m}{8\pi\varepsilon_0 l}}$

22. $x = \frac{2}{5}d$
23. R=81 см.
24. $\varphi_{\text{ш}=}\varphi\,\frac{R_2 - R_1}{R_2}$
25. $Q_2 = \frac{2}{9}Q$
26. $\Delta\mathrm{Q} = Q_1 + \frac{r_1}{r_2}Q_2 + \frac{r_1}{a}q$
27. $q_{30} = \frac{S\varepsilon_0}{d}\mathcal{E}, q_3 = \frac{S\varepsilon_0}{d}\mathcal{E} + \frac{q_0}{2}$
28. $q_{30} = \frac{S\varepsilon_0}{d}\mathcal{E}, q_3 = \frac{S\varepsilon_0}{d}\mathcal{E} + \frac{q_0}{2}$
29. $F = \frac{S\varepsilon_0}{6d^2}\mathcal{E}^2$
30. $F = \frac{S\varepsilon_0}{8d^2}(3\mathcal{E}_2 - \mathcal{E}_1)(\mathcal{E}_1 + \mathcal{E}_2)$

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Александров Д.А., Можаев В.В., Чешев Ю.В., Чивилев В.И., Шеронов А.А.. МЕТОДИЧЕСКОЕ ПОСОБИЕ ПО ФИЗИКЕ для учащихся старших классов и абитуриентов / лтв. Ред. Ю.В.Чешев. – 7-е изд. , испр. – М.: Физматкнига, 2018, – 432 с.
2. Бендриков Г.А., Буховцев Б.Б., Керженцев В.В., Мякишев Г.Я. Физика. Задачи для поступающих в ВУЗы. Учеб. пособие. Для подгот. отд-ний ВУЗов. – М., ФИЗМАТЛИТ, 2015, – 344 с.
3. Бутиков Е.Н. Кондратьев А.С. ФИЗИКА: Учеб. Пособие: В 3 кн. Кн. 2. Электродинамика. Оптика. – М. : ФИЗМАТЛИТ, 2004, – 336 с.
4. Гельфгат И.М., Генденштейн П.Э., Кирик П.А. 1001 задача по физике с ответами, указаниями и решениями. – М., Илекса, 2018 г. – 352 с.
5. Горбунов А.К., Панаиотти Э.Д. Сборник задач по физике для поступающих в ВУЗЫ. Учеб. пособие. – М., Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2005. – 240 с.
6. Меледин Г.В. Физика в задачах: Экзаменационные задачи с решениями: Учеб. пособие. 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Наука, 1989 - 272 с.
7. Мякишев Г.Я. Физика. Электродинамика. 10-11 кл.: учеб. Для углубленного изучения физики / Г.Я.Мякишев, А.З.Синяков, – 7 издание., стереотип. – М.: Дрофа, 2018, – 480 с.
8. Мякишев Г.Я., Буховцев Б.Б., Сотский Н.Н. Физика. 10 кл.: учеб. для общеобразоват. организаций: базовый уровень. – М.; ПРОСВЕЩЕНИЕ, 2017, – 416 с.
9. Павленко Ю.Г. Начала физики: учебник. – 2 изд. – М.; ЭКЗАМЕН, 2005, – 864 с.
10. Степанова Г.Н. Степанов А.П. Сборник вопросов и задач по физике.: Профильная школа. – СПб., ООО «СТП школа», 2005. – 496 с.
11. Физика. Электростатика и законы постоянного тока. Задание №3 для 11 классов (2014-2015 уч. г.). Составитель Чивилев В.И. – Долгопрудный.; ЗФТШ, МФТИ, 2014, – 32 с.
12. Физика. 3800 задач для школьников и поступающих в ВУЗы. Авт.-сост. Турчина Н.В., Рудакова Л.И., Суров О.И. – М.: Дрофа, 2000, – 672 с.
13. Черноуцан А,И. ФИЗИКА. Задачи с ответами и решениями: учебное пособие / А.И.Черноуцан. – 5-е изд. М.: КДУ, 2009, – 352 с.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В методическом пособии изложены свойства материи, связанные с наличием в природе электрических зарядов, которые определяют возникновение электрических и магнитных полей. Кратко введены понятия электрический заряд и силовая характеристика электростатического поля напряженность. Более подробно рассмотрено понятие потенциал электростатического поля, разность потенциалов и энергия электростатического поля. Подобраны задачи, использующие в решении эти понятия. Также рассмотрено поведение диэлектриков и проводников в электростатическом поле. Освещенные вопросы необходимы для изучения более общего, и возможно, самого важного раздела физики – электродинамики, которая не только объясняет все электрические и магнитные явления, но и позволяет объяснить существование и свойства атомов, молекул и твердых тел.