

ОСНОВЫ ЭЛЕКТРОДИНАМИКИ

§ 83 ЧТО ТАКОЕ ЭЛЕКТРОДИНАМИКА

Приступим к изучению нового раздела физики — «Электродинамика». Речь пойдет о процессах, которые определяются движением и взаимодействием электрически заряженных частиц. Такое взаимодействие называется **электромагнитным**.

Изучение природы этого взаимодействия приведет нас к одному из самых фундаментальных понятий физики — **электромагнитному полю**.

Электродинамика — это наука о свойствах и закономерностях поведения особого вида материи — электромагнитного поля, осуществляющего взаимодействие между электрически заряженными телами или частицами.

Среди четырех типов взаимодействий, открытых наукой, — гравитационных, электромагнитных, сильных (ядерных) и слабых¹ — именно электромагнитные взаимодействия занимают первое место по широте и разнообразию проявлений. В повседневной жизни и технике мы чаще всего встречаемся с различными видами электромагнитных сил. Это силы упругости, трения, силы мышц.

Электромагнитные взаимодействия позволяют видеть книгу, которую вы читаете, так как свет — одна из форм электромагнитного поля. Сама жизнь немыслима без этих сил.

Живые существа и даже человек, как показали полеты космонавтов, способны длительное время находиться в состоянии невесомости, когда силы всемирного тяготения не оказывают никакого влияния на жизнедеятельность организмов, а только обеспечивают их движение по определенной орбите вокруг Земли. В состоянии невесомости, например, внутренние органы человека не оказывают давления друг на друга, как это происходит, когда он находится на Земле. Тем не менее, человек спокойно существует в этих условиях. Но если бы на мгновение прекратилось действие электромагнитных сил, то сразу исчезла бы и жизнь.

При взаимодействии частиц в самых малых системах природы — в атомных ядрах — и при взаимодействии космических тел электромагнитные силы играют важную

¹ Слабые взаимодействия вызывают превращения элементарных частиц.

роль. В то же время сильные и слабые взаимодействия определяют процессы только в очень малых¹ масштабах, а гравитационные — только в космических (по крайней мере одно из тел должно иметь космические размеры). Строение атомной оболочки, сцепление атомов в молекулы (химические силы) и образование макроскопических тел определяются электромагнитными силами. Трудно, почти невозможно указать явления, которые не были бы связаны с действием электромагнитных сил.

К созданию электродинамики привела длинная цепь планомерных исследований и случайных открытий, начиная с обнаружения способности янтаря, потертого о шерсть, притягивать легкие предметы и кончая гипотезой великого английского ученого Джеймса Клерка Максвелла о порождении магнитного поля переменным электрическим полем. Лишь во второй половине XIX в., после создания электродинамики, началось широкое практическое использование электромагнитных явлений. Изобретение радио А. С. Поповым (1859—1906) и Г. Маркони (1874—1937) — одно из важнейших применений принципов новой теории.

При развитии электродинамики впервые научные исследования предшествовали техническим применениям. Если паровая машина была построена задолго до создания теории тепловых процессов, то сконструировать электродвигатель или радиоприемник оказалось возможным лишь после открытия и изучения законов электродинамики.

Бесчисленные практические применения электромагнитных явлений преобразовали жизнь людей на всем земном шаре. Современная цивилизация немыслима без электрического тока.

Телевизоры, компьютеры, электроплиты и многое другое, что кажется для нас естественным и привычным, образуют своеобразную среду обитания, об истоках которой мы не задумываемся. Нам кажется, что это существовало вечно. Однако это далеко не так и стоит задуматься, что любой прибор, которым мы пользуемся, работает на основе того или иного физического закона.

Наша задача состоит в изучении основных законов электромагнитных взаимодействий, а также в знакомстве с основными способами получения электрической энергии и использования ее на практике.

¹ Расстояния, на которых обнаруживаются сильные взаимодействия, имеют порядок 10^{-12} см. Слабые взаимодействия проявляются на еще меньших расстояниях, не превышающих 10^{-16} см.

Вначале рассмотрим наиболее простой случай, когда электрически заряженные тела находятся в покое. Раздел электродинамики, посвященный изучению покоящихся электрически заряженных тел, называют электростатикой.

