

## Электрический заряд

Темы кодификатора ЕГЭ: электризация тел, взаимодействие зарядов, два вида заряда, закон сохранения электрического заряда.

Электромагнитные взаимодействия принадлежат к числу наиболее фундаментальных взаимодействий в природе. Силы упругости и трения, давление газа и многое другое можно свести к электромагнитным силам между частицами вещества. Сами электромагнитные взаимодействия уже не сводятся к другим, более глубоким видам взаимодействий.

Столь же фундаментальным типом взаимодействия является тяготение — гравитационное притяжение любых двух тел. Однако между электромагнитными и гравитационными взаимодействиями имеется несколько важных отличий.

1. Участвовать в электромагнитных взаимодействиях могут не любые, а только *заряженные* тела (имеющие *электрический заряд*).
2. Гравитационное взаимодействие — это всегда притяжение одного тела к другому. Электромагнитные взаимодействия могут быть как притяжением, так и отталкиванием.
3. Электромагнитное взаимодействие гораздо интенсивнее гравитационного. Например, сила электрического отталкивания двух электронов в  $10^{42}$  раз превышает силу их гравитационного притяжения друг к другу.

Каждое заряженное тело обладает некоторой величиной электрического заряда  $q$ . *Электрический заряд — это физическая величина, определяющая силу электромагнитного взаимодействия между объектами природы.* Единицей измерения заряда является *кулон* (Кл).

### Два вида заряда

Поскольку гравитационное взаимодействие всегда является притяжением, массы всех тел неотрицательны. Но для зарядов это не так. Два вида электромагнитного взаимодействия — притяжение и отталкивание — удобно описывать, вводя два вида электрических зарядов: *положительные* и *отрицательные*.

Заряды разных знаков притягиваются друг к другу, а заряды одного знака друг от друга отталкиваются. Это проиллюстрировано на рис. 1; подвешенным на нитях шарикам сообщены заряды того или иного знака.

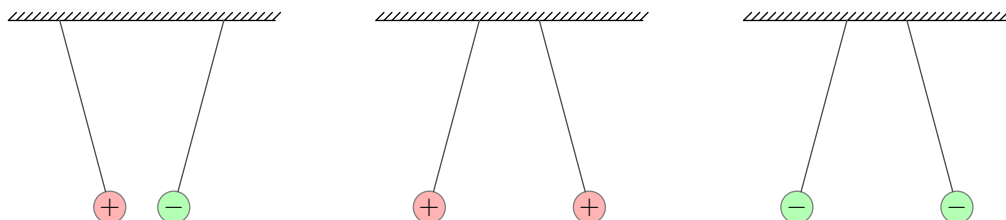


Рис. 1. Взаимодействие двух видов зарядов

Повсеместное проявление электромагнитных сил объясняется тем, что в атомах любого вещества присутствуют заряженные частицы: в состав ядра атома входят положительно заряженные протоны, а по орбитам вокруг ядра движутся отрицательно заряженные электроны.

Заряды протона и электрона равны по модулю, а число протонов в ядре равно числу электронов на орбитах, и поэтому оказывается, что атом в целом электрически нейтрален. Вот почему в обычных условиях мы не замечаем электромагнитного воздействия со стороны окружающих тел: суммарный заряд каждого из них равен нулю, а заряженные частицы равномерно распределены по объёму тела. Но при нарушении электронейтральности (например, в результате *электризации*) тело немедленно начинает действовать на окружающие заряженные частицы.

Почему существует именно два вида электрических зарядов, а не какое-то другое их число, в данный момент не известно. Мы можем лишь утверждать, что принятие этого факта в качестве первичного даёт адекватное описание электромагнитных взаимодействий.

Заряд протона равен  $1,6 \cdot 10^{-19}$  Кл. Заряд электрона противоположен ему по знаку и равен  $-1,6 \cdot 10^{-19}$  Кл. Величина

$$e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$$

называется *элементарным зарядом*. Это минимальный возможный заряд: свободные частицы с меньшей величиной заряда в экспериментах не обнаружены. Физика не может пока объяснить, почему в природе имеется наименьший заряд и почему его величина именно такова.

