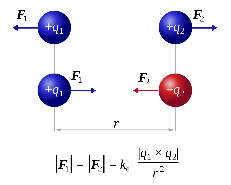
1. **Свойства электрического заряда. Закон Кулона. Электрическое поле. Напряжённость электрического поля. Принцип суперпозиции. Вычисление напряженности поля систем зарядов. Объемная, поверхностная и линейная плотность заряда.**

**Электрический заряд q** — это физическая величина, которая характеризует свойство тел или частиц вступать в электромагнитные взаимодействия и определяет значения сил и энергий при таких взаимодействиях. Ему присущи следующие фундаментальные свойства:

1. **электрический заряд существует в двух видах**: отрицательный и положительный заряды
2. **электрический заряд дискретен**, т.е. заряд любого тела составляет целое кратное от элементарного электрического заряда , т.е. , где N - целое число
3. **В природе отрицательных зарядов столько же, сколько положительных**. Возникновение заряженных тел обусловлено не рождением зарядов, а их перераспределением (возникающим, например, при трении)
4. **Закон сохранения заряда**: алгебраическая сумма электрических зарядов любой замкнутой системы (системы не обменивающейся зарядами с внешними телами) остается неизменной, какие бы процессы ни происходили внутри этой системы. (экспериментально подтвержден М. Фарадеем)
5. **Электрический заряд - величина релятивистски инвариантная**, т.е. не зависит от системы отсчёта, а значит, не зависит от того, движется этот заряд или покоится

**Закон Кулона**: сила взаимодействия F между двумя неподвижными точечными зарядами, находящимися в вакууме, пропорциональна зарядам Q1 и Q2 и обратно пропорциональна квадрату расстояния r между ними, где k - коэффициент пропорциональности, зависящий от выбора системы единиц. В СИ , где величина – называется электрической постоянной и равна , где фарад (Ф) единица электроёмкости. Тогда численное значение коэффициента .

Сила F направлена по прямой, соединяющей взаимодействующие заряды, т.е. является центральной, и соответствует притяжению (F <0) в случае разноименных зарядов и отталкиванию (F>0) в случае одноименных. Эта сила называется **кулоновской силой**. В векторной форме закон кулона имеет вид: , где – сила, действующая на заряд со стороны или , где – сила, действующая на заряд со стороны .



Если в пространство, окружающее электрический заряд, внести другой заряд, то на него будет действовать кулоновская сила, следовательно в пространстве, окружающем электрические заряды, существует силовое поле. По современным представлениям, электрические заряды не действуют друг на друга непосредственно. Каждое заряженное тело создает в окружающем пространстве **электрическое поле**. Это поле оказывает силовое действие на другие заряженные тела. Главное свойство электрического поля – действие на электрические заряды с некоторой силой. Таким образом, взаимодействие заряженных тел осуществляется не непосредственным их воздействием друг на друга, а через электрические поля, окружающие заряженные тела.

Электрическое поле, окружающее заряженное тело, можно исследовать с помощью так называемого **пробного заряда** – небольшого по величине точечного заряда, который не производит заметного перераспределения исследуемых зарядов.

Для количественного определения электрического поля вводится **силовая** характеристика - **напряженность электрического поля**.

**Напряженностью электрического поля** называют физическую величину, равную отношению силы, с которой поле действует на положительный пробный заряд, помещенный в данную точку пространства, к величине этого заряда: (1)

В соответствии с законом Кулона напряжённость электрического поля, создаваемого точечным зарядом Q на расстоянии r от него в вакууме, равна по модулю: .

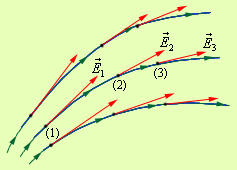
Это поле называется **кулоновским**. В кулоновском поле направление вектора зависит от знака заряда Q: если Q> 0, то вектор направлен по радиусу от заряда, если Q <0, то вектор направлен к заряду.

Из формулы (1) следует, что единица напряженности электрического поля: **ньютон на кулон (Н / Кл).** 1 Н/Кл = 1 В/м, где В(вольт) - единица потенциала электрического поля.

Кулоновское поле точечного заряда Q удобно записать в векторной форме. Для этого нужно провести радиус-вектор то заряда Q к точке наблюдения. Тогда при Q> 0 вектор сонаправлен , а при Q <0 вектор противоположно направлен . Следовательно, можно записать:

, где r – модуль радиус-вектора .

