

Электростатика

Взаимодействие зарядов. Закон Кулона

Электрический заряд - это количественная мера электромагнитного взаимодействия тел.

Взаимодействие неподвижных зарядов называется электростатическим (кулоновским).

Единица электрического заряда в СИ - кулон (Кл).

Физический смысл 1 Кл: 1 Кл - это заряд, проходящий через поперечное сечение проводника, по которому течет постоянный ток силой 1 А, за 1 с.

Основные свойства электрических зарядов:

двойственность, аддитивность, сохранение, квантование, инвариантность по отношению к разным инерциальным системам отсчёта.

Двойственность электрических зарядов

В природе существуют заряды двух знаков.

Положительным называется заряд, который приобретает стеклянная палочка, потертая о шелк или бумагу.

Отрицательным называется заряд, который приобретает эбонитовая палочка, потертая о мех или шерсть.

Наименьшим (элементарным) положительным зарядом обладает элементарная частица протон.

Наименьшим (элементарным) отрицательным зарядом обладает элементарная частица электрон.

Элементарный заряд: $e = 1.6 \cdot 10^{-19}$ Кл.

Все законы физики симметричны к операции замены всех положительных зарядов тела на отрицательные и наоборот.

- **Аддитивность электрических зарядов**

Общий заряд q системы, состоящей из N заряженных частиц, равен сумме зарядов частиц, входящих в эту систему.

- **Сохранение заряда**

В изолированной системе алгебраическая сумма всех зарядов сохраняется при любых изменениях внутри системы.

Электризацией тела называется появление на нем нескомпенсированного электрического заряда.

- **Квантование заряда**

Любой электрический заряд квантуется, т.е. делится целое число раз на элементарные электрические заряды: $q = N e$.

- **Инвариантность заряда к разным инерциальным системам отсчета**

Величина заряда не зависит от скорости его движения. Электрический заряд инвариантен к разным инерциальным системам отсчета.

Классификация электрических зарядов

- **по способности перемещаться по заряженному телу под действием электрического поля: свободные, связанные и сторонние.**

Свободными называются заряды, способные передвигаться по всему телу, на котором они находятся, под действием электрического поля, в которое тело помещено.

Связанными называются заряды, входящие состав молекул диэлектриков (изоляторов), которые под действием внешнего электрического поля могут лишь смещаться в пределах молекулы относительно положения равновесия, но покинуть молекулу не могут.

Сторонним называются заряды, находящиеся на диэлектрике, но не входящие в состав его молекул, а также заряды вне диэлектрика.

**• по размерам тела, на котором заряды находятся:
точечные и протяженные.**

Точечным называется заряд тела, принятого за материальную точку.

Протяженным (распределенным) называется заряд тела, размерами которого пренебречь нельзя. Протяженные заряды делятся на линейные, поверхностные и объемные.

Закон Кулона

Сила взаимодействия двух покоящихся точечных электрических зарядов прямо пропорциональна произведению модулей этих зарядов и обратно пропорциональна квадрату расстояния между ними:

$$F = \frac{q_1 \cdot q_2}{4\pi \cdot \varepsilon \cdot \varepsilon_0 \cdot r^2}$$

где

F - сила взаимодействия точечных зарядов,

q_1 и q_2 - модули зарядов,

$\varepsilon_0 = 8.85 \cdot 10^{-12}$ Кл² / (Н · м²) – электрическая постоянная.

ε - относительная диэлектрическая проницаемость среды,

r - расстояние между зарядами.

$\varepsilon_{\text{вакуума}} = 1$.

Принцип суперпозиции

Принцип суперпозиции сил при взаимодействии нескольких зарядов: равнодействующая сил, действующих на данный заряд со стороны других зарядов, равна векторной сумме сил, действующих на этот заряд со стороны каждого заряда в отдельности

Электрическое поле

- Электрическое поле - это форма материи, окружающей электрически заряженные тела.
- Электрическое поле, окружающее неподвижные заряды-источники поля, называется электростатическим.

Основные свойства электрического поля

- 1. Источником электрического поля являются электрические заряды и переменные магнитные поля, с которыми данное электрическое поле неразрывно связано; источником электростатического поля являются только неподвижные электрические заряды.
- 2. Электрическое поле действует на внесенные в него заряды с некоторой силой.
- 3. Электрическое поле распространяется в пространстве с конечной скоростью, которая в вакууме равна скорости света $c = 3 \cdot 10^8$ м/с.

