

Заряд $Q = q = K\lambda = A \cdot s$. Вокруг любого заряженного тела существует E -поле (электростатическое поле)

Свойства электрического заряда:

1. Существует в двух видах: положительный и отрицательный.
2. Кратность электрического заряда: любой заряд q всегда кратен заряду электрона.
3. Закон сохранения электрического заряда: в электрически изолированной системе алгебраическая сумма зарядов не изменяется (закон Фарадея).
4. Электрический заряд является релятивистски инвариантным: его величина не зависит от системы отсчета, т.е. не зависит движется заряд или покоится.

$e = -1.6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}; p = 1.6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}; m_e = 9.1 \cdot 10^{-31} \text{ кг}; m_p = 1836 \cdot m_e = 1.67 \cdot 10^{-27} \text{ кг}$. Общий заряд тела обусловлен преобладанием положительно или отрицательно заряженных частиц.

Точечный заряд – заряженное тело, размерами которого можно пренебречь по сравнению с расстоянием до других заряженных тел.

Сила Кулона – сила взаимодействия между точечными (неподвижными) зарядами в вакууме (или в воздухе): $F = \frac{k|q_1||q_2|}{r^2}$,

где $k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} = 9 \cdot 10^9 \frac{\text{Н}\cdot\text{м}^2}{\text{Кл}^2}$, $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \frac{\text{Ф}}{\text{м}}$ – электрическая постоянная. Относительная диэлектрическая проницаемость ϵ показывает, во сколько раз сила взаимодействия двух электрических зарядов в среде меньше, чем в вакууме. Разноименно заряженные тела взаимно притягиваются, одноименно – отталкиваются.

Взаимодействия между зарядами осуществляется через электрическое (электромагнитное) поле, являющееся определенной формой материи.

Любое заряженное тело, помещенное в какую-либо точку E -поля, оказывается под воздействием силы.

Электростатическое поле – поле неподвижных зарядов (физическая идеализация).

Пробный заряд – точечный положительный заряд (аналог материальной точки в механике), который не искажает исследуемое поле, т.е. не вызывает в нем перераспределения зарядов (собственным полем пробного заряда пренебрегают).

Если заряд непрерывно распределен внутри макроскопического тела, его пространственное распределение описывают плотности:

Линейная плотность заряда $\tau = \frac{dq}{dl} = \frac{q}{l} = \frac{\text{Кл}}{\text{м}}$.

Поверхностная плотность заряда $\sigma = \frac{dq}{dS} = \frac{q}{S} = \frac{\text{Кл}}{\text{м}^2}$.

Объемная плотность заряда $\rho = \frac{dq}{dV} = \frac{q}{V} = \frac{\text{Кл}}{\text{м}^3}$.

Характеристики электрического поля:

1. **Напряженность** (силовая) – векторная величина, численно равная силе, действующей на единичный положительный заряд, покоящийся в данной точке поля, и отнесенной к величине этого заряда. Вектор напряженности совпадает по направлению с силой, действующей на «+» заряд. $E = \frac{F}{q} = \frac{\text{В}}{\text{м}}$.

2. **Потенциал** – скалярная энергетическая характеристика электростатического поля, характеризующая потенциальную энергию поля, которой обладает единичный заряд, помещенный в данную точку поля. Электростатический потенциал равен отношению потенциальной энергии взаимодействия заряда с полем к величине этого заряда

Линии напряженности – линии, касательные к которым в каждой точке поля направлены также, как и вектор напряженности. Они начинаются на «+» зарядах, заканчиваются на «-» зарядах. Линии не пересекаются, не замкнуты. Густота линий напряженности пропорциональна модулю вектора напряженности электрического поля.

Принцип суперпозиции электрических полей – Напряженность поля системы зарядов равна векторной сумме напряженностей полей, которое создает каждый из этих зарядов в отдельности.

Однородное поле – поле, в каждой точке которого напряженность одинакова по модулю и направлению (например, поле равномерно заряженной плоскости, плоского конденсатора).

Элементарный поток $d\Phi = B \cdot m$ **вектора напряженности** E через площадку dS (силовая характеристика) – число линий напряженности электрического поля, пронизывающих площадку dS . $d\Phi = E \cdot dS \cdot \cos \alpha$, α – угол между нормалью к поверхности и линиями напряженности электрического поля.

Теорема Гаусса – полный поток вектора напряженности E через замкнутую поверхность равен алгебраической сумме всех зарядов, заключенных внутри этой поверхности, деленной на ϵ_0 . $\oint E d\vec{S} = \frac{q}{\epsilon_0}$.

Теорема Гаусса применяется для расчета напряженностей и потенциалов случаев специальной симметрии:

1. Точечный заряд: $E = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 r^2}$, $\varphi = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 r}$.

2. Бесконечная заряженная плоскость с поверхностной плотностью заряда σ : $E = \frac{\sigma}{2\epsilon_0}$, $\varphi_1 - \varphi_2 = \frac{\sigma}{2\epsilon_0} l \cos \alpha$.

