

В основе всех физических явлений лежит взаимодействие между телами или частицами. Например, движение Земли вокруг Солнца обусловлено гравитационным взаимодействием этих тел.

Взаимодействие между электрически заряженными телами или частицами называется электромагнитным.

Среди всех известных видов взаимодействий¹ электромагнитное занимает первое место по широте и разнообразию проявлений. Это связано с тем, что все тела состоят из электрически заряженных частиц. Строение атомных оболочек и объединение атомов в молекулы определяются электромагнитным взаимодействием. Благодаря ему твёрдые и жидкие тела не распадаются на отдельные атомы.

Электромагнитное взаимодействие осуществляется посредством электромагнитного поля — особого вида материи.

Электромагнитное поле представляет собой совокупность двух взаимосвязанных полей — электрического и магнитного.

Характерное свойство электрического поля состоит в том, что оно действует на электрические заряды с силой, которая не зависит от скорости движения зарядов. Магнитное поле действует на движущиеся заряды с силой, зависящей от их скорости.

Раздел физики, в котором изучаются свойства и закономерности поведения электромагнитного поля, называется **электродинамикой**.

Создателем теории электромагнитного поля является английский физик Дж. К. Максвелл. Уравнения Максвелла для электромагнитного поля лежат в основе всей электродинамики, подобно тому как законы Ньютона составляют основу классической механики. Теория Максвелла была экспериментально подтверждена Г. Герцем, открывшим электромагнитные волны (1886—1889), которые представляют собой распространяющееся в пространстве электромагнитное поле.

В жизни современного общества практическое применение электромагнитных явлений играет огромную роль. Наука, техника, производство, быт людей немислимы без использования электрической энергии.

Мы начнём изучать электродинамику с электростатики, в которой рассматривается взаимодействие неподвижных зарядов.

¹ В современной физике различают четыре вида фундаментальных взаимодействий: электромагнитное, гравитационное, сильное и слабое.

***§ 58. Закон сохранения электрического заряда**

*В янтаре содержится огненная и бестелесная сила,
которая выходит из него скрытыми путями,
если потереть поверхность янтара...*

Плутарх

Уже в глубокой древности было известно, что янтарь (в переводе с греч. означает «электрон»), потёртый о шерсть, приобретает способность притягивать лёгкие предметы. Аналогичным свойством обладают пластмасса, сера, резина, стекло и т. п.

Если тело, подобно янтарию, после натирания притягивает лёгкие предметы, то говорят, что оно наэлектризовано или что на теле имеется электрический («янтарный») заряд.

Как взаимодействуют наэлектризованные тела? Если электрический заряд сообщить двум лёгким бумажным гильзам, подвешенным на шёлковых нитях, прикасаясь к ним стеклянной палочкой, потёртой о шёлк, то гильзы оттолкнутся друг от друга (рис. 10.1, а). Это же явление наблюдается, если использовать в опыте вместо стеклянной эбонитовую палочку, потёртую о шерсть.

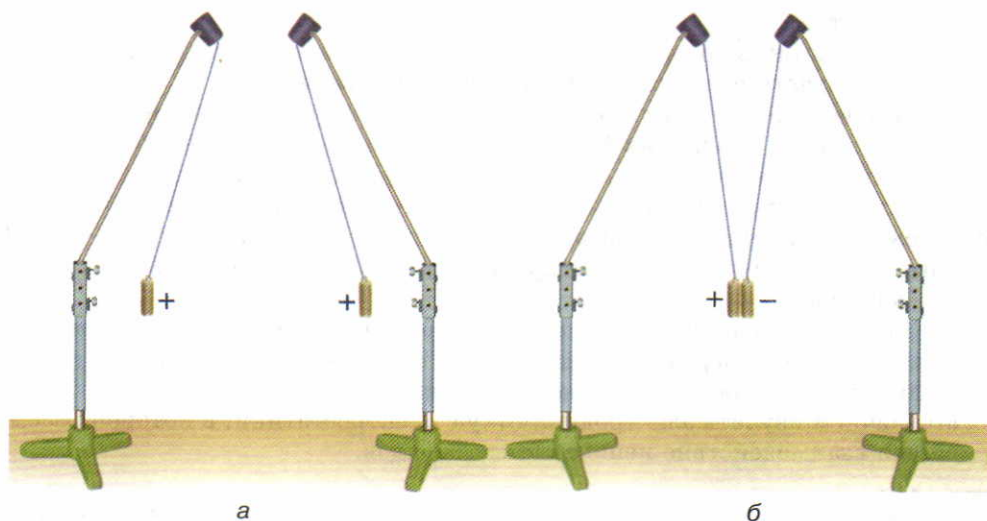


Рис. 10.1

Если коснуться одной из гильз заряженной стеклянной палочкой, а другой — заряженной эбонитовой, то гильзы притянутся друг к другу (рис. 10.1, б). Следовательно, можно сделать вывод о существовании двух видов электрического заряда. Заряды, возникающие на стекле, потёртом о шёлк, получили название **положительных**, а заряды, появляющиеся на эбоните, потёртом о мех, — **отрицательных**. На основании опытов был сделан следующий вывод: **одноимённые заряды отталкиваются, разноимённые притягиваются**.