Напряженность электрического поля

- Напряженность электрического поля в данной точке равна отношению силы, действующей на пробный заряд, внесенный в эту точку, к величине этого заряда.

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q_0} ,$$

- где F - сила, действующая со стороны электрического поля напряженностью E на пробный заряд q_0 , внесенный в эту точку поля.

$$\vec{E} = \frac{q}{4\pi \cdot \varepsilon \cdot \varepsilon_0 \cdot r^2} \cdot \frac{\vec{r}}{r}$$

Принцип суперпозиции полей

Напряженность электрического поля E , созданного в данной точке несколькими зарядами-источниками, равна векторной сумме напряженностей полей, созданных в этой точке каждым зарядом в отдельности

Силовые линии электрического поля

- Силовой линией электрического поля называется линия, в каждой точке которой вектор напряженности направлен по касательной к ней

Правила изображения силовых линий

- 1. Линии вектора напряженности электрического поля (силовые линии) начинаются и оканчиваются на электрических зарядах или уходят в бесконечность, т.е. они всегда разомкнуты и внутрь проводников с неподвижными зарядами не проникают
- 2. Движущиеся электрические заряды и переменные магнитные поля связаны с вихревыми электрическими полями, силовые линии которых замкнуты
- 3. Линии вектора напряженности электростатического поля (силовые линии) выходят из положительных зарядов и входят в отрицательные или уходят в бесконечность от положительных зарядов, или входят их бесконечности в отрицательные заряды

4. Линии вектора напряженности электрического поля никогда не пересекаются (их пересечение означало бы наличие в точке пересечения двух различных направлений одного и того же вектора напряженности, направленного по касательной к ним, что не имеет смысла)

5. Чем гуще располагаются линии вектора напряженности (силовые линии), тем больше напряженность поля в этом месте; при этом силовые линии не могут сливаться, так как это означало бы бесконечно большую величину напряженности поля

Однородные и неоднородные электрические поля

- Поле, в каждой точке которого вектор напряженности остается постоянным по величине и направлению, называется однородным
- В противном случае поле называется неоднородным
- Поля точечных зарядов - неоднородные поля

- **Поле бесконечной равномерно заряженной плоскости**

Поле бесконечной равномерно заряженной плоскости является однородным.

$$E = \sigma / (2 \varepsilon_0 \varepsilon),$$

где $\sigma = q / S$ - поверхностная плотность заряда.

Поле двух бесконечных, равномерно и разноименно заряженных плоскостей, расположенных параллельно друг другу

Поле двух бесконечных, равномерно и разноименно заряженных плоскостей, расположенных параллельно друг другу, однородно и целиком сосредоточено между этими плоскостями.

$$E = \sigma / (\varepsilon_0 \varepsilon).$$

Работа перемещения заряда в однородном электростатическом поле

$$A = F d$$

$$A = E q_0 d$$

- Работа перемещения заряда в однородном электростатическом поле не зависит от формы траектории заряда, а зависит от положения в этом поле начальной и конечной точек перемещения
- Работа перемещения заряда по замкнутой траектории, совершаемая силами электростатического поля, равна нулю

Работа перемещения пробного точечного заряда в поле

- Пусть r_1 – расстояние между зарядом-источником и пробным зарядом в начальном положении, r_2 – расстояние между зарядом-источником и пробным зарядом в конечном положении.

- Работа:

$$A = q_{\text{пр}} q_{\text{ист}} / (4 \pi \epsilon_0 \epsilon r_1) - q_{\text{пр}} q_{\text{ист}} / (4 \pi \epsilon_0 \epsilon r_2).$$

- Потенциальная энергия:

- $W_{\text{п}} = q_{\text{пр}} q_{\text{ист}} / (4 \pi \epsilon_0 \epsilon r).$

Потенциал

Потенциал электрического поля равен отношению потенциальной энергии заряда в этом поле к величине этого заряда:

$$\varphi = W_{\text{п}} / q_{\text{пр}}$$

Потенциал – энергетическая характеристика электрического поля.

$$\varphi = q_{\text{ист}} / (4 \pi \varepsilon_0 \varepsilon r)$$

Потенциал поля φ , созданного в данной точке множеством зарядов-источников, равен алгебраической сумме потенциалов полей φ_i , созданных в этой точке каждым зарядом в отдельности