3. Система из двух параллельных разноименно заряженных плоскостей с поверхностной плотностью заряда σ : $E = \frac{\sigma}{\epsilon_0}$.

4. Бесконечно длинная тонкая нить (цилиндр) с линейной плотностью заряда τ : внутри нити $E = 0$, $\varphi = 0$, снаружи $E = \frac{\tau}{2\pi\epsilon_0 r}$, $\varphi = -\frac{\tau}{2\pi\epsilon_0} \ln \frac{r}{R}$.

5. Равномерно заряженная полая сфера с зарядом q и радиусом R : внутри сферы $E = 0$, $\varphi = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 R}$, снаружи $E = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 r^2}$, $\varphi = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 r}$.

6. Равномерно заряженный шар с зарядом q и радиусом R : внутри шара $E = \frac{qr}{4\pi\epsilon_0 R^3}$, $\varphi = \frac{3}{2} \frac{1}{4\pi\epsilon_0 R} q - \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{qr^2}{2R^3}$, снаружи $E = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 r^2}$, $\varphi = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 r}$.

Теорема Гаусса в интегральной форме устанавливает связь между физическими величинами в сколь угодно далеких точках пространства в один и тот же момент времени. $\oint_S E d\vec{S} = \frac{Q}{\epsilon_0} = \frac{1}{\epsilon_0} \int_V \rho dV$.

В дифференциальной форме она является локальной теоремой, связывающей объемную плотность заряда ρ и $\text{div } E$ в одной и той же точке поля. Во всех точках поля, где $\text{div } E > 0$ имеются источники поля – положительные заряды, а где $\text{div } E < 0$, находятся отрицательные заряды – стоки поля, а где $\text{div } E = 0$, силовые линии проходят, но не рождаются и не исчезают (зарядов нет). $\text{div } \vec{E} = \nabla \cdot \vec{E} = \frac{\rho}{\epsilon_0}$.

Циркуляция вектора напряженности любого электростатического поля всегда равна нулю $\oint \vec{E} d\vec{l} = 0$.

Потенциал точки поля численно равен работе по перемещению точечного положительного заряда из бесконечности в данную точку поля $\varphi = \frac{A}{q}$, $\int_1^2 \vec{E} d\vec{l} = \varphi_1 - \varphi_2$. $\vec{E} = -\text{grad} \varphi = -\nabla \varphi$.

В случае однородного поля ($E = \text{const}$) $\varphi_1 - \varphi_2 = E \cdot l \cdot \cos \alpha$.

Эквипотенциальные поверхности – поверхности, в каждой точке которых потенциал имеет одно и тоже значение.

Свойства эквипотенциальных поверхностей:

1. Линии напряженности всегда перпендикулярны эквипотенциальным поверхностям.

2. Густота эквипотенциальных поверхностей пропорциональна напряженности поля.

3. Работа по перемещению заряда вдоль эквипотенциальной поверхности равна нулю $A = q(\varphi_1 - \varphi_2) = 0$.

Энергия взаимодействия системы зарядов $W = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n q_i \varphi_i$.

Энергия взаимодействия пары зарядов $W = \frac{1}{2} (q_1 \varphi_1 + q_2 \varphi_2) = \frac{1}{2} \left(q_1 \frac{kq_2}{r} + q_2 \frac{kq_1}{r} \right) = \frac{kq_1 q_2}{r}$.

Электрический диполь – зарядовая система, электрически эквивалентная паре точечных зарядов, одинаковых по величине и разных по знаку, отстоящих друг от друга на расстоянии l .

Электрический момент – основная характеристика диполя (вектор направлен от «-» к «+») $\vec{p} = q\vec{l} = K\lambda \cdot m$.

Диэлектрики – вещества, практически не проводящие электрического тока, но пропускающие E -поля. В диэлектрике нет свободных электрических зарядов, способных перемещаться на значительные расстояния. При внесении диэлектрика во внешнее поле обнаруживаются существенные изменения как во внешнем поле, так и в диэлектрике. Внутри однородных диэлектриков отсутствуют связанные заряды.

Диэлектрики подразделяются на полярные и неполярные. Молекулы полярных диэлектриков отсутствие внешнего электрического поля обладают собственным дипольным моментом. Молекулы неполярных диэлектриков в отсутствие внешнего электрического поля собственный дипольный момент равен нулю.

Поляризация – физический процесс пространственного разделения электрических зарядов под действием внешнего E -поля.

Поляризованность – суммарный дипольный момент, приходящийся на единицу объема диэлектрика $\vec{P} = \frac{\sum p_i}{V} = \frac{K\lambda}{m^2}$, $\vec{P} = \chi \epsilon_0 \vec{E}$, где χ – диэлектрическая восприимчивость, зависящая только от свойств диэлектрика.