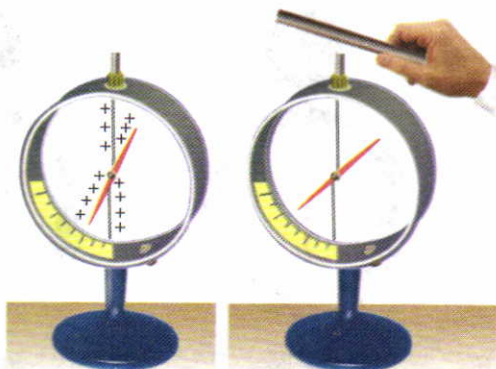


Рис. 10.2

Рис. 10.3

Для обнаружения электрического заряда используют электрометр — прибор, в котором лёгкая алюминиевая стрелка крепится на металлическом стержне так, что она может поворачиваться вокруг горизонтальной оси. В незаряженном электрометре стрелка располагается вертикально. Если заряженным телом коснуться стержня, то на него и стрелку перейдёт часть заряда и стрелка отойдёт от стержня (рис. 10.2). Чем больше заряд, переданный электрометру, тем значительнее отклонение стрелки.

Соединим заряженный электрометр с землёй металлической проволокой — он разрядится. Но если заряженный электрометр соединить с землёй эбонитовой палочкой, то он не разряжается. По способности проводить электрический заряд вещества условно делят на **проводники** и **диэлектрики**. К проводникам относят металлы, растворы солей и кислот в воде, почву. Диэлектриками являются эбонит, стекло, фарфор, янтарь, резина, пластмасса, керосин, воздух.

Если поднести заряженное тело к незаряженному электрометру, то можно увидеть, что стрелка отклоняется ещё до соприкосновения тела с электрометром (рис. 10.3). Это показывает, что стержень электрометра заряжается под влиянием находящегося поблизости заряженного тела. Поэтому данное явление называют **электризацией посредством влияния** или **электростатической индукцией**.

Прделаем опыт. Потрём одну о другую пластинки из эбонита и стекла. Внесём их в полый шар, надетый на стержень электрометра, не касаясь стенок шара (рис. 10.4, а). Электрометр не обнаруживает заряда. Уберём из шара одну из пластинок. Стрелка электрометра сразу же отклонится (рис. 10.4, б). Это говорит о том, что стрелка, стержень и шар наэлектризовались под влиянием заряда пластинки. Уберём из шара пластинку и вставим другую. Стрелка электрометра отклонится на тот же угол (рис. 10.4, в). Следовательно, заряды пластинок равны по модулю и противоположны по знаку.

Таким образом, при электризации тел заряды **перераспределяются** — часть из них переходит с одного тела на другое. Заряды при этом не создаются и не

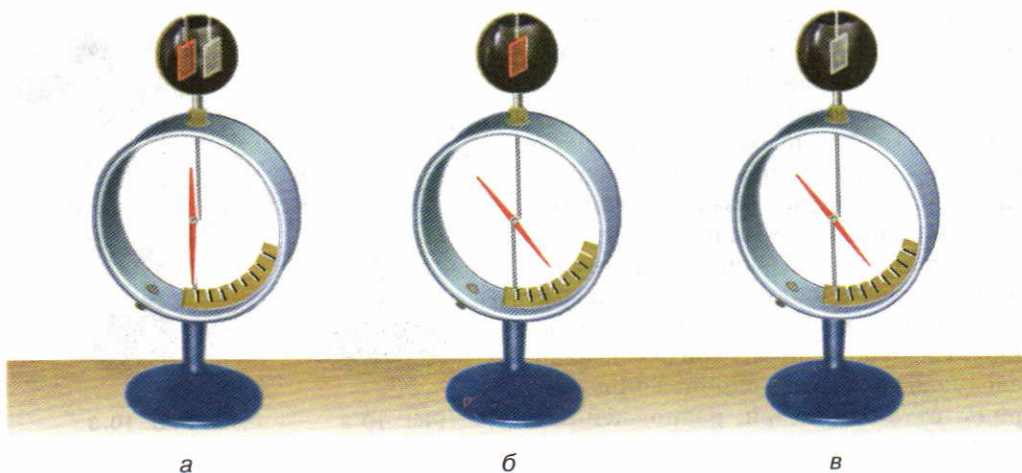


Рис. 10.4

исчезают. При всех явлениях, связанных с перераспределением зарядов, выполняется **закон сохранения электрического заряда**:

В изолированной системе тел алгебраическая сумма электрических зарядов остаётся постоянной:

$$q_1 + q_2 + \dots + q_n = \text{const}, \quad (10.1)$$

где q_1, q_2, \dots, q_n — заряды тел.