Разность потенциалов

Пусть под действием электрической силы пробный заряд перемещается из точки поля с потенциалом φ_1 в точку поля с потенциалом φ_2 . Работа этой силы равна:

$$\begin{aligned} A &= W_{п1} - W_{п2}, \\ A &= q_{пр} \varphi_1 - q_{пр} \varphi_2, \\ A &= q_{пр} (\varphi_1 - \varphi_2). \end{aligned}$$

Разность потенциалов (напряжение): $U = \Delta\varphi = \varphi_1 - \varphi_2$,

$$U = A / q_{пр}.$$

Разность потенциалов (напряжение) между двумя точками электрического поля равна отношению работы перемещения единичного заряда из одной точки поля в другую.

Единица потенциала – вольт (В).

$$1 \text{ В} = 1 \text{ Дж} / 1 \text{ Кл}.$$

Потенциал точки, удаленной в бесконечность от заряда-источника электрического поля, принимают равным нулю.

Связь напряженности с разностью потенциалов в однородном электрическом поле

Напряженность однородного электростатического поля равна отношению разности потенциалов между двумя его точками к проекции отрезка, соединяющего эти точки, на линию вектора напряженности

$$E = (\varphi_1 - \varphi_2) / d,$$
$$E = U / d.$$

Единица напряженности - Н/Кл = В/м.

Эквипотенциальная линия и эквипотенциальная поверхность

- Линия, все точки которой имеют одинаковый потенциал, называется эквипотенциальной линией
- Поверхность, все точки которой эквипотенциальной поверхностью

В однородном электрическом поле эквипотенциальные линии представляют собой параллельные прямые, перпендикулярные силовым линиям.

Проводники в электростатическом поле

Проводники - это вещества, которые проводят электрический ток

Проводники обладают свободными зарядами, т. е. такими зарядами, которые могут свободно передвигаться по всему проводнику под действием электрического поля

В металлических проводниках свободными зарядами являются свободные электроны

Диэлектрики в электростатическом поле

Диэлектрики - это вещества, которые не проводят электрический ток.

У диэлектриков отсутствуют свободные заряды.

Положительные и отрицательные заряды в молекулах и атомах диэлектриков связаны друг с другом кулоновыми силами, значительно превосходящими силы, с которыми внешнее электрическое поле может воздействовать на эти заряды. Оно не может оторвать их друг от друга, а может лишь сместить на расстояние порядка размеров самой молекулы (10^{-10} м).

Смещение зарядов в молекулах и атомах диэлектрика в противоположных направлениях под действием электрического поля, в результате чего на поверхностях диэлектрика возникают нескомпенсированные связанные заряды, называется поляризацией диэлектрика.

Емкость проводника

Емкость проводника равна отношению заряда q , сообщенного проводнику, к потенциалу φ , который он при этом приобрел:

$$C = q / \varphi.$$

Емкость - скалярная положительная величина. Единица емкости - фарад (Ф).

Физический смысл фарада: 1 Ф - емкость проводника, потенциал которого изменяется на 1 В при сообщении ему заряда 1 Кл.

Емкость проводящей сферы

Емкость уединенного проводника сферической формы прямо пропорциональна относительной диэлектрической проницаемости среды, окружающей проводник, и радиусу проводника:

$$C = 4 \pi \epsilon \epsilon_0 R.$$

Конденсаторы

Конденсатор - это система двух близко расположенных друг к другу проводников.

Проводники, образующие конденсатор, называются его обкладками.

Между обкладками конденсатора, заряженными разноименно, образуется однородное электрическое поле.

Емкость конденсатора C равна отношению заряда q на одной из его обкладок к разности потенциалов между ними:

$$C = q / (\varphi_1 - \varphi_2), \quad C = q / U.$$

Емкость плоского конденсатора прямо пропорциональна относительной диэлектрической проницаемости диэлектрика между обкладками, площади обкладок конденсатора и обратно пропорциональна расстоянию между обкладками:

$$C = \varepsilon \varepsilon_0 S / d,$$

где S - площадь одной обкладки конденсатора, d - расстояние между обкладками.

По роду диэлектрика, помещенного между обкладками, конденсаторы бывают слюдяные, бумажные, воздушные, керамические и др.

Потенциальная энергия конденсатора:

$$W_{\text{п}} = C U^2 / 2.$$

Спасибо за внимание!!!