

4 сессия: Основы электростатики

Тема 1: Электрический заряд. Закон сохранения электрического заряда. Закон Кулона.

Электростатика - раздел электродинамики, посвященный изучению покоящихся электрически заряженных тел.

В природе существует только **два вида электрических зарядов**. Заряды одинаковых знаков – отталкиваются, противоположных – притягиваются.

Макроскопическое тело электрически заряжено в том случае, если оно содержит избыточное количество элементарных частиц с одним знаком заряда. Отрицательный заряд тела обусловлен избытком электронов по сравнению с протонами, а положительный – недостатком электронов.

С помощью электроскопа (электрометра) можно определить величину электрического заряда. Работа электроскопа основана на отталкивании одноименно заряженных тел.



При соприкосновении происходит перераспределение электронов и тела электризуются, т.е. приобретают электрический заряд.



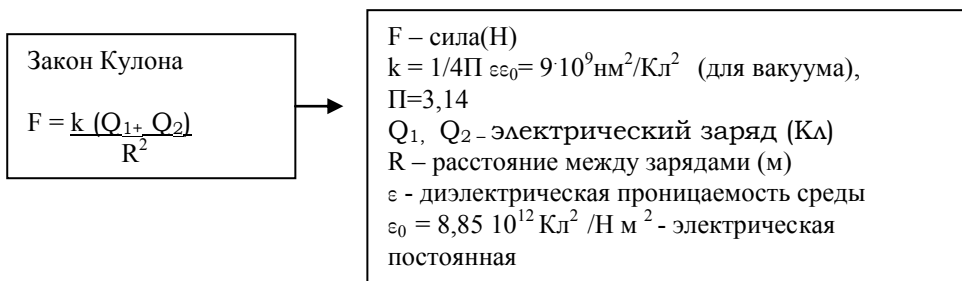
Заряд элементарных частиц – протонов, входящих в состав всех атомных ядер, называют положительным (+), а заряд электронов – отрицательным (-). Между положительными и отрицательными зарядами внутренних различий нет.

Отделить часть элементарного заряда, например у электрона, невозможно.

При электризации тел выполняется закон сохранения электрического заряда: **в изолированной системе алгебраическая сумма зарядов всех частиц сохраняется**

$$Q_1 + Q_2 + Q_3 + \dots + Q_n = \text{const}$$

Основной закон электростатики был экспериментально установлен Ш.Кулоном (1785г.) для точечных зарядов(если расстояние между зарядами много $>$ их размеров, тогда такие заряженные тела можно считать точечными зарядами).



Тема 2: Электрическое поле. Напряженность электрического поля.

Взаимодействие между электрическими зарядами осуществляется посредством электрического поля.

Электрическое поле:

- материально; оно существует независимо от нас, от наших знаний о нем;
- поле обладает определенными свойствами, которые не позволяют спутать его с чем – либо другим в окружающем мире;
- главное свойство – действует на электрические заряды с некоторой силой;
- доказательство реальности электрического поля – конечная скорость распространения электромагнитных взаимодействий.

Основной характеристикой электрического поля является напряженность.

Напряженность поля в данной точке равна отношению силы, с которой поле действует на точечный заряд, помещенный в эту точку, к этому заряду

обозначается:
E (векторная)

численное значение:

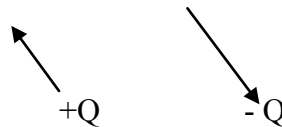
направление

$$E = F/q$$

$$E = kq / r^2$$

F – сила (Н)
 $k = 9 \cdot 10^9 \text{ Нм}^2/\text{Кл}^2$
 q – электрический заряд(Кл)
 r – расстояние от точечного заряда

Вектор напряженности в любой точке электрического поля направлен вдоль прямой, соединяющей эту точку и заряд.



Если напряженность электрического поля одинакова во всех точках, то электрическое поле однополюсно.

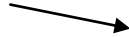
Электрическое поле графически изображается совокупностью силовых линий

Принцип суперпозиции полей:
 если в данной точке пространства различные заряженные частицы создают электрические поля, напряженности которых E_1 , E_2 , E_3 и т.д., то результирующая напряженность поля в этой точке равна сумме напряженностей этих полей:

$$E = E_1 + E_2 + E_3 + \dots$$

Линии напряженности - силовые линии электрического поля, это линии касательные к которым в каждой точке, через которую они проходят, совпадают по направлению с вектором напряженности.

Проводники и диэлектрики в электрическом поле.



Проводники (металлы,...) имеют свободные заряженные частицы, которые перемещаются внутри проводника под влиянием внешнего электростатического поля.

За счет этого внутри металла создается свое электрическое поле, которое накладывается на внешнее поле и компенсирует его.