Закон сохранения электрического заряда указывает на важную особенность электрических явлений: электрические заряды всегда появляются парами. Если обнаружен заряд только одного знака, то это означает, что заряд противоположного знака перешёл на какое-то тело. Закон сохранения электрического заряда принадлежит к числу основных законов физики, таких как закон сохранения энергии и импульса.

Откуда в рассмотренных опытах появились электрические заряды? Вы знаете, что атомы состоят из положительно заряженных ядер, вокруг которых вращаются отрицательно заряженные частицы — электроны. В состав ядра входят положительно заряженные частицы (протоны) и незаряженные, нейтральные частицы (нейтроны). Число протонов в ядре равно порядковому номеру элемента в Периодической системе элементов Д. И. Менделеева. Электронов в атоме столько же, сколько протонов в ядре. На рис. 10.5 схематически показано строение атомов водорода и лития.

При электризации электроны, отрываясь от атомов, переходят с одного тела на другое. Тело, на которое перешли электроны, приобретает избыточный

отрицательный заряд. Тело, потерявшее часть электронов, имеет избыточный положительный заряд.

Установлено, что электроны и протоны обладают наименьшим электрическим зарядом¹. Поэтому модуль электрического заряда этих частиц называют элементарным зарядом. Его обозначают буквой e .

За единицу электрического заряда естественно было бы выбрать заряд электрона. В этом случае заряд q любого другого тела выражался бы целым числом, показывающим, сколько электронов N это тело приобрело (или потеряло) при электризации:

$$q = \pm Ne.$$

Однако заряд электрона мал и использовать его в качестве единицы электрического заряда на практике неудобно.

В СИ единица заряда является не основной, а производной, и эталон для неё не вводится. Для электрических величин в СИ введена основная единица — ампер (А) — единица силы тока. Эталонное значение ампера устанавливается с помощью магнитного взаимодействия токов. Единицу заряда в СИ — кулон (Кл) — определяют с помощью единицы силы тока.

Кулон — это заряд, прошедший за 1 с через поперечное сечение проводника при силе тока 1 А.

Измерения показали, что элементарный заряд $e = 1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл.

Кулон — очень большой заряд, так как соответствует избытку или недостатку заряда приблизительно в $6 \cdot 10^{18}$ электронов. На практике обычно пользуются дольными единицами: микрокулоном ($1 \text{ мкКл} = 10^{-6}$ Кл) и милликулоном ($1 \text{ мКл} = 10^{-3}$ Кл).

Учёт явлений, связанных с электризацией тел, имеет большое значение в технике. На полиграфических предприятиях электризуются листы бумаги, при этом они «слипаются» и рвутся. На текстильных фабриках нити, электризуясь, притягиваются к поверхности веретён и роликов, что приводит к частому обрыву нитей. Кроме того, наэлектризованная пряжа притягивает из воздуха пылинки и загрязняется. Для борьбы с этими явлениями принимают специальные меры. На текстильных предприятиях используют так называемые водители волокон, сделанные из стали и стекла. При соприкосновении с одним из этих материалов нить заряжается положительно, а при соприкосновении с другим — отрицательно, в результате взаимодействия заряды нейтрализуются.

Особенно опасна электризация топлива при заправке самолётов, заполнении танкеров. Топливо при движении по трубам электризуется и вследствие проскакивания электрических искр может воспламениться. Чтобы избежать

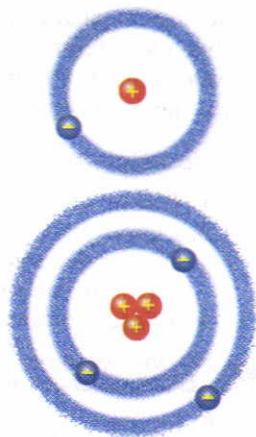


Рис. 10.5

¹ В XX в. были открыты частицы (они названы кварками), которые имеют заряд, меньший e . Кварки входят в состав протонов и нейтронов.

опасных последствий электризации, трубопроводы и топливные баки тщательно заземляют, благодаря чему накапливающийся статический заряд отводится в землю. С этой же целью к автомобилю-бензовозу прикрепляют металлическую цепь, волочащуюся по земле.

Проверьте себя

1. Какие свойства электрических зарядов вы знаете?
2. Сформулируйте закон сохранения заряда.
3. Каков физический смысл поговорок: «Как соломинка и янтарь», «Что шелковая ленточка к стене льнёт»?
4. Какие дольные единицы заряда применяют на практике?

ЭТО ИНТЕРЕСНО!

- Впервые закон сохранения заряда был сформулирован и экспериментально подтверждён М. Фарадеем в 1843 г.
- Земля обладает отрицательным электрическим зарядом, приблизительно равным $-6 \cdot 10^5$ Кл. Равный ему по модулю положительный заряд находится в атмосфере — в слое воздуха на высоте нескольких десятков километров над Землёй.