§ 84

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ЗАРЯД И ЭЛЕМЕНТАРНЫЕ ЧАСТИЦЫ

Со словами *электричество*, *электрический заряд*, *электрический ток* вы встречались много раз и успели к ним привыкнуть. Но попробуйте ответить на вопрос: «Что такое электрический заряд?» — и вы убедитесь, что это не так-то просто. Дело в том, что понятие *заряд* — это основное, первичное понятие, которое не сводится на современном уровне развития наших знаний к каким-либо более простым, элементарным понятиям.

Попытаемся сначала выяснить, что понимают под утверждением: «Данное тело или частица имеет электрический заряд».

Вы знаете, что все тела построены из мельчайших частиц, которые неделимы на более простые и поэтому называются **элементарными**. Все элементарные частицы имеют массу и благодаря этому притягиваются друг к другу согласно закону всемирного тяготения. С увеличением расстояния между частицами сила тяготения убывает обратно пропорционально квадрату этого расстояния. Большинство элементарных частиц, хотя и не все, кроме того, обладают способностью взаимодействовать друг с другом с силой, которая также убывает обратно пропорционально квадрату расстояния, но эта сила в огромное число раз превосходит силу тяготения. Так, в атоме водорода, изображенном схематически на рисунке 14.1, электрон притягивается к ядру (протону) с силой, в 10^{39} раз превышающей силу гравитационного притяжения.

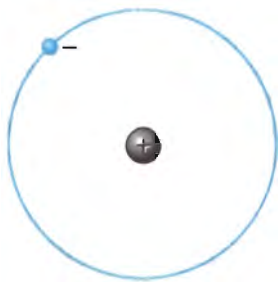


Рис. 14.1

Если частицы взаимодействуют друг с другом с силами, которые убывают с увеличением расстояния так же, как и силы всемирного тяготения, но превышают силы тяготения во много раз, то говорят, что *эти частицы имеют электрический заряд*. Сами частицы называются *заряженными*. Бывают частицы без электри-

ческого заряда, но не существует электрического заряда без частицы.

Взаимодействия между заряженными частицами носят название **электромагнитных**. Электрический заряд определяет интенсивность электромагнитных взаимодействий, подобно тому как масса определяет интенсивность гравитационных взаимодействий.

Электрический заряд элементарной частицы — это не особый механизм в частице, который можно было бы снять с нее, разложить на составные части и снова собрать. Наличие электрического заряда у электрона и других частиц означает лишь существование определенных силовых взаимодействий между ними. Но мы, в сущности, ничего не знаем о заряде, если не знаем законов этих взаимодействий. Знание законов взаимодействий должно входить в наши представления о заряде. Эти законы непросты, и изложить их в нескольких словах невозможно. Поэтому нельзя дать достаточно удовлетворительное краткое определение понятию **электрический заряд**.

Два знака электрических зарядов. Все тела обладают массой и поэтому притягиваются друг к другу. Заряженные же тела могут как притягивать, так и отталкивать друг друга. Этот важнейший факт, знакомый вам, означает, что *в природе есть частицы с электрическими зарядами противоположных знаков; в случае зарядов одинаковых знаков частицы отталкиваются, а в случае разных — притягиваются.*

Заряд элементарных частиц — *протонов*, входящих в состав всех атомных ядер, называют положительным, а заряд *электронов* — отрицательным. Между положительными и отрицательными зарядами внутренних различий нет. Если бы знаки зарядов частиц поменялись местами, то от этого характер электромагнитных взаимодействий нисколько бы не изменился.

Элементарный заряд. Кроме электронов и протонов, есть еще несколько типов заряженных элементарных частиц. Но только электроны и протоны могут неограниченно долго существовать в свободном состоянии. Остальные же заряженные частицы живут менее миллионных долей секунды. Они рождаются при столкновениях быстрых элементарных частиц и, просуществовав ничтожно малое время, распадаются, превращаясь в другие частицы. С этими частицами вы познакомитесь в 11 классе.

К частицам, не имеющим электрического заряда, относится *нейтрон*. Его масса лишь незначительно превышает массу протона. Нейтроны вместе с протонами входят в состав атомного ядра. Если элементарная частица имеет заряд, то его значение строго определено.