На этом основана электростатическая защита (М.Фарадей, 1835г):

если какое-нибудь тело окружено со всех сторон проводящей оболочкой (например металлическим ящиком), то внешнее электростатическое поле не окажет на тело никакого действия.

Диэлектрики (стекло, фарфор...) (отличаются строением молекул) бывают:

- полярные (в молекулах + и - заряды смещены друг относительно друга)
- неполярные (в молекулах центры распределения + и - зарядов совпадают)

В электрическом поле связанные заряды (+ и - заряды молекул) диэлектрика смещаются в противоположные стороны, происходит поляризация диэлектрика.

Поляризованный диэлектрик сам создает электрическое поле.

Независимо от вида диэлектрика напряженность поля в нем всегда меньше напряженности внешнего поля, вызвавшего его поляризацию.

Электрическое поле внутри диэлектрика ослабляется. Степень ослабления поля зависит от свойств диэлектрика.

Тема 3: Потенциал электрического поля. Разность потенциалов. Емкость. Единицы емкости.

Электрическое поле потенциально, т.к. его работа по перемещению заряда не зависит от формы траектории заряда и равна изменению его потенциальной энергии, взятому с противоположным знаком:

$$A = - \Delta W_{п}$$

(A – работа, Дж; $\Delta W_{п}$ - потенциальная энергия, Дж)

Потенциальная энергия W_n заряда q в однородном поле определяется по формуле:

$$\Delta W_n = qEd$$

q - эл.заряд(Кл)
 E – напряженность эл. поля (н/Кл)
 d –расстояние от плоскости, на которой потенциальная энергия принимается равной нулю (м)

• Потенциалом электрического поля называют отношение потенциальной энергии заряда в поле к этому заряду:

$$\varphi = W_n / q$$

φ – потенциал, В

→ энергетическая (скалярная) характеристика электрического поля

• Разность потенциалов (напряжение) между двумя точками равна отношению работы поля при перемещении заряда из начальной точки в конечную к этому заряду:

$$U = \varphi_1 - \varphi_2 = A / q$$

U – напряжение, В= Дж/Кл

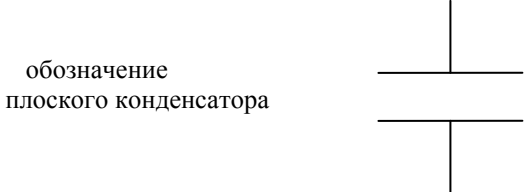
Напряженность поля связана с разностью потенциалов формулой: $U = E \Delta d$, где U – разность потенциалов между двумя точками на одной силовой линии, находящимися на малом расстоянии Δd друг от друга.

• Способность проводника накапливать электрический заряд характеризуют электроемкостью: C

$$C = q / U$$

U – разность потенциалов, В
 C – электроемкость, выражается фарадах, $\Phi = Кл/В$

Наибольший заряд накапливается в конденсаторах- системах двух проводников, размеры которых много больше расстояния между ними.



Емкость плоского конденсатора пропорциональна площади пластин и обратно пропорциональна расстоянию между пластинами. Емкость зависит от свойств диэлектрика между обкладками.

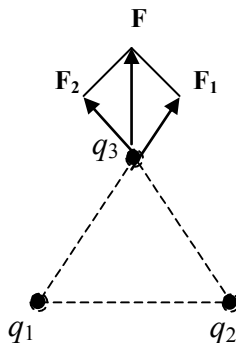
Энергия заряженного конденсатора определяется по формуле:

$$W_n = q U/2 = C U^2/2$$

Основное применение конденсаторов находят в радиотехнике.

Примеры решения задач:

Задача 1. В вершинах равнобедренного треугольника находятся одинаковые положительные заряды q_1, q_2, q_3 , по 5 мкКл каждый. Длина стороны $a = 20$ см. Определите силу, действующую со стороны двух зарядов на третий, находящийся в вершине треугольника.



Решение

Задачи на определение напряженностей или сил взаимодействия нужно начинать решать с построения векторов напряженностей полей, создаваемых заряженными телами, или с построения векторов сил. Все заряды в данной задаче – одного знака, значит силы F_1 и F_2 со стороны двух зарядов в основании треугольника, действующие на третий заряд, являются силами отталкивания. Начертим векторы этих сил, найдем равнодействующую (достроим до параллелограмма, проведем диагональ). Силы F_1 и F_2 равны по величине, т.к. заряды одинаковы и расстояние от зарядов до заряда q_3 тоже равно. Угол между векторами F_1 и F_2 прямой. Следовательно, результирующую силу F найдем по теореме Пифагора, предварительно вычислив F_1 или F_2 :

$$F = \sqrt{F_1^2 + F_2^2} = F_1 \sqrt{2},$$

$$F_1 = kq^2 / a^2, \text{ тогда } F = \sqrt{2} kq^2 / a^2,$$

Подставляя данные в формулу, получим :

$$F = \frac{\sqrt{2} \cdot 9 \cdot 10^9 \text{ Н м}^2 \cdot 25 \cdot 10^{-12} \text{ Кл}^2}{\text{Кл}^2 \cdot 4 \cdot 10^{-2} \text{ м}^2} = 7,93 \text{ н.}$$

Ответ: $F = 7,93 \text{ Н}$

Задача 2.