§ 59. Закон Кулона

Опыты показывают, что сила электростатического взаимодействия зависит от формы и размеров наэлектризованных тел. Наиболее просто эта сила определяется, если заряженные тела можно рассматривать как точечные.

Точечными называют такие заряженные тела, размеры которых малы по сравнению с расстоянием между ними.

Вспомните, что закон всемирного тяготения тоже сформулирован для точечных тел.

Закон взаимодействия электрических зарядов был установлен опытным путём французским физиком Ш. Кулоном в 1785 г. Кулон исследовал зависимость силы взаимодействия зарядов от расстояния между ними и от значения этих зарядов.

Для измерения сил, действующих между электрическими зарядами, Кулон использовал крутильные весы (рис. 10.6). На тонкой упругой металлической нити подвешивалось лёгкое стеклянное коромысло, на одном конце которого крепился лёгкий позолоченный шарик, а на другом — противовес. Такой же шарик неподвижно закреплялся в крышке прибора на изолирующем стержне. Когда шарикам сообщали заряды одного знака, они отталкивались друг от друга. При этом коромысло поворачивалось и закручивало нить до тех пор, пока сила упругости не уравновешивала силу электрического взаимодействия. Измеряя

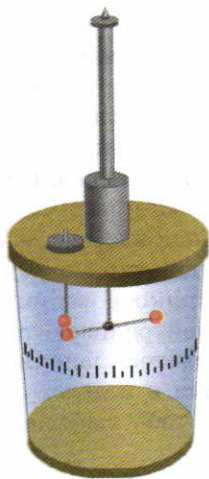


Рис. 10.6

угол закручивания нити, Кулон определял силу взаимодействия заряженных шариков. Прибор позволял изменять и измерять расстояние между шариками.

Опыты Кулона показали, что сила взаимодействия покоящихся электрических зарядов обратно пропорциональна квадрату расстояния между ними:

$$F \sim \frac{1}{r^2}.$$

Чтобы установить зависимость силы от значения зарядов, Кулон применил простой способ уменьшения заряда шарика в 2 раза (заряды в то время измерять ещё не могли). Для этого он прикоснулся к нему таким же, но незаряженным шариком. При этом заряд между шариками распределялся поровну. Уменьшая таким способом заряды шариков в 2, 4, 8 и т. д. раз, Кулон определил, что сила взаимодействия прямо пропорциональна произведению зарядов шариков:

$$F \sim q_1 q_2.$$

Проделанные опыты привели Кулона к установлению следующего закона.

Сила взаимодействия двух неподвижных точечных электрических зарядов, находящихся в вакууме, прямо пропорциональна произведению модулей зарядов и обратно пропорциональна квадрату расстояния между ними:

$$F = k \frac{|q_1| |q_2|}{r^2}, \quad (10.2)$$

где k — коэффициент пропорциональности.

Если предположить, что $q_1 = q_2 = 1$ Кл, а расстояние между зарядами $r = 1$ м, то коэффициент пропорциональности k будет численно равен силе, с которой взаимодействовали бы два точечных заряда по 1 Кл каждый, расположенные в вакууме на расстоянии 1 м друг от друга. Экспериментально установлено, что

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

Этот коэффициент принято записывать в виде

$$k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0},$$

где $\epsilon_0 = \frac{1}{4\pi k} = 8,85 \cdot 10^{-12} \text{ Кл}^2 / (\text{Н} \cdot \text{м}^2)$ — электрическая постоянная.

Сила — это векторная величина. Как же направлена кулоновская сила?

Сила взаимодействия двух точечных зарядов направлена вдоль прямой, соединяющей заряды.

На рис. 10.7 показаны силы взаимодействия между двумя заряженными шариками в двух случаях: когда заряды одноимённые (рис. 10.7, а) и когда заряды разноимённые (рис. 10.7, б).

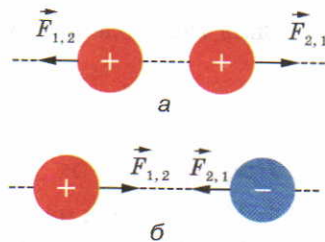


Рис. 10.7

В соответствии с третьим законом Ньютона силы взаимодействия между зарядами равны по модулю и направлены противоположно друг другу вдоль прямой, соединяющей эти заряды.

Кулон изучал взаимодействие между зарядами, находящимися в воздухе. Экспериментальные исследования показали, что на силу взаимодействия между зарядами оказывает влияние среда, в которой они находятся. Учесть это влияние можно, если ввести характеристику среды, которая называется **диэлектрической проницаемостью**.

