

А.В.Пёрышкин Н.А.Родина Е.А.Кирюхина Н.М. Кирюхин
Ф.Я.Божинова

Тема. Взаимодействие заряженных тел. Закон Кулона.

Цель. Пояснить учащимся механизм взаимодействия заряженных тел.
Ознакомить учащихся с законом Кулона.

Зная строение атома, можно понять, почему металлы проводят электрический ток, а диэлектрики нет. В диэлектриках электроны прочно связаны с ядрами атомов и не могут двигаться под действием электрического поля. В металлах связь электронов с ядрами слабее, и в электрическом поле они почти свободно движутся от ядра к ядру. Такие электроны называются *электронами проводимости*, или *свободными электронами*.

При помощи проводника — металлического стержня соединим незаряженный электроскоп с отрицательно заряженным. Свободные электроны стержня окажутся в электрическом поле и придут в движение по направлению к незаряженному электроскопу, и он зарядится отрицательно (см. ролик передача заряда).

Знания об электроны и о строении атома позволяют объяснить явление, с которого мы начали изучение электричества: притяжение ненаэлектризованных тел к наэлектризованным. Почему, например, притягивается к заряженной палочке гильза, которую мы предварительно не наэлектризовали? Ведь мы знаем, что электрическое поле действует только на заряженные тела.

Рассмотрим это на примере проводника (металлической гильзы), а почему притягиваются непроводники (бумага, шелк и т. п.), вы узнаете при изучении физики в старших классах.

В гильзе есть свободные электроны. Как только гильза будет внесена в электрическое поле, *электроны придут в движение под действием сил поля*. Если палочка заряжена положительно, то электроны перейдут на ту сторону гильзы, которая расположена ближе к палочке. Эта сторона зарядится отрицательно. На противоположной стороне гильзы будет недостаток электронов, и она окажется заряженной положительно. Отрицательно заряженная сторона гильзы ближе к палочке, поэтому гильза притянется к ней. Когда гильза коснется палочки, то часть электронов с нее перейдет на положительно заряженную палочку и на гильзе останется положительный заряд (см. ролик стекло гильза).

Если заряд передают от заряженного шара к незаряженному и размеры шаров одинаковы, то заряд разделится пополам (вспомни ролик). Но если второй, незаряженный шар больше, чем первый, то на него перейдет больше половины заряда. *Чем больше тело, которому передают заряд, тем большая часть заряда на него перейдет*. На этом основано *заземление* — передача заряда земле. Земной шар велик по сравнению с телами, находящимися на

нем. Поэтому при соприкосновении с землей заряженное тело отдает ей почти весь свой заряд и практически становится электрически нейтральным.

До конца XVIII в. электрические явления изучались только качественно, а электрические машины чаще всего выполняли роль игрушек для развлечения аристократии. Переход к количественным характеристикам, а потом и к практическому применению электричества стал возможен только после того, как французский исследователь **Ш. Кулон** в 1785 г. установил *закон взаимодействия точечных зарядов*.



Ш.Кулон

После установления этого закона учение об электричестве превратилось в точную науку.

Прежде чем приступить к изучению этого закона, следует понять, что такое *точечный заряд*. Воспользуемся аналогией с механикой, поскольку понятие «точечный заряд» подобно понятию «материальная точка». Вспомните курс физики 8-го класса. Например, поезд «Киев—Львов» можно рассматривать как материальную точку, если строить график его движения на маршруте между двумя городами. А вот муравья нельзя рассматривать как материальную точку, если, предположим, решать задачу о траектории движения его передней лапки.

По аналогии с материальной точкой *точечным зарядом называют заряженное тело, размерами которого можно пренебречь в сравнении с расстояниями от него до других рассматриваемых заряженных тел*.

Исходя из этого определения капельку масла в опыте Р. Милликена можно рассматривать как точечный заряд, а вот заряженные пластины — нельзя.

Таким образом, точечный заряд, так же как материальная точка и точечный источник света, является физической моделью, а не реальным объектом. Необходимость введения такой модели вызвана тем, что в общем случае взаимодействие заряженных тел зависит от многих факторов, следовательно, не существует единой простой формулы, описывающей электрическое взаимодействие для любого произвольного случая.

Ознакомимся с конструкцией крутильных весов военный инженер Ш. Кулон начал проводить свои исследования в области, весьма далекой от электростатики. Он изучал закономерности упругого кручения нитей и установил зависимость силы упругости от угла закручивания. Полученные

результаты позволили Кулону сконструировать чрезвычайно чувствительный прибор, который он назвал *крутильными весами*.