Для наглядного изображения электрического поля используют **силовые линии**. **Силовые линии напряжённости** – линии, касательные к которым в каждой точке поля совпадают с направлением вектора напряжённости электрического поля в данной точке. При изображении электрического поля с помощью силовых линий, их густота должна быть пропорциональна модулю вектора напряженности поля.



Если с помощью пробного заряда исследуется электрическое поле, создаваемое несколькими заряженными телами, то результирующая сила оказывается равной геометрической сумме сил, действующих на пробный заряд со стороны каждого заряженного тела в отдельности. Следовательно, **напряженность электрического поля, создаваемого системой зарядов в данной точке пространства, равна векторной сумме напряженностей электрических полей, создаваемых в той же точке зарядами в отдельности:**

Это свойство электрического поля означает, что поле подчиняется принципу **суперпозиции**.

Для упрощения математических расчетов удобно заменить истинное распределение точечных зарядов фиктивным непрерывным распределением, игнорируя тот факт, что заряды имеют дискретную структуру. Удобно считать, что заряды определенным образом «размазаны» в пространстве. Это позволяет значительно упростить расчёты, не внося в них сколько-нибудь значительной ошибки. При переходе к непрерывному распределению вводят понятия о плотностях зарядов: линейной - , поверхностной - , и объемной - .

**Линейная плотность заряда** определяет отношение величины заряда Δq к длине нити Δ , вдоль которой он распределен:

.

**Поверхностная плотность заряда** определяет отношение величины заряда Δq к поверхности ΔS, на которой он распределен:

.

**Объемная плотность заряда** определяет отношение величины заряда Δq к объему ΔV, в котором он распределен, при условии:

.

Зная плотность распределения заряда, его величину можно рассчитать по формулам:

, ,

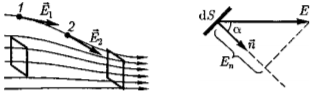
В СИ единицами измерения плотностей зарядов являются: линейной - []=Кл/м, поверхностной -[] = Кл/м2, объемной - [] = Кл/м3.

1. **Понятие потока вектора. Теорема Гаусса для электростатического поля в вакууме. Применение теоремы Гаусса для расчета электростатических симметричных полей в вакууме (заряженной плоскости, сферы, цилиндра).**

**Потоком вектора напряженности** называют число силовых линий, пронизывающих элементарную площадку , нормаль которой составляет угол с вектором ()

где

т.е. – вектор, модуль которого равен , а направление совпадает с нормалью к площадке, а – проекция вектора на нормаль к площадке



Единица потока вектора напряженности электростатического поля - **вольт-метр**().

Поток сквозь произвольную замкнутую поверхность S равен:

где интеграл берется по замкнутой поверхности S.

Принято для замкнутых поверхностей нормаль брать наружу области, т.е. выбирать внешнюю нормаль.

Поток вектора величина алгебраическая, она зависит не только от конфигурации поля , но и от выбора направления нормали.

Для поверхности любой формы, если она замкнута и заключает в себя точечный заряд Q, поток вектора Е будет равен — , т. е

*(1)*

Знак потока совпадает со знаком заряда Q.

Рассмотрим общий случай произвольной поверхности, окружающей *n* зарядов. В соответствии с принципом суперпозиции напряженность поля, создаваемого всеми зарядами, равна сумме напряженностей полей, создаваемых каждым зарядом в отдельности: . Поэтому

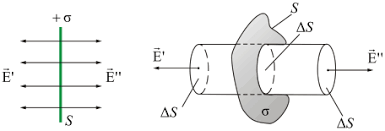
*=*

Согласно (1), каждый из интегралов, стоящий под знаком суммы, равен . Следовательно,

**Формула (2) выражает теорему Гаусса для электрического поля в вакууме**: поток вектора напряженности электростатического поля в вакууме сквозь произвольную замкнутую поверхность равен алгебраической сумме заключенных внутри этой поверхности зарядов, деленной на *.*

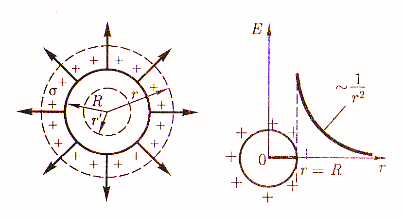
В общем случае электрические заряды могут быть «размазаны» с некоторой объемной плотностью различной в разных местах пространства. Тогда суммарный заряд, заключенный внутри замкнутой поверхности S, охватывающей некоторый объем V, равен . Используя этот результат, теорему Гаусса (2) можно записать так:

**Напряженность поля равномерно заряженной бесконечной плоскости.** Бесконечная плоскость (см. рис) заряжена с постоянной поверхностной плотностью . Линии напряжённости перпендикулярны рассматриваемой плоскости и направлены от неё в обе стороны.