Теорема Гаусса для вектора поляризованности – поток вектора поляризованности через замкнутую поверхность определяется связанным зарядом диэлектрика в объеме, ограниченным этой поверхностью, взятым со знаком «-» $\oint_S \vec{P} d\vec{S} = -q_{\text{связ}}.$

Электрическое смещение (индукция) – вспомогательный вектор $\vec{D} = \epsilon_0 \vec{E} + \vec{P} = \frac{K\lambda}{m^2}$.

Взаимосвязь: $\varepsilon = 1 + \chi, \vec{D} = \varepsilon \varepsilon_0 \vec{E}$.

Линии поля E начинаются и заканчиваются как на свободных, так и на связанных зарядах.

Линии поля D начинаются и заканчиваются только на свободных зарядах.

$$q_{\text{связ}} = -\frac{\chi}{\chi+1} q_{\text{своб}} = -\frac{\varepsilon-1}{\varepsilon} q_{\text{своб}}.$$

Проводники – тела, в которых имеются свободные заряды, способные свободно перемещаться внутри этих тел; вещества, проводящие электрический ток. (Металлы, углерод, вода, ртуть, ионизированные газы).

Электростатическая индукция – смещение зарядов под действием электрического поля.

Индукцированные заряды – нескомпенсированные заряды, появившиеся в результате электростатической индукции.

Перемещение зарядов внутри проводника происходит до тех пор пока электрическое поле индуцированных зарядов не компенсирует внешнее поле.

Проводник разрывает часть линий напряженности внешнего электрического поля. Они заканчиваются на «-» зарядах, а вновь начинаются на «+» зарядах. Внутри проводника напряженность электростатического поля равна нулю.

Поверхностная плотность заряда различна в разных точках проводника сложной формы; принимает максимальные значения вблизи заострений. Рядом с остриями возникает электрический ветер.

Потенциал уединенного проводника пропорционален сообщенному ему заряду. Коэффициент пропорциональности – электрическая емкость – физическая величина, численно равная заряду, необходимому для увеличения потенциала проводника на 1 вольт. $C = \frac{q}{\varphi} = \Phi$. Емкость сферического проводника $C = 4\pi\varepsilon\varepsilon_0 R$. Наличие или отсутствие диэлектриков внутри сферы не влияет на ее поверхностный заряд.

Конденсатор – система из двух проводников (обкладок), заряженных одинаковыми по модулю разноименными зарядами; устройство для накопления электрической энергии. Емкость конденсатора $C = \frac{q}{U}$. Емкость плоского конденсатора $C = \frac{\varepsilon\varepsilon_0 S}{d}$. Емкость сферического конденсатора $C = 4\pi\varepsilon\varepsilon_0 \frac{R_1 R_2}{R_2 - R_1}$. Емкость цилиндрического конденсатора $C = \frac{4\pi\varepsilon\varepsilon_0 l}{\ln R_2 / R_1}$.

Параллельное соединение конденсаторов $C = C_1 + \dots + C_n$. Последовательное: $\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \dots + \frac{1}{C_n}$.

Если конденсатор подключен к источнику тока, то напряжение на обкладках постоянно. Если отключен – то постоянен заряд. Энергия конденсатора $W = \frac{qU}{2} = \frac{CU^2}{2} = \frac{q^2}{2C}$.

Электрический ток – упорядоченное движение зарядов.

Электрический ток может быть обусловлен движением как положительными так и отрицательными зарядами.

За положительное направление тока принимают направление движения положительных зарядов.

Условия возникновения электрического тока:

1. Наличие свободных зарядов.
2. Разность потенциалов (электрическое поле или поле сторонних сил).

Сила тока – скалярная величина, численно равная заряду, переносимому через поперечное сечение проводника за единицу времени. $I = \frac{dq}{dt} = A$. Заряд, прошедший по проводнику, может быть найден как площадь фигуры, ограниченной графиком $I(t)$.

$I = n|\vec{e}|vS$, где n – концентрация зарядов, v – скорость направленного движения зарядов.

Плотность тока – векторная величина, численно равная силе тока, проходящего через единичную площадку, расположенную перпендикулярно направлению движения зарядов $\vec{j} = n|\vec{e}|\vec{v} = \frac{A}{m^2}$.

Однородным называется участок проводника, на котором не действуют сторонние силы (нет источников питания).

Закон Ома для однородного участка цепи $I = \frac{U}{R}, R = 0$ м.

Обобщенный закон Ома $I = \frac{U+\varepsilon}{R+r}$, где r – внутреннее сопротивление источника, ε – ЭДС источника.

При последовательном соединении проводников $R = R_1 + \dots + R_n$. При параллельном $\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \dots + \frac{1}{R_n}$.

Правила Кирхгофа: Алгебраическая сумма токов, сходящихся в узле, равна нулю $\sum I = 0$. Алгебраическая сумма произведений сил токов в отдельных участках произвольного замкнутого контура на их сопротивления равна алгебраической сумме ЭДС, действующих на этом контуре. $\sum I_i R_i = \sum \varepsilon_i$.