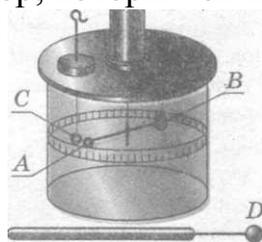


рис. 1 крутильные весы.

Позднее ученый использовал крутильные весы для измерения силы взаимодействия точечных зарядов.

В своих опытах Кулон наблюдал взаимодействие заряженных шариков. Условия опытов позволяли считать эти шарики точечными зарядами. Опыты ученый проводил так. В стеклянный цилиндр на специальном держателе помещался заряженный шарик *C* (рис.1). Поворачивая верхнюю крышку цилиндра, исследователь добивался, чтобы шарики *A* и *C* соприкоснулись и часть заряда с шарика *C* перешла на шарик *A*. Одноименные заряды отталкиваются, поэтому шарики расходились на некоторое расстояние. По углу закручивания провода Кулон определял силу взаимодействия зарядов.

Затем, поворачивая верхнюю крышку цилиндра, исследователь изменял расстояние между шариками *A* и *C* и снова определял силу их взаимодействия. Оказалось, что при уменьшении расстояния в два, три, четыре раза сила взаимодействия шариков увеличивалась соответственно в четыре, девять и шестнадцать раз.

Проведя немало подобных опытов, Кулон сделал вывод, что *сила взаимодействия двух точечных зарядов обратно пропорциональна квадрату расстояния R между ними:*

$$F \sim 1/R^2$$

А как зависит сила F от значения самих зарядов? В то время еще не существовало метода для измерения заряда, и Кулон применил следующий прием. Сначала ученый измерял силу взаимодействия двух одинаковых шариков — *A* и *C*, каждый из которых имел определенный заряд q . Потом дотрагивался до одного из этих шариков, например, шарика *C*, шариком *B* — точно таким же, как шарики *A* и *C*, только не заряженным. Размеры шариков были одинаковыми, поэтому заряд распределялся между шариками *C* и *B* поровну, то есть на шарике *C* оставался заряд $q/2$. После этого Кулон измерял силу взаимодействия зарядов q и $q/2$.

Продолжая делить заряды шариков и проводя измерения, ученый убедился, что сила F взаимодействия двух точечных зарядов q_1 и q_2 пропорциональна произведению этих зарядов:

$$F \sim q_1 q_2$$

Формулируем закон Кулона

На основании проведенных опытов Кулон установил закон, который впоследствии был назван его именем, — **закон Кулона:**

Сила F взаимодействия двух неподвижных точечных зарядов q_1 и q_2 прямо пропорциональна произведению модулей этих зарядов и обратно пропорциональна квадрату расстояния R между ними:

$$F = k \frac{q_1 q_2}{R^2}$$

где k — коэффициент пропорциональности. Если $q_1 = q_2 = 1$ Кл, а $R = 1$ м, то $\{F\} = \{k\}$. То есть коэффициент пропорциональности численно равен силе, с которой взаимодействуют два точечных заряда по 1 Кл каждый, расположенные в вакууме* на расстоянии 1 м друг от друга. Было установлено, что при взаимодействии точечных зарядов в вакууме

$$k = 9 \cdot 10^9 \frac{\text{Нм}^2}{\text{Кл}^2}$$

Обратите внимание: в законе Кулона речь идет о произведении модулей зарядов, поскольку знаки зарядов влияют лишь на направление силы.

Силы, с которыми взаимодействуют два точечных заряда, еще называют **силами Кулона**.

Силы Кулона направлены вдоль условной прямой, которая соединяет взаимодействующие точечные заряды

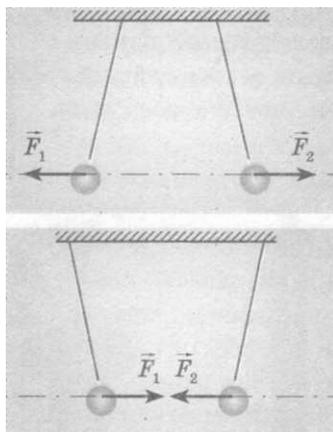


Рис. 4.2. Силы электрического взаимодействия (F_1 и F_2) направлены вдоль условной прямой, соединяющей точечные заряды

Зная значение коэффициента k , можно оценить силу, с которой два заряда по 1 Кл каждый взаимодействуют на расстоянии 1 м. Это очень большая сила! Она равна, например, силе тяжести, действующей на большой корабль.

Во многих средах эта сила будет значительно меньше, чем в вакууме. В воздухе по сравнению с вакуумом она меньше незначительно.