

Закон Кулона

Темы кодификатора ЕГЭ: закон Кулона.

Взаимодействие неподвижных (в данной инерциальной системе отсчёта) зарядов называется *электростатическим*. Оно наиболее просто для изучения.

Раздел электродинамики, в котором изучается взаимодействие неподвижных зарядов, называется *электростатикой*. Основным закон электростатики — это *закон Кулона*.

По внешнему виду закон Кулона удивительно похож на закон всемирного тяготения, который устанавливает характер гравитационного взаимодействия точечных масс. Закон Кулона является законом электростатического взаимодействия точечных зарядов.

Точечный заряд — это заряженное тело, размеры которого много меньше других размеров, характерных для данной задачи. В частности, размеры точечных зарядов пренебрежимо малы по сравнению с расстояниями между ними.

Точечный заряд — такая же идеализация, как материальная точка, точечная масса и т. д. Вводится она для того, чтобы можно было однозначно говорить о расстоянии между зарядами, не задумываясь о том, между какими именно точками заряженных тел это расстояние измеряется.

Закон Кулона. Сила взаимодействия двух неподвижных точечных зарядов в вакууме прямо пропорциональна произведению абсолютных величин зарядов и обратно пропорциональна квадрату расстояния между ними.

Эта сила называется *кулоновской*. Вектор кулоновской силы всегда лежит на прямой, соединяющей заряды. Для кулоновской силы справедлив третий закон Ньютона: заряды действуют друг на друга с силами, равными по модулю и противоположными по направлению.

В качестве примера на рис. 1 показаны силы \vec{F}_1 и \vec{F}_2 , с которыми взаимодействуют два отрицательных заряда.

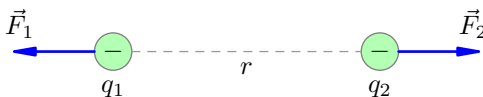


Рис. 1. Кулоновская сила

Если заряды, равные по модулю q_1 и q_2 , находятся на расстоянии r друг от друга, то они взаимодействуют с силой

$$F = k \frac{q_1 q_2}{r^2}. \quad (1)$$

Коэффициент пропорциональности k в системе СИ равен:

$$k = 9 \cdot 10^9 \frac{\text{Н} \cdot \text{м}^2}{\text{Кл}^2}.$$

Если сравнивать с законом всемирного тяготения, то роль точечных масс в законе Кулона играют точечные заряды, а вместо гравитационной постоянной G стоит коэффициент k . Математически формулы этих законов устроены одинаково. Важное физическое отличие заключается в том, что гравитационное взаимодействие всегда является притяжением, а взаимодействие зарядов может быть как притяжением, так и отталкиванием.

Так уж вышло, что наряду с константой k имеется ещё одна фундаментальная константа ε_0 , связанная с k соотношением

$$k = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}.$$

Константа ε_0 называется *электрической постоянной*. Она равна:

$$\varepsilon_0 = \frac{1}{4\pi k} = 8,85 \cdot 10^{-12} \frac{\text{Кл}^2}{\text{Н} \cdot \text{м}^2}.$$

Закон Кулона с электрической постоянной выглядит так:

$$F = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \frac{q_1 q_2}{r^2}. \quad (2)$$

Принцип суперпозиции

Опыт показывает, что выполнен так называемый *принцип суперпозиции*. Он состоит из двух утверждений.

1. Кулоновская сила взаимодействия двух зарядов не зависит от присутствия других заряженных тел.
2. Предположим, что заряд q взаимодействует с системой зарядов q_1, q_2, \dots, q_n . Если каждый из зарядов системы действует на заряд q с силой $\vec{F}_1, \vec{F}_2, \dots, \vec{F}_n$ соответственно, то результирующая сила \vec{F} , приложенная к заряду q со стороны данной системы, равна векторной сумме отдельных сил:

$$\vec{F} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \dots + \vec{F}_n.$$

Принцип суперпозиции проиллюстрирован на рис. 2. Здесь положительный заряд q взаимодействует с двумя зарядами: положительным зарядом q_1 и отрицательным зарядом q_2 .

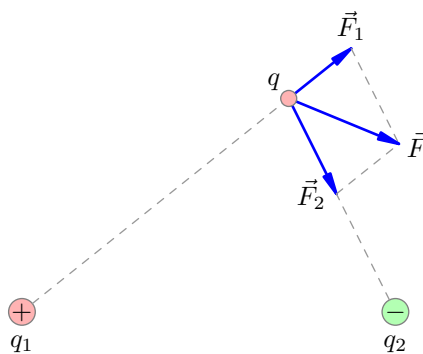


Рис. 2. Принцип суперпозиции

Принцип суперпозиции позволяет прийти к одному важному утверждению.

Вы помните, что закон всемирного тяготения справедлив на самом деле не только для точечных масс, но и для шаров со сферически-симметричным распределением массы (в частности, для шара и точечной массы); тогда r — расстояние между центрами шаров (от точечной массы до центра шара). Этот факт вытекает из математической формы закона всемирного тяготения и принципа суперпозиции.

Поскольку формула закона Кулона имеет ту же структуру, что и закон всемирного тяготения, и для кулоновской силы также выполнен принцип суперпозиции, мы можем сделать аналогичный вывод: *по закону Кулона будут взаимодействовать два заряженных шара (точечный*

заряд с шаром) при условии, что шары имеют сферически-симметричное распределение заряда; величина r в таком случае будет расстоянием между центрами шаров (от точечного заряда до шара).

Значимость данного факта мы увидим совсем скоро; в частности, именно поэтому напряжённость поля заряженного шара окажется вне шара такой же, как и у точечного заряда.

Но в электростатике, в отличие от гравитации, с этим фактом надо быть осторожным. Например, при сближении положительно заряженных металлических шаров сферическая симметрия нарушится: положительные заряды, взаимно отталкиваясь, будут стремиться к наиболее удалённым друг от друга участкам шаров (центры положительных зарядов будут находиться дальше друг от друга, чем центры шаров). Поэтому сила отталкивания шаров в данном случае будет *меньше* того значения, которое получится из закона Кулона при подстановке вместо r расстояния между центрами.

Закон Кулона в диэлектрике

Отличие электростатического взаимодействия от гравитационного состоит не только в наличии сил отталкивания. Сила взаимодействия зарядов зависит от среды, в которой заряды находятся (а сила всемирного тяготения от свойств среды не зависит).

Диэлектриками, или *изоляторами* называются вещества, которые не проводят электрический ток.

Оказывается, что диэлектрик уменьшает силу взаимодействия зарядов (по сравнению с вакуумом). Более того, на каком бы расстоянии друг от друга заряды ни находились, сила их взаимодействия в данном однородном диэлектрике всегда будет *в одно и то же число раз* меньше, чем на таком же расстоянии в вакууме. Это число обозначается ϵ и называется *диэлектрической проницаемостью* диэлектрика. Диэлектрическая проницаемость зависит только от вещества диэлектрика, но не от его формы или размеров. Она является безразмерной величиной и может быть найдена из таблиц.

Таким образом, в диэлектрике формулы (1) и (2) приобретают вид:

$$F = k \frac{q_1 q_2}{\epsilon r^2}, \quad F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1 q_2}{\epsilon r^2}.$$

Диэлектрическая проницаемость вакуума, как видим, равна единице. Во всех остальных случаях диэлектрическая проницаемость больше единицы. Диэлектрическая проницаемость воздуха настолько близка к единице, что при расчёте сил взаимодействия зарядов в воздухе пользуются формулами (1) и (2) для вакуума.