Проводящая сфера радиусом $r = 0,2$ м, несущая заряд $q = 1,8 \cdot 10^{-4}$ Кл, находится в вакууме. Определите: 1) модуль напряженности E электрического поля на ее поверхности; 2) модуль напряженности E_1 электрического поля в точке, отстоящей на расстоянии $r_1 = 10$ м от центра сферы; 3) модуль напряженности E_0 в центре сферы ; 4) во сколько раз потенциал в центре сферы отличается от потенциала на ее поверхности.

Решение

Электрическое поле заряженной сферы вне ее совпадает с полем точечного заряда. Поэтому

$$E = kq / r^2$$

Следовательно,

- 1) $E = kq / r^2 \approx 4 \cdot 10^7$ В/м
- 2) $E_1 = kq / r_1^2 \approx 1,6 \cdot 10^3$ В/м
- 3) Напряженность поля в любой точке внутри проводящей сферы равна 0: $E_0 = 0$;
- 4) Потенциалы всех точек внутри сферы одинаковы и равны потенциалу поверхности сферы.

Задача 3.

Конденсатор имеет емкость $C = 5$ пФ. Какой заряд находится на каждой из его обкладок, если разность потенциалов между ними $U = 1000$ В?

Решение

Емкость конденсатора C определяется по формуле: $C = q / U$.

Из этой формулы следует, что $q = C U$.

$$q = 5 \cdot 10^{-12} \text{ Ф} \cdot 1000 \text{ В} = 5 \cdot 10^{-9} \text{ Кл.}$$

Ответ: $q = 5 \cdot 10^{-9}$ Кл.

Задача 4.

Плоский конденсатор подключен к источнику постоянного напряжения 1000 В. Площадь каждой пластины 20 см^2 , расстояние между ними 2 см. Определите изменение энергии конденсатора при уменьшении расстояния между пластинами вдвое.

Решение

В данной задаче изменение энергии конденсатора обусловлено изменением только его емкости. Так как конденсатор не отключен от источника, напряжение на нем не может измениться. Поэтому для определения ΔW удобно воспользоваться формулой $W_{\text{п}} = C U^2 / 2$, т.к. в этом случае не изменялся бы заряд на конденсаторе.

Итак, изменение энергии определяем по формуле:

$$\Delta W = C_2 U^2 / 2 - C_1 U^2 / 2.$$

Напряжение останется одним и тем же, т.к. конденсатор не отключен от источника. Емкость конденсатора выразим по формуле: $C = \epsilon_0 S/d$, где S - площадь пластин, d – расстояние между пластинами. Тогда :

$$\Delta W = \frac{\epsilon_0 S U^2}{d_1} - \frac{\epsilon_0 S U^2}{2d_1}$$

Подставляя численные данные, получим $\Delta W = \frac{8,85 \cdot 10^{-12} \cdot 20 \cdot 10^{-4} \cdot 10^6}{4 \cdot 10^{-2}} =$
 $= 0,44$ мкДж.

Ответ: $\Delta W = 0,44$ мкДж.

Лабораторные исследования по теме « Электростатика » Изучение электризации различных тел.

Цель работы: демонстрация на нескольких примерах того:

- 1) как тела электризуются;
- 2) как наэлектризованные тела взаимодействуют друг с другом.

Оборудование: деревянная пробка, грубый напильник, чистая линейка (расческа) из пластмассы, кусок меха ($\approx 20 \times 20$ см, шелковая (синтетическая) нить длиной 10см, лист фольги (золотинка) размером 5×5 см. пластмассовый корпус шариковой ручки, стакан, спиртовая горелка (свеча), спички.

Ход работы:

1) Над листом бумаги потрите пробку о напильник, пока не образуется небольшая кучка пробковых опилок. Потрите линейку о кусок меха и поднесите ее к пробковым опилкам. Убедитесь в том, что пробковые опилки начнут притягиваться к линейке, прилипая к ней. Стряхните опилки с линейки и несколько раз проведите ею над горящим пламенем спиртовки или свечи. Ионы, присутствующие над пламенем горелки. Нейтрализуют электрический заряд линейки. **Убедитесь в том, что к незаряженной линейке пробковые опилки прилипать не будут.**

2) Прodelайте следующий опыт: откройте водопроводный кран так, чтобы струя воды была как можно тоньше. Потрите линейку о кусок меха и поднесите ее к верхней части струи. **Убедитесь в том, что струя начинает притягиваться** (рис а).