Существует минимальный заряд, называемый элементарным, которым обладают все заряженные элементарные частицы. Заряды элементарных частиц различаются лишь знаками. Отделить часть заряда, например у электрона, невозможно.



1. Какие взаимодействия называют электромагнитными?
2. Что такое элементарный заряд?
3. Назовите элементарные частицы, заряженные положительно и заряженные отрицательно.

§ 85 ЗАРЯЖЕННЫЕ ТЕЛА. ЭЛЕКТРИЗАЦИЯ ТЕЛ

Каким образом макроскопические тела приобретают электрический заряд? Об этом сейчас будет рассказано.

Электромагнитные силы в природе играют огромную роль благодаря тому, что в состав всех тел входят электрически заряженные частицы. Составные части атомов — ядра и электроны — обладают электрическим зарядом.

Непосредственно действие электромагнитных сил между телами не обнаруживается, так как тела в обычном состоянии электрически нейтральны. Нейтрален атом любого вещества, так как число электронов в нем равно числу протонов в ядре. Положительно и отрицательно заряженные частицы связаны друг с другом электрическими силами и образуют нейтральные системы.

Макроскопическое тело заряжено электрически в том случае, если оно содержит избыточное количество элементарных частиц с каким-либо одним знаком заряда. Так, отрицательный заряд тела обусловлен избытком числа электронов по сравнению с числом протонов, а положительный — недостатком электронов.

Для того чтобы получить электрически заряженное макроскопическое тело, т. е. *наэлектризовать* его, нужно отделить часть отрицательного заряда от связанного с ним положительного. Это можно сделать с помощью трения. Если провести расческой по сухим волосам, то небольшая часть самых подвижных заряженных частиц — электронов перейдет с волос на расческу и зарядит ее отрицательно, а волосы зарядятся положительно.

Равенство зарядов при электризации. С помощью опыта можно доказать, что при электризации трением оба тела приобретают заряды, противоположные по знаку, но одинаковые по модулю.

Возьмем электромметр, на стержне которого укреплена металлическая сфера с отверстием, и две пластины на длинных рукоятках: одна из эбонита, а другая из плекси-

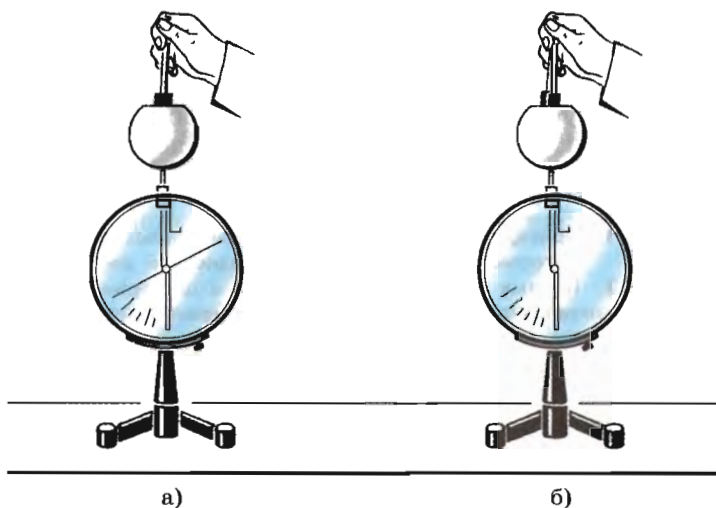


Рис. 14.2

гласа. При трении друг о друга пластины электризуются. Внесем одну из пластин внутрь сферы, не касаясь ее стенок. Если пластина заряжена положительно, то часть электронов со стрелки и стержня электрометра притянется к пластине и соберется на внутренней поверхности сферы. Стрелка при этом зарядится положительно и оттолкнется от стержня (рис. 14.2, а).

Если внести внутрь сферы другую пластину, вынув предварительно первую, то электроны сферы и стержня будут отталкиваться от пластины и соберутся в избытке на стрелке. Это вызовет отклонение стрелки от стержня, причем на тот же угол, что и в первом опыте.