Диэлектрическая проницаемость показывает, во сколько раз сила взаимодействия между зарядами в данной среде меньше, чем в вакууме:

$$\varepsilon = \frac{F_0}{F}, \quad (10.3)$$

где F_0 и F — модули силы взаимодействия зарядов в вакууме и в среде соответственно. Учитывая это соотношение, закон Кулона запишем в следующем виде:

$$F = \frac{k|q_1||q_2|}{\varepsilon r^2}. \quad (10.4)$$

Диэлектрическая проницаемость вакуума равна единице. Диэлектрическая проницаемость воздуха близка к единице. Диэлектрическая проницаемость других сред всегда больше единицы; например, у воды $\varepsilon = 81$.

ЗАДАЧА

Два одинаковых маленьких проводящих шара, имеющих заряды $q_1 = +2 \cdot 10^{-6}$ Кл и $q_2 = -5 \cdot 10^{-6}$ Кл, сближают до соприкосновения и затем удаляют друг от друга на расстояние $r = 30$ см. Найдите силу взаимодействия между шарами.

Решение. При соприкосновении часть электронов со второго шара переходит на первый и компенсирует заряд q_1 , после чего на шарах останется отрицательный суммарный заряд $q = q_1 + q_2$.

Этот заряд распределится между шарами поровну. Заряд каждого из шаров

$$\frac{q}{2} = \frac{q_1 + q_2}{2}.$$

Сила взаимодействия зарядов

$$F = \frac{kq^2}{4r^2} = \frac{k(q_1 + q_2)^2}{4r^2}; \quad F \approx 0,2 \text{ Н.}$$

Проверьте себя

1. Какой заряд называют точечным?
2. Сформулируйте закон Кулона.
3. Каков физический смысл постоянной k в законе Кулона?

4. Как изменится сила взаимодействия двух точечных электрических зарядов, находящихся в вакууме на расстоянии r друг от друга, если:
а) уменьшить один из зарядов в 2 раза; б) оба заряда уменьшить в 2 раза;
в) расстояние между зарядами уменьшить в 2 раза?
5. С какой силой действуют два равных одноимённых заряда на третий заряд, помещённый посередине между ними?

УПРАЖНЕНИЕ 40

1. Найдите силу взаимодействия между точечными зарядами $q_1 = 2 \cdot 10^{-7}$ Кл и $q_2 = 1,5 \cdot 10^{-6}$ Кл, находящимися в вакууме на расстоянии $r = 20$ см друг от друга.

2. Два заряженных шарика находятся в вакууме на расстоянии 10 см друг от друга и отталкиваются с силой $6 \cdot 10^{-5}$ Н. Чему будет равна сила взаимодействия этих шариков, если один из них отодвинуть ещё на 10 см?

3. Какой станет сила взаимодействия двух шариков, расположенных на расстоянии 1 см друг от друга, если на каждый из них поместить по миллиону избыточных электронов?

4. Два одинаковых точечных заряда, находящихся на расстоянии 1 м друг от друга, в вакууме взаимодействуют с силой 1 Н. Определите модули этих зарядов.

5. Два одинаковых металлических шарика, имеющих заряды, соответственно равные $-2 \cdot 10^{-8}$ и $-4 \cdot 10^{-8}$ Кл, привели в соприкосновение и удалили потом на 10 см друг от друга. Найдите силу электрического взаимодействия между шариками.

6. Вычислите силу, с которой заряды $q_1 = 2 \cdot 10^{-6}$ Кл и $q_2 = -6 \cdot 10^{-6}$ Кл действуют на заряд $q_3 = 4 \cdot 10^{-6}$ Кл, помещённый посередине между ними. Расстояние между зарядами q_1 и q_2 равно 20 см.

ЭТО ИНТЕРЕСНО!

Закон взаимодействия электрических зарядов был установлен Г. Кавендишем. Однако результаты исследований Кавендиша не были опубликованы и оставались неизвестными более 100 лет. Дж. К. Максвелл обнаружил в архиве рукопись работы Кавендиша и опубликовал её в 1879 г.

§ 60. Напряжённость электрического поля

Фарадея учили, что силы просто перескакивают через пространство, но он видел, какое большое влияние оказывает на эти силы то вещество, которым заполнено это якобы перескакиваемое пространство.

Г. Герц

Близкодействие и дальноедействие. Из курса физики основной школы вы уже знаете, что взаимодействие между электрическими зарядами осуществляется посредством электрического поля. Силовое действие поля на электрические заряды является главным свойством электрического поля.

Однако в физике примерно до последней четверти XIX в. господствовало представление о том, что взаимодействие между электрически заряженными телами может осуществляться непосредственно через пустое пространство, которое не принимает участия в передаче взаимодействия. В этом состояла идея **дальнодействия**.