3) Сделайте простейший электроскоп – прибор для обнаружения электрического заряда. Для этого сложите прямоугольный листок тонкого картона размером 2×10 см пополам вдоль его длины. В середине линии сгиба листка с внутренней стороны булавкой сделайте небольшую вмятину, не прокалывая листок насквозь. Потом на острие карандаша положите согнутый листок картона (рис б) так, чтобы острие совпало с вмятиной. Попросите кого –нибудь поднести к одному из концов листка картона предварительно заряженную линейку. **Убедитесь в том, что**

листок начинает вращаться на оси карандаша. Притягиваясь ближайшим концом к линейке.

4) Сделайте электроскоп, который можно заряжать. Для этого перетяните лист фольги (золотинки) размером 5×5 см в его середине, завяжите узел и слегка сомните фольгу в шарообразный комок. Затем положите на керамическую кружку или стакан шариковую ручку, а к ней привяжите шарик, висящий на нити так, чтобы он не касался стенок стакана (рис в). Поднеся заряженную линейку к шарик, вы увидите, что он притягивается к ней, а после соприкосновения сразу отталкивается от нее. Это происходит из – за того, что при их контакте часть заряда перетекает с линейки на шарик, и он, заряженный одноименным зарядом, начинает отталкиваться от линейки.

Зачет по теме « Электростатика »

Теоретические вопросы:

1. Электрический заряд. Закон сохранения электрического заряда.
2. Закон Кулона.
3. Электрическое поле. Напряженность электрического поля.
4. Проводники и диэлектрики в электрическом поле.
5. Потенциал электрического поля. Разность потенциалов.
6. Емкость, единицы емкости.
7. Конденсаторы. Энергия заряженного конденсатора. Применение конденсаторов.

Практические вопросы:

1. Когда мы снимаем одежду, особенно изготовленную из синтетических материалов, мы слышим характерный треск. Какое явление объясняет этот треск?
2. На какую минимальную величину может измениться заряд золотой пылинки?
 - 1) на величину, равную по модулю заряду электрона
 - 2) на величину, равную по модулю заряду ядра атома золота
 - 3) на сколь угодно малую
 - 4) ответ зависит от размера пылинки.
3. Можно ли с помощью электризации тел трением зарядить только одно из соприкасающихся тел?
4. Почему разряжается электроскоп, если коснуться его стержня пальцем?
5. Сила электростатического взаимодействия между двумя одинаковыми зарядами по 1 мкКл на расстоянии 10 см друг от друга равна...
 - 1) 0,9Н
 - 2) 9Н
 - 3) 10^{-10} Н
 - 4) $9 \cdot 10^5$ Н

6. Как изменится модуль напряженности электрического поля, созданного точечным зарядом, при уменьшении расстояния от него до точки измерения в n раз?

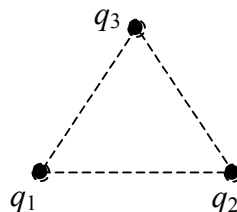
- 1) увеличится в n раз 2) уменьшится в n раз
3) уменьшится в n^2 раз 4) увеличится в n^2 раз

7. Какую работу совершают электростатические силы при перемещении протона из одной точки поля в другую, если разность потенциалов между этими точками 5000В ?

8. Модуль силы воздействия одного неподвижного точечного заряженного тела на другое равен F . Чему станет равен модуль этой силы, если увеличить заряд одного тела в 2 раза, а второго – в 3 раза?

- 1) $5F$ 2) $1/5 F$ 3) $6F$ 4) $1/6 F$

9. Три медных шарика диаметром 1 см каждый расположены в воздухе в вершинах правильного треугольника со стороной 20 см. Первый шарик несет заряд $q_1 = 4$ нКл, второй $q_2 = 3$ нКл, а третий $q_3 = 2$ нКл. С какой силой второй шарик действует на первый? Ответ выразите в микроныютонах (мкН), округлив до десятых.



10. Конденсатор электроемкостью $0,01\text{Ф}$ заряжен до напряжения 20В . Какой энергией обладает конденсатор?

- 1) $0,1\text{Дж}$ 2) $0,2\text{Дж}$ 3) 2Дж 4) 4Дж

11. Если заряд на конденсаторе постоянной емкости увеличить в 2 раза, то энергия электрического поля конденсатора...

- 1) не изменится 2) уменьшится в 2 раза
3) увеличится в 2 раза 4) увеличится в 4 раза

12. Энергия электрического поля конденсатора, заряженного от источника питания с выходным напряжением 100В , равен 400мкДж . Какой станет энергия конденсатора, если из пространства между обкладками после отключения конденсатора от источника питания вынуть диэлектрическую пластину, заполняющую все пространство между обкладками и имеющую диэлектрическую проницаемость материала, равную 10?