Опустив обе пластины внутрь сферы, мы вообще не обнаружим отклонения стрелки (рис. 14.2, б). Это доказывает, что заряды пластин равны по модулю и противоположны по знаку.

Электризация тел и ее проявления. Значительная электризация происходит при трении синтетических тканей. Снимая с себя нейлоновую рубашку в сухом воздухе, можно слышать характерное потрескивание. Между заряженными участками трущихся поверхностей проскакивают маленькие искорки. С подобными явлениями приходится считаться на производстве. Так, нити пряжи на текстильных фабриках электризуются за счет трения, притягиваются к веретенам и роликам и рвутся. Пряжа притягивает пыль и загрязняется. Приходится применять специальные меры против электризации нитей.

Электризация тел при тесном контакте используется в различных электрокопировальных установках и др.

Макроскопическое тело электрически заряжено в том случае, если оно содержит избыточное количество элементарных частиц с одним знаком заряда. Отрицательный заряд тела обусловлен избытком электронов по сравнению с протонами, а положительный — недостатком электронов.



1. Приведите примеры явлений, вызванных электризацией тел, которые вы наблюдали в повседневной жизни.
2. Почему при перевозке бензина к цистерне прикрепляют металлическую цепь, касающуюся земли?

§ 86

ЗАКОН СОХРАНЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ЗАРЯДА

Вы знаете, что масса тел сохраняется. Сохраняется также и электрический заряд. Именно заряд, а не число заряженных частиц.

Опыт с электризацией пластин доказывает, что при электризации трением происходит перераспределение имеющихся зарядов между телами, нейтральными в первый момент. Небольшая часть электронов переходит с одного тела на другое. При этом новые частицы не возникают, а существовавшие ранее не исчезают.

При электризации тел выполняется **закон сохранения электрического заряда**. Этот закон справедлив для системы, в которую не входят извне и из которой не выходят наружу заряженные частицы, т. е. для **изолированной системы**. **В изолированной системе алгебраическая сумма зарядов всех частиц сохраняется**. Если заряды частиц обозначить через q_1 , q_2 и т. д., то

$$q_1 + q_2 + q_3 + \dots + q_n = \text{const.} \quad (14.1)$$

Закон сохранения заряда имеет глубокий смысл. Если число заряженных элементарных частиц не меняется, то выполнение закона сохранения заряда очевидно. Но элементарные частицы могут превращаться друг в друга, рождаться и исчезать, давая жизнь новым частицам. Однако во всех случаях заряженные частицы рождаются только парами с одинаковыми по модулю и противоположными по знаку зарядами; исчезают заряженные частицы тоже только парами, превращаясь в нейтральные. И во всех этих случаях алгебраическая сумма зарядов остается одной и той же.

Справедливость закона сохранения заряда подтверждают наблюдения над огромным числом превращений эле-

ментарных частиц. Этот закон выражает одно из самых фундаментальных свойств электрического заряда. Причина сохранения заряда до сих пор неизвестна.

Электрический заряд во Вселенной сохраняется. Полный электрический заряд Вселенной, скорее всего, равен нулю; число положительно заряженных элементарных частиц равно числу отрицательно заряженных элементарных частиц.



1. Сформулируйте закон сохранения электрического заряда.
2. Приведите примеры явлений, в которых наблюдается сохранение заряда.

§ 87

ОСНОВНОЙ ЗАКОН ЭЛЕКТРОСТАТИКИ — ЗАКОН КУЛОНА

Приступим к изучению количественных законов электромагнитных взаимодействий. Основной закон электростатики — закон взаимодействия двух неподвижных точечных заряженных тел.

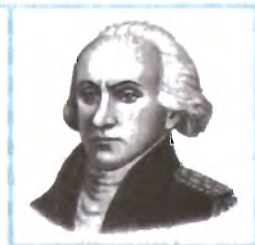
Основной закон электростатики был экспериментально установлен Шарлем Кулоном в 1785 г. и носит его имя.

Если расстояние между телами во много раз больше их размеров, то ни форма, ни размеры заряженных тел существенно не влияют на взаимодействия между ними. В таком случае заряженные тела считают **точечными зарядами**. Вспомните, что и закон всемирного тяготения тоже сформулирован для тел, которые можно считать материальными точками.