М. Фарадей был одним из физиков, которому идея дальнодействия казалась неприемлемой. Ему была чужда мысль о том, что тело может производить непосредственное действие в тех местах, в которых оно не находится и которые отделены от него пустым пространством. Согласно представлениям Фарадея, действие одного тела на другое может осуществляться либо непосредственным соприкосновением, либо передаваться через промежуточную среду. Роль «посредника» для взаимодействия электрически заряженных тел выполняет электрическое поле. Передача взаимодействия посредством поля — в этом состояла идея **близкодействия**.

Таким образом, в науке выдвигались две противоположные точки зрения относительно взаимодействий: дальнодействие, отрицающее участие каких бы то ни было промежуточных материальных посредников в осуществлении взаимодействий, и близкодействие, исходящее из представления о том, что взаимодействия передаются с помощью материальных посредников — полей.

Опыты с постоянными полями не давали ответа на вопрос, какое из двух представлений о силах взаимодействия было верным.

Дальнейшее развитие физики, в частности открытие электромагнитных волн, доказало справедливость идеи близкодействия, согласно которой взаимодействие между телами осуществляется с помощью тех или иных полей, распределённых в пространстве. Так, взаимодействие между неподвижными зарядами осуществляется электростатическим полем, а всемирное тяготение — гравитационным.

В этой главе мы будем рассматривать только электростатические поля, т. е. поля, связанные с неподвижными электрическими зарядами. Не оговаривая это каждый раз, мы будем под электрическим полем подразумевать электростатическое поле.

Напряжённость электрического поля. Количественной характеристикой силового действия электрического поля на заряженные тела служит физическая величина — напряжённость электрического поля.

Исследуем поле точечного заряда $q_1 > 0$. Для этого поместим в какую-либо точку поля другой точечный (пробный) заряд $q > 0$. На пробный заряд будет действовать сила

$$F = k \frac{q_1 q}{r^2}.$$

Найдём отношение силы к заряду q :

$$\frac{F}{q} = \frac{kq_1}{r^2}.$$

Отношение $\frac{F}{q}$ не зависит от выбора пробного заряда и характеризует поле в точке, где находится пробный заряд. Эта физическая величина и представляет собой напряжённость E поля.

Напряжённостью электрического поля называют физическую величину, равную отношению силы, действующей со стороны поля на точечный положительный заряд, к этому заряду.

Подобно силе, напряжённость поля — векторная величина:

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q}. \quad (10.5)$$

Напряжённость электрического поля в любой его точке совпадает по направлению с силой, действующей на положительный заряд, помещённый в эту точку поля.

Если заряд положителен ($q_1 > 0$), то вектор \vec{E} направлен от заряда q_1 . Если заряд отрицательный ($q_1 < 0$), то вектор \vec{E} направлен к заряду q_1 (рис. 10.8).

Единица напряжённости электрического поля — ньютон на кулон (Н/Кл).

Если в поле какого-либо заряда внесён другой произвольный заряд q , то, зная напряжённость поля в данной точке, можно вычислить силу, действующую на заряд q , находящийся в этой точке:

$$\vec{F} = q\vec{E}. \quad (10.6)$$

Вычислим напряжённость электрического поля точечного заряда q_1 на расстоянии r от него. По закону Кулона этот заряд будет действовать на другой заряд q с силой

$$F = \frac{k|q_1||q|}{\epsilon r^2}.$$

Тогда $E = \frac{F}{|q|}$, и

$$E = \frac{k|q_1|}{\epsilon r^2}. \quad (10.7)$$

Принцип суперпозиции. Пусть электрическое поле создаётся несколькими зарядами: $q_1, q_2, q_3, \dots, q_n$.

Экспериментально было показано, что результирующая сила \vec{F} , действующая на заряд q со стороны нескольких других зарядов, в любой точке поля равна векторной сумме сил, действующих на этот заряд со стороны каждого из зарядов:

$$\vec{F} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \dots + \vec{F}_n. \quad (10.8)$$

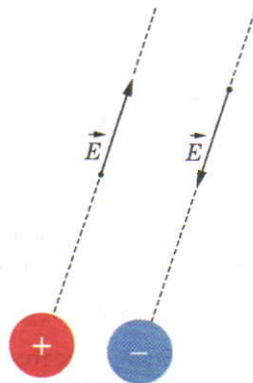


Рис. 10.8

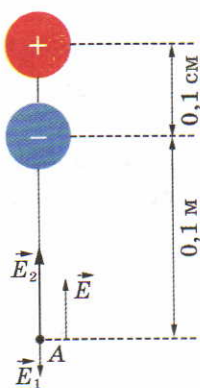


Рис. 10.9

Из формулы (10.6) следует, что

$$\vec{F} = q\vec{E}, \quad \vec{F}_1 = q\vec{E}_1, \quad \vec{F}_2 = q\vec{E}_2, \quad \dots,$$

где \vec{E} — напряжённость поля системы зарядов, \vec{E}_1 — напряжённость поля первого заряда и т. д.

Подставив эти выражения в соотношение (10.8), получим:

$$\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 + \dots + \vec{E}_n. \quad (10.9)$$

Это соотношение отражает *принцип наложения (суперпозиции) полей*.