Заряд любого тела  $q$  всегда складывается из *целого* количества элементарных зарядов:

$$q = \pm Ne.$$

Если  $q < 0$ , то тело имеет избыточное количество  $N$  электронов (по сравнению с количеством протонов). Если же  $q > 0$ , то наоборот, у тела электронов недостаёт: протонов на  $N$  больше.

## Электризация тел

Чтобы макроскопическое тело оказывало электрическое влияние на другие тела, его нужно электризовать. *Электризация* — это нарушение электрической нейтральности тела или его частей. В результате электризации тело становится способным к электромагнитным взаимодействиям.

Один из способов электризовать тело — сообщить ему электрический заряд, то есть добиться избытка в данном теле зарядов одного знака. Это несложно сделать с помощью трения.

Так, при натирании шёлком стеклянной палочки часть её отрицательных зарядов уходит на шёлк. В результате палочка заряжается положительно, а шёлк — отрицательно. А вот при натирании шерстью эбонитовой палочки часть отрицательных зарядов переходит с шерсти на палочку: палочка заряжается отрицательно, а шерсть — положительно.

Данный способ электризации тел называется *электризацией трением*. С электризацией трением вы сталкиваетесь всякий раз, когда снимаете свитер через голову ;-)

Другой тип электризации называется *электростатической индукцией*, или *электризацией через влияние*. В этом случае суммарный заряд тела остаётся равным нулю, но перераспределяется так, что в одних участках тела скапливаются положительные заряды, в других — отрицательные.

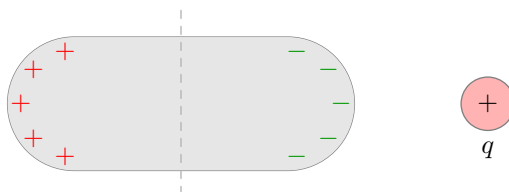


Рис. 2. Электростатическая индукция

Давайте посмотрим на рис. 2. На некотором расстоянии от металлического тела находится положительный заряд  $q$ . Он притягивает к себе отрицательные заряды металла (свободные

электроны), которые скапливаются на ближайших к заряду участках поверхности тела. На дальних участках остаются нескомпенсированные положительные заряды.

Несмотря на то, что суммарный заряд металлического тела остался равным нулю, в теле произошло *пространственное разделение зарядов*. Если сейчас разделить тело вдоль пунктирной линии, то правая половина окажется заряженной отрицательно, а левая — положительно.

Наблюдать электризацию тела можно с помощью *электроскопа*. Простой электроскоп показан<sup>1</sup> на рис. 3.

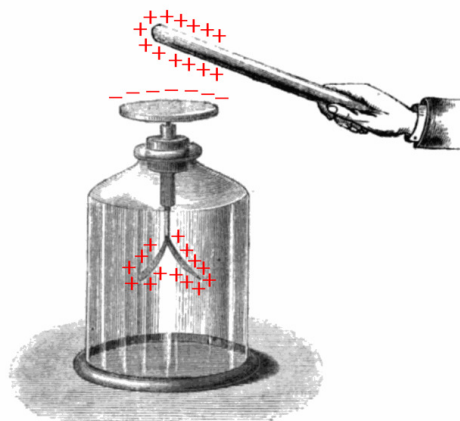


Рис. 3. Электроскоп

Что происходит в данном случае? Положительно заряженная палочка (например, предварительно натёртая) подносится к диску электроскопа и собирает на нём отрицательный заряд. Внизу, на подвижных *листочках* электроскопа, остаются нескомпенсированные положительные заряды; отталкиваясь друг от друга, листочки расходятся в разные стороны. Если убрать палочку, то заряды вернуться на место и листочки опадут обратно.

Явление электростатической индукции в грандиозных масштабах наблюдается во время грозы. На рис. 4 мы видим идущую над землёй грозовую тучу<sup>2</sup>.