В качестве замкнутой поверхности мысленно построим цилиндр, основания которого параллельны заряженной плоскости, а ось перпендикулярна ей. Так как образующие цилиндра параллельны линиям напряженности (), то поток вектора напряженности сквозь боковую поверхность цилиндра равен нулю, а полный поток сквозь цилиндр равен сумме потоков сквозь его основания (площади оснований равны и для основания совпадает с ), т.е. равен . Заряд, заключенный внутри построенной цилиндрической поверхности, равен . Согласно теореме Гаусса (2), , откуда

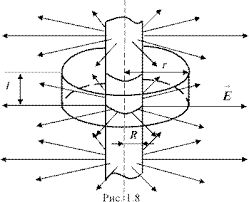
**Поле равномерно заряженной сферической поверхности**. Сферическая поверхность радиусом R с общим зарядом Q заряжена равномерно с поверхностной плотностью . Благодаря равномерному распределению заряда по поверхности поле, создаваемое им, обладает сферической симметрией.  Поэтому линии напряженности направлены радиально (см. рис).



Построим мысленно сферу радиусом , имеющую общий центр с заряженной сферой. Если , то внутрь поверхности попадает весь заряд , создающий рассматриваемое поле, и, по теореме Гаусса (2): , откуда .

При поле убывает с расстоянием по такому же закону, как у точечного заряда. График зависимости от приведен на рис. Если , то замкнутая поверхность не содержит внутри зарядов, поэтому внутри равномерно заряженной сферической поверхности электростатическое поле отсутствует ().

**Поле равномерно заряженного бесконечного цилиндра (нити)**. Бесконечный цилиндр радиусом (см. рис) заряжен равномерно с линейной плотностью (). Из соображений симметрии следует, что линии напряженности будут направлены по радиусам круговых сечений цилиндра с одинаковой густотой во все стороны относительно оси цилиндра.



В качестве замкнутой поверхности мысленно построим коаксиальный цилиндр радиусом и высотой (см. рис. 133). Поток вектора сквозь торцы коаксиального цилиндра равен нулю (торцы параллельны линиям напряженности), а сквозь боковую поверхность равен . По теореме Гаусса (2), при , откуда

Если , то замкнутая поверхность зарядов внутри не содержит, поэтому в этой области . Таким образом, напряженность поля вне равномерно заряженного бесконечного цилиндра определяется выражением , внутри же его поле отсутствует.

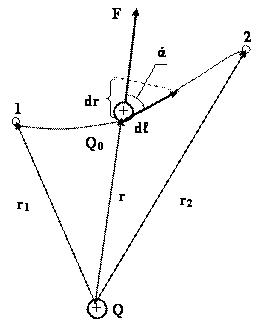
1. **Циркуляция вектора напряжённости электростатического поля. Условие потенциальности электростатического поля.**

Если в электростатическом поле точечного заряда Q из точки 1 в точку 2 вдоль произвольной траектории (см. рис) перемещается другой точечный заряд , то сила, приложенная к заряду, совершает работу. Работа силы на элементарном перемещении равна:

.

Так как , то .

Работа при перемещении заряда из точки 1 в точку 2: не зависит от траектории перемещения, а определяется только положениями начальной - 1 и конечной - 2 точек. Следовательно, электростатическое поле точечного заряда является **потенциальным**, а электростатические силы — **консервативными**.



Из формулы (1) следует, что работа, совершаемая при перемещении электрического заряда во внешнем электростатическом поле по любому замкнутому пути L, равна нулю, т.е. .

Если в качестве заряда, переносимого в электростатическом поле, взять единичный точечный положительный заряд, то элементарная работа сил поля на пути равна , где — проекция вектора на направление элементарного перемещения. Тогда формулу (2) можно записать в виде:

Интеграл называется **циркуляцией вектора напряженности**. Таким образом, циркуляция вектора напряженности электростатического поля вдоль любого замкнутого контура равна нулю. Силовое поле, обладающее свойством (3), называется потенциальным. Из обращения в нуль циркуляции вектора следует, что линии напряженности электростатического поля не могут быть замкнутыми, они начинаются и кончаются на зарядах (соответственно на положительных или отрицательных) или же уходят в бесконечность.

Формула (3) справедлива только для электростатического поля. В дальнейшем будет показано, что для поля движущихся зарядов (поля, изменяющегося со временем) условие (3) не выполняется (для него циркуляция вектора напряженности отлична от нуля).