Сила взаимодействия заряженных тел зависит от свойств среды между заряженными телами. Пока будем считать, что взаимодействие происходит в вакууме. Опыт показывает, что воздух очень мало влияет на силу взаимодействия заряженных тел, она оказывается почти такой же, как в вакууме.

Кулон Шарль Огюстен

(1736—1806) — французский ученый, известный своими работами по электричеству и магнетизму и исследованием сил трения. Наряду с изучением взаимодействия заряженных тел Кулон исследовал также взаимодействие полюсов длинных магнитов.



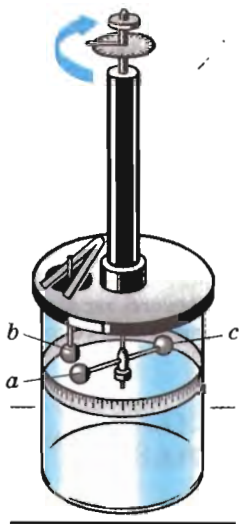


Рис. 14.3

Опыты Кулона. Идея опытов Кулона аналогична идее опыта Кавендиша по определению гравитационной постоянной. Открытие закона взаимодействия электрических зарядов было облегчено тем, что эти силы оказались велики и благодаря этому не нужно было применять особо чувствительную аппаратуру, как при проверке закона всемирного тяготения в земных условиях. С помощью крутильных весов удалось установить, как взаимодействуют друг с другом неподвижные заряженные тела.

Крутильные весы состоят из стеклянной палочки, подвешенной на тонкой упругой проволочке (рис. 14.3). На одном конце палочки закреплен маленький металлический шарик *a*, а на другом — противовес *c*. Еще один металлический шарик *b* закреплен неподвижно на стержне, который, в свою

очередь, крепится на крышке весов.

При сообщении шарикам одноименных зарядов они начинают отталкиваться друг от друга. Чтобы удержать их на фиксированном расстоянии, упругую проволочку нужно закрутить на некоторый угол. По углу закручивания проволочки определяют силу взаимодействия шариков.

Крутильные весы позволили изучить зависимость силы взаимодействия заряженных шариков от значений зарядов и от расстояния между ними. Измерять силу и расстояние в то время умели. Единственная трудность была связана с зарядом, для измерения которого не существовало даже единиц. Кулон нашел простой способ изменения заряда одного из шариков в 2, 4 и более раза, соединяя его с таким же незаряженным шариком. Заряд при этом распределялся поровну между шариками, что и уменьшало исследуемый заряд в известном отношении. Новое значение силы взаимодействия при новом заряде определялось экспериментально.

Закон Кулона. Опыты Кулона привели к установлению закона, поразительно напоминающего закон всемирного тяготения. *Сила взаимодействия двух точечных зарядов в вакууме прямо пропорциональна произведению модулей зарядов и обратно пропорциональна квадрату расстояния между ними.* Эту силу называют кулоновской.

Если обозначить модули зарядов через $|q_1|$ и $|q_2|$, а расстояние между ними через r , то закон Кулона можно записать в следующей форме:

$$F = k \frac{|q_1||q_2|}{r^2}, \quad (14.2)$$

где k — коэффициент пропорциональности, численно равный силе взаимодействия единичных зарядов на расстоянии, равном единице длины. Его значение зависит от выбора системы единиц.

Такую же форму (14.2) имеет закон всемирного тяготения, только вместо заряда в закон тяготения входят массы, а роль коэффициента k играет гравитационная постоянная.

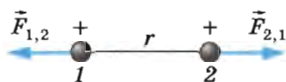


Рис. 14.4

Легко обнаружить, что два заряженных шарика, подвешенные на нитях, либо притягиваются друг к другу, либо отталкиваются. Отсюда следует, что *силы взаимодействия двух неподвижных точечных зарядов направлены вдоль прямой, соединяющей эти заряды* (рис. 14.4). Подобные силы называют центральными. В соответствии с третьим законом Ньютона $\vec{F}_{1,2} = -\vec{F}_{2,1}$.