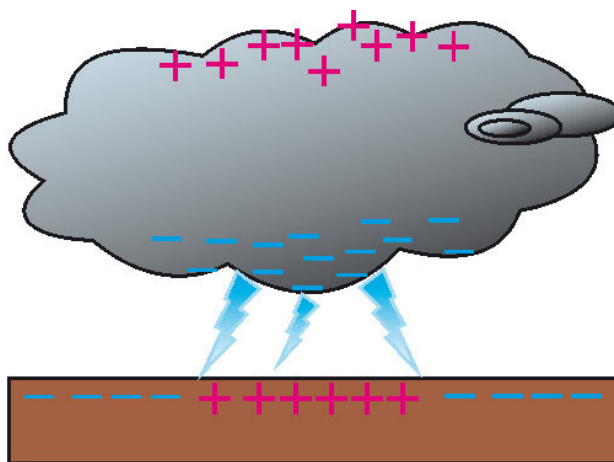


Рис. 4. Электризация земли грозовой тучей

Внутри тучи имеются льдинки разных размеров, которые перемешиваются восходящими потоками воздуха, сталкиваются друг с другом и электризуются. При этом оказывается, что в нижней части тучи скапливается отрицательный заряд, а в верхней — положительный.

<sup>1</sup>Изображение с сайта [en.wikipedia.org](http://en.wikipedia.org).

<sup>2</sup>Изображение с сайта [elementy.ru](http://elementy.ru).

Отрицательно заряженная нижняя часть тучи наводит под собой на поверхности земли заряды положительного знака. Возникает гигантский конденсатор с колоссальным напряжением между тучей и землёй. Если этого напряжения будет достаточно для пробоя воздушного промежутка, то произойдёт разряд — хорошо известная вам молния.

## Закон сохранения заряда

Вернёмся к примеру электризации трением — натирании палочки тканью. В этом случае палочка и кусок ткани приобретают равные по модулю и противоположные по знаку заряды. Их суммарный заряд как был равен нулю до взаимодействия, так и остаётся равным нулю после взаимодействия.

Мы видим здесь *закон сохранения заряда*, который гласит: *в замкнутой системе тел алгебраическая сумма зарядов остаётся неизменной при любых процессах, происходящих с этими телами:*

$$q_1 + q_2 + \dots + q_n = \text{const.}$$

Замкнутость системы тел означает, что эти тела могут обмениваться зарядами только между собой, но не с какими-либо другими объектами, внешними по отношению к данной системе.

При электризации палочки ничего удивительного в сохранении заряда нет: сколько заряженных частиц ушло с палочки — столько же пришло на кусок ткани (или наоборот). Удивительно то, что в более сложных процессах, сопровождающихся *взаимными превращениями* элементарных частиц и *изменением числа* заряженных частиц в системе, суммарный заряд всё равно сохраняется!

Например, на рис. 5 показан процесс  $\gamma \rightarrow e^- + e^+$ , при котором порция электромагнитного излучения  $\gamma$  (так называемый *фотон*) превращается в две заряженные частицы — электрон  $e^-$  и позитрон  $e^+$ . Такой процесс оказывается возможным при некоторых условиях — например, в электрическом поле атомного ядра.

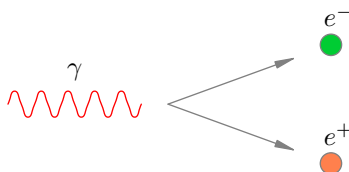


Рис. 5. Рождение пары электрон–позитрон

Заряд позитрона равен по модулю заряду электрона и противоположен ему по знаку. Закон сохранения заряда выполнен! Действительно, в начале процесса у нас был фотон, заряд которого равен нулю, а в конце мы получили две частицы с нулевым суммарным зарядом.

Закон сохранения заряда (наряду с существованием наименьшего элементарного заряда) является на сегодняшний день первичным научным фактом. Объяснить, почему природа ведёт себя именно так, а не иначе, физикам пока не удаётся. Мы можем лишь констатировать, что эти факты подтверждаются многочисленными физическими экспериментами.