Напряжённость электрического поля системы зарядов в некоторой точке равна векторной сумме напряжённостей полей, создаваемых в этой точке каждым из зарядов в отдельности.

Применяя принцип суперпозиции полей, можно вычислить напряжённость поля любой, в том числе и очень сложной, системы зарядов. В этом случае систему зарядов необходимо представить как совокупность точечных зарядов, а напряжённость поля точечного заряда мы умеем находить.

ЗАДАЧА

Найдите напряжённость поля системы двух зарядов $q_1 = 8 \cdot 10^{-8}$ Кл и $q_2 = -8 \cdot 10^{-8}$ Кл в точке А, лежащей на прямой, соединяющей эти заряды (рис. 10.9).

Решение. Согласно принципу суперпозиции напряжённость результирующего поля \vec{E} равна векторной сумме $\vec{E}_1 + \vec{E}_2$ напряжённостей полей, созданных зарядами q_1 и q_2 . Модули E_1 и E_2 напряжённостей находим по формулам:

$$E_1 = \frac{kq_1}{r_1^2}, \quad E_2 = \frac{k|q_2|}{r_2^2}, \quad \text{где } r_1 = 0,11 \text{ м, } r_2 = 0,1 \text{ м.}$$

Векторы напряжённостей \vec{E}_1 и \vec{E}_2 полей направлены по одной прямой в противоположные стороны, следовательно,

$$E = E_2 - E_1; \quad E = 12 \cdot 10^3 \text{ Н/Кл.}$$

Примечание. Систему из двух равных по модулю и противоположных по знаку электрических зарядов, расстояние между которыми мало по сравнению с расстоянием до рассматриваемых точек поля, называют **электрическим диполем**.

Проверьте себя

1. В чём состоит идея близкодействия?
2. В чём проявляется силовое действие электрического поля?
3. Какие поля называют электростатическими?

4. Какую физическую величину называют напряжённостью электрического поля?
5. Чему равна сила, действующая на заряд q в электрическом поле напряжённостью \vec{E} ?

УПРАЖНЕНИЕ 41

1. Какая сила будет действовать на заряд $q = 3 \cdot 10^{-8}$ Кл, если его поместить в точку поля, напряжённость в которой 600 Н/Кл?

2. На расстоянии 10 см от заряженного шарика на заряд $q = 10^{-9}$ Кл действует сила $F = 1,5 \cdot 10^{-2}$ Н. Найдите напряжённость поля в этой точке и определите заряд шарика.

3. Рассчитайте напряжённость поля точечного заряда 10^{-8} Кл на расстоянии 30 см от него.

4. Найдите напряжённость поля системы двух точечных зарядов $q_1 = 3 \cdot 10^{-7}$ Кл и $q_2 = 2 \cdot 10^{-7}$ Кл в точке, лежащей посередине между зарядами, если расстояние между ними $r = 20$ см.

5. Два одинаковых по модулю заряда находятся на некотором расстоянии друг от друга. В каком случае напряжённость в точке, лежащей на половине расстояния между ними, больше: если эти заряды одноимённые или разноимённые?

ЭТО ИНТЕРЕСНО!

Мы живём в электрическом поле, напряжённость которого у поверхности Земли составляет 130 Н/Кл.

§ 61. Графическое изображение электрических полей

Один рисунок лучше тысячи слов.
Китайская пословица

Электрическое поле полностью задано, если в каждой его точке известен вектор напряжённости \vec{E} . Для наглядного изображения электрических полей М. Фарадей предложил использовать линии напряжённости (силовые линии).

Линиями напряжённости называют линии, касательные к которым в каждой точке совпадают с направлением вектора напряжённости в этой точке поля.

Расположение линии напряжённости и векторов напряжённости в разных точках показано на рис. 10.10. В случае поля точечного заряда силовые линии представляют собой радиальные прямые, расходящиеся от заряда (рис. 10.11, а, б).

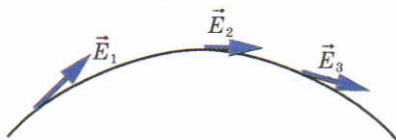


Рис. 10.10

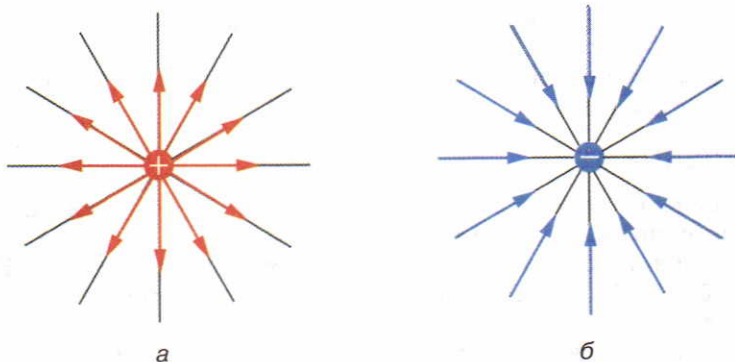


Рис. 10.11

Линии напряжённости положительного заряда направлены от заряда, а отрицательного — к заряду.