Открытие закона Кулона — первый конкретный шаг в изучении свойств электрического заряда. Наличие электрического заряда у небольших тел или элементарных частиц означает, что они взаимодействуют друг с другом по закону Кулона.



1. В чем сходство и различие закона всемирного тяготения и закона Кулона!
2. При каком условии заряженное тело можно считать точечным зарядом!

§ 88 ЕДИНИЦА ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ЗАРЯДА

Введена новая физическая величина — электрический заряд. Нужно выбрать единицу этой величины. Этот выбор, как и выбор единиц других физических величин, произволен. Дело здесь только в целесообразности того или иного выбора.

Создать макроскопический эталон единицы электрического заряда, подобный эталону массы — килограмму, невозможно из-за утечки заряда. Естественно было бы за единицу принять заряд электрона, что и сделано в атом-

ной физике, но этот заряд слишком мал, и поэтому пользоваться им в качестве единицы заряда не всегда удобно.

Единица заряда — кулон. В Международной системе единиц (СИ) единица заряда является не основной, а производной и эталон для нее не вводится. Наряду с метром, секундой и килограммом в СИ введена основная единица для электрических величин — единица силы тока — *ампер*. Эталонное значение ампера устанавливается с помощью магнитных взаимодействий токов.

Единицу заряда в СИ — *кулон* устанавливают с помощью единицы силы тока. *Один кулон (1 Кл) — это заряд, проходящий за 1 с через поперечное сечение проводника при силе тока 1 А.*

Коэффициент k в законе Кулона при записи его в единицах СИ выражается в $\text{Н} \cdot \text{м}^2/\text{Кл}^2$, так как согласно формуле (14.2) имеем

$$k = \frac{Fr^2}{|q_1||q_2|}, \quad (14.3)$$

где сила взаимодействия зарядов выражается в ньютонах, расстояние — в метрах, заряд — в кулонах. Числовое значение этого коэффициента можно определить экспериментально. Для этого надо измерить силу взаимодействия F между двумя известными зарядами $|q_1|$ и $|q_2|$, находящимися на заданном расстоянии r , и эти значения подставить в формулу (14.3). Полученное значение k будет равно:

$$k = 9 \cdot 10^9 \text{ Н} \cdot \text{м}^2/\text{Кл}^2. \quad (14.4)$$

Заряд в 1 Кл очень велик. Сила взаимодействия двух точечных зарядов, по 1 Кл каждый, расположенных на расстоянии 1 км друг от друга, чуть меньше силы, с которой земной шар притягивает груз массой 1 т. Поэтому сообщить небольшому телу (размером порядка нескольких метров) заряд в 1 Кл невозможно. Отталкиваясь друг от друга, заряженные частицы не могут удержаться на теле. Никаких других сил, способных в данных условиях компенсировать кулоновское отталкивание, в природе не существует. Но в проводнике, который в целом нейтрален, привести в движение заряд в 1 Кл не составляет большого труда. Ведь в обычной электрической лампочке мощностью 100 Вт при напряжении 127 В сила тока немного меньше 1 А. При этом за 1 с через поперечное сечение проводника проходит заряд, почти равный 1 Кл.

Минимальный заряд, существующий в природе, — это заряд элементарных частиц. В единицах СИ модуль этого заряда равен:

$$e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}. \quad (14.5)$$

Заряд, который можно сообщить телу, всегда кратен минимальному заряду:

$$q = \pm N |e|,$$

где N — целое число. Когда заряд тела существенно больше по модулю минимального заряда, то проверять кратность не имеет смысла, однако когда речь идет о заряде частиц ядер атомов, то заряд их должен быть всегда равен целому числу модулей заряда электрона.

В СИ единица заряда — кулон устанавливается с помощью единицы силы тока — ампер. Элементарный электрический заряд $e = 1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл.



1. Как определяется единица заряда?
2. Чему равен заряд протона?



ПРИМЕРЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ

При решении задач на применение закона Кулона используются те же приемы, что и при решении задач в курсе механики. Надо лишь иметь в виду, что направление кулоновской силы зависит от знаков зарядов взаимодействующих тел. Кроме того, в ряде задач используется закон сохранения заряда и тот факт, что заряд любого тела кратен заряду электрона.