Линии напряжённости электростатического поля не замкнуты: они начинаются на положительных зарядах и оканчиваются на отрицательных (или уходят в бесконечность).

Как видно из рис. 10.11, вблизи заряда, где напряжённость поля больше, линии напряжённости расположены гуще. Условились и во всех других случаях проводить линии напряжённости так, чтобы их густота была тем больше, чем больше напряжённость электрического поля. На рис. 10.12 изображены линии напряжённости электрического поля системы двух зарядов (разноимённых и одноимённых).

Линии напряжённости не пересекаются. Иначе, если в точке пересечения силовых линий можно провести две или более касательных, это означало бы, что вектор напряжённости поля имеет в этой точке два или несколько направлений. Но вектор \vec{E} в любой точке поля имеет одно-единственное направление.

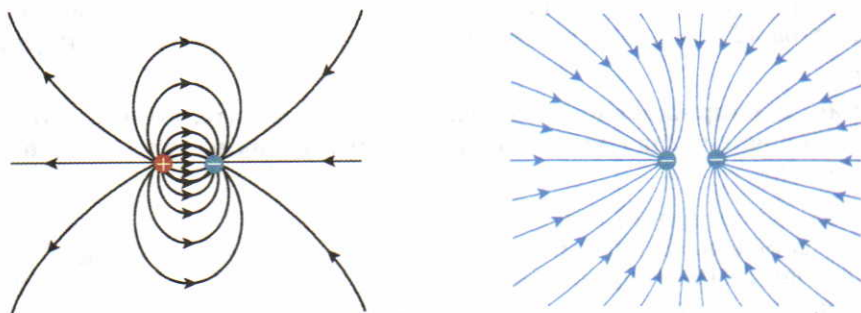


Рис. 10.12

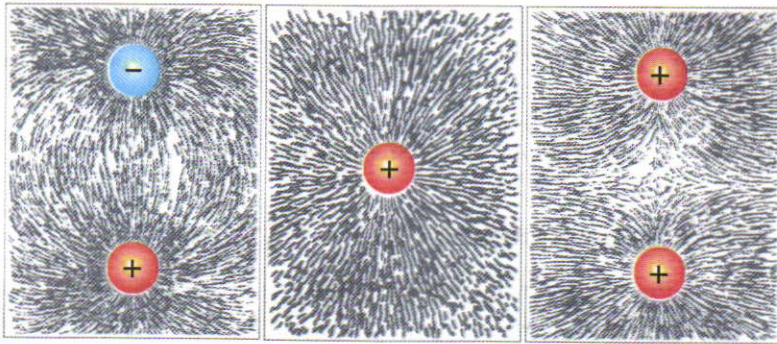


Рис. 10.13

Картину линий напряжённости можно получить опытным путём. На стекло с установленными на нём металлическими шаровыми проводниками насыпают мелкие продолговатые кристаллики гипосульфита. Между шаровыми проводниками создают электрическое поле, под действием которого кристаллики располагаются вдоль линий напряжённости. Полученные таким способом картины электростатических полей показаны на рис. 10.13.

Интересным и практически важным случаем электрического поля является однородное поле.

Электрическое поле называют однородным, если вектор его напряжённости одинаков во всех точках поля.

Это означает, что в любых точках однородного поля напряжённости равны по модулю и имеют одинаковые направления. Пример однородного поля — электрическое поле между двумя близко расположенными параллельными пластинами, равномерно заряженными по их поверхности разноимёнными, равными по модулю зарядами.

На рис. 10.14, а показаны линии напряжённости поля между пластинами, линейные размеры которых много больше, чем расстояние между ними. Как видно из рисунка, однородность электрического поля нарушается вблизи краёв пластин. Кроме того, однородное электрическое поле существует только в пространстве между пластинами. Другими словами, поле сосредоточено в объёме, ограниченном пластинами.

Это подтверждается принципом наложения полей. В пространстве между пластинами напряжённости полей каждой из пластин направлены одинаково, и результирующая напряжённость равна их сумме. В пространстве за пластинами — в противоположные стороны, и результирующая напряжённость равна нулю (рис. 10.14, б).

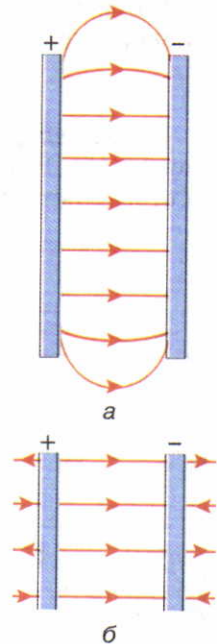


Рис. 10.14