1. Сколько электронов содержится в капле воды массой $m = 0,03$ г? Масса молекулы воды $m_0 = 3 \cdot 10^{-23}$ г.

Решение. Молекула воды (H_2O) содержит 10 электронов. В капле воды содержится $\frac{m}{m_0} = 10^{21}$ молекул и, следовательно, но, 10^{22} электронов.

2. Два одинаковых шарика подвешены на нитях длиной $l = 2,0$ м к одной точке. Когда шарикам сообщили одинаковые заряды по $q = 2,0 \cdot 10^{-8}$ Кл, они разошлись на расстояние $r = 16$ см. Определите натяжение каждой нити.

Решение. На каждый шарик действуют три силы: сила тяжести $m\vec{g}$, сила упругости нити $\vec{F}_{\text{упр}}$ и кулоновская сила \vec{F} (рис. 14.5).

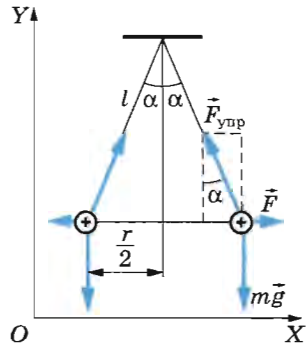


Рис. 14.5

Шарик неподвижен, следовательно, суммы проекций сил на оси OX и OY равны нулю. Для суммы проекций сил на ось OX это условие имеет вид $F - F_{\text{упр}} \sin \alpha + mg \cos 90^\circ = 0$. Так как $\sin \alpha = \frac{r}{2l}$ и $F = k \frac{q^2}{r^2}$, то

$$F_{\text{упр}} = \frac{F}{\sin \alpha} = \frac{F2l}{r} = k \frac{q^2 2l}{r^3} \approx 3,5 \cdot 10^{-3} \text{ Н.}$$



УПРАЖНЕНИЕ 16

1. Определите силу взаимодействия электрона с ядром в атоме водорода, если расстояние между ними равно $0,5 \cdot 10^{-8}$ см.
2. С какой силой взаимодействовали бы две капли воды на расстоянии 1 км, если бы удалось передать одной из капель 1% всех электронов, содержащихся в другой капле массой 0,03 г?
3. Два одинаковых шарика находятся на расстоянии 40 см друг от друга. Заряд одного из них $9 \cdot 10^{-9}$ Кл, а заряд другого — $2 \cdot 10^{-9}$ Кл. Шарик привели в соприкосновение и вновь раздвинули на такое же расстояние. Определите силы их взаимодействия до и после соприкосновения.
4. Точечные заряды $1,0 \cdot 10^{-8}$ Кл и $2,0 \cdot 10^{-8}$ Кл закреплены на расстоянии 1 м друг от друга в вакууме. На середине отрезка, соединяющего эти заряды, на одинаковом расстоянии от каждого из них помещен точечный заряд, равный $-3 \cdot 10^{-9}$ Кл. Определите модуль и направление силы, действующей на него.

§ 89

БЛИЗКОДЕЙСТВИЕ И ДЕЙСТВИЕ НА РАССТОЯНИИ

Закон взаимодействия неподвижных электрических зарядов был установлен экспериментально. Но оставался нерешенным вопрос о том, как осуществляется это взаимодействие.

Близкодействие. Если мы наблюдаем действие одного тела на другое, находящееся на некотором расстоянии от него, то, прежде чем допустить, что это действие прямое и непосредственное, мы склонны сначала исследовать, нет ли между телами какой-либо материальной связи: нитей, стержней и т. д. Если подобные связи есть, то мы объясняем действие одного тела на другое при помощи этих промежуточных звеньев.

Так, когда водители старых автобусов (ныне встречающихся редко) поворачивают рукоятку, открывающую дверь, то последовательные участки соединительного стерж-

жня сжимаются, затем приходят в движение, пока дверь не откроется.

В современных автобусах водитель заставляет дверь открываться, направляя по трубкам сжатый воздух в цилиндр, управляющий механизмом двери. Можно приспособить для этой цели электромотор.

Во всех этих трех способах открывания двери есть нечто общее: между водителем и дверью существует непрерывная соединительная линия, в каждой точке которой совершается некоторый физический процесс. С помощью этого процесса, распространяющегося от точки к точке, происходит передача действия, причем не мгновенно, а с той или иной скоростью.

Итак, действие между телами на расстоянии во многих случаях можно объяснить присутствием передающих действие промежуточных звеньев. Не разумно ли в тех случаях, когда мы не замечаем никакой среды, никакого посредника между взаимодействующими телами, допустить существование некоторых промежуточных звеньев? Ведь иначе придется считать, что тело действует там, где его нет.

Кому незнакомы свойства воздуха, тот может подумать, что рот или голосовые связки собеседника непосредственно действуют на уши, и считать, что звук передается невидимой средой, свойства которой непонятны. Однако можно проследить весь процесс распространения звуковых волн и вычислить их скорость.

Предположение о том, что взаимодействие между удаленными друг от друга телами всегда осуществляется с помощью промежуточных звеньев (или среды), передающих взаимодействие от точки к точке, составляет *сущность теории близкодействия*.

Многие ученые, сторонники теории близкодействия, для объяснения происхождения гравитационных и электромагнитных сил придумывали невидимые истечения, окружающие планеты и магниты, незримые атмосферы вокруг наэлектризованных тел. Размышления эти были подчас весьма остроумны, но обладали немаловажным недостатком — они ничего не давали науке.

Действие на расстоянии (дальнодействие). Так продолжалось до тех пор, пока Ньютон не установил закон всемирного тяготения. Последовавшие успехи в исследовании Солнечной системы настолько захватили воображение ученых, что они вообще в большинстве своем начали склоняться к мысли о бесполезности поисков каких-либо посредников, передающих взаимодействие от одного тела к другому.

Возникла теория прямого действия на расстоянии непосредственно через пустоту. Согласно этой теории действие передается мгновенно на сколь угодно большие расстояния. Тела способны «чувствовать» присутствие друг друга без

какой-либо среды между ними. Сторонников действия на расстоянии, не смущала мысль о действии тела там, где его самого нет. «Разве, — рассуждали они, — мы не видим, как магнит или наэлектризованная палочка прямо через пустоту притягивают тела?» И при этом сила притяжения, например, магнита заметно не меняется, если магнит завернуть в бумагу или положить в деревянный ящик. Более того, даже если нам и кажется, что взаимодействие тел вызвано непосредственным контактом, то в действительности это не так. При самом тесном контакте между телами или частями одного тела остаются небольшие промежутки. Ведь груз, например, подвешенный на нити, не разрывает эту нить, хотя между отдельными атомами, из которых она состоит, ничего нет. Действие на расстоянии — единственный способ действия, встречающийся повсюду.

Возражения против теории близкодействия были довольно сильными, тем более что они подкреплялись успехами, которых добились такие убежденные сторонники действия на расстоянии, как Кулон и Ампер.

Если бы развитие науки происходило прямолинейно, то, казалось бы, победа теории действия на расстоянии обеспечена. Но в действительности развитие науки напоминает, скорее, спиралеобразную линию. Пройдя один виток, наука возвращается примерно к тем же представлениям, но уже на более высоком уровне. Именно так произошло при развитии молекулярно-кинетической теории. Атомная гипотеза Демокрита одно время была оставлена большинством ученых. Затем она возродилась в строгой математической форме и была доказана экспериментально. Так же случилось и при развитии теории близкодействия.

Успехи в открытии законов взаимодействия электрических зарядов и токов не были неразрывно связаны с представлением о действии на расстоянии. Ведь опытное исследование самих сил не предполагает наличия определенных представлений о том, как эти силы передаются. В первую очередь нужно было найти математическое выражение для сил, а выяснить их природу можно было и потом.

Теория близкодействия утверждает, что любое взаимодействие осуществляется с помощью промежуточных агентов и распространяется с конечной скоростью. Согласно теории действия на расстоянии (дальнодействия) одно тело действует на другое непосредственно через пустоту и это действие передается мгновенно.



1. Какая теория — дальнодействия или близкодействия — кажется вам более привлекательной? Почему?
2. Каковы сильные стороны теории дальнодействия по сравнению с теорией близкодействия?