



Всероссийская школа математики и физики «Авангард»

Е. Н. ФИЛАТОВ

# Ф И З И К А

## 8

---

Экспериментальный учебник

Часть 2

*Электрические явления*

МОСКВА 2004

## СОДЕРЖАНИЕ

Методические рекомендации	4
1. Электростатика – наука о неподвижных зарядах	11
2. Электрический ток. Источники тока	44
3. Электрические цепи	64
4. Сила тока	74
5. Электрическое напряжение	80
6. Закон Ома для участка цепи. Электрическое сопротивление	87
7. Удельное сопротивление	96
8. Последовательное соединение проводников	111
9. Параллельное соединение проводников	129
10. Смешанное соединение проводников	158
11. Работа и мощность электрического тока	178
12. Электронагревательные приборы	203
Подсказки	228
Ответы	246

## 1. ЭЛЕКТРОСТАТИКА – НАУКА

### О НЕПОДВИЖНЫХ ЗАРЯДАХ

Начнем наше знакомство с электрическими явлениями с очень простых опытов.

**1-й опыт.** Потрем эбонитовую<sup>1</sup> палочку кусочком шерстяной ткани, а затем прикоснемся этой палочкой к легкой бумажной гильзе. Мы увидим, что бумажная гильза будет отталкиваться от эбонитовой палочки (рис. 1.1,а). Если этой же палочкой прикоснуться ко второй бумажной гильзе, а затем подвесить обе гильзы рядом, то они будут отталкиваться друг от друга (рис. 1.1,б), значит, между гильзами возникают силы отталкивания. Обозначим гильзы на этом рисунке цифрой 1.

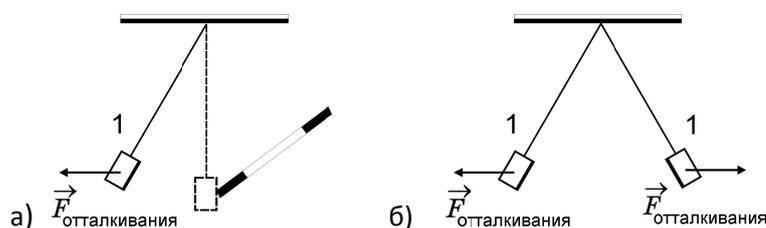


Рис. 1.1

**2-й опыт.** Потрем стеклянную палочку шелковой тканью, а затем сделаем опыт с бумажными гильзами. Получим аналогичный результат (рис. 1.2). Обозначим гильзы на этом рисунке цифрой 2.

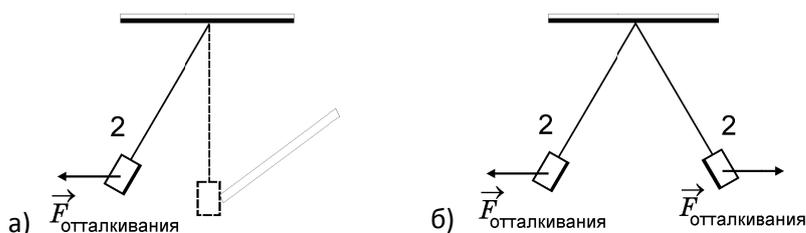


Рис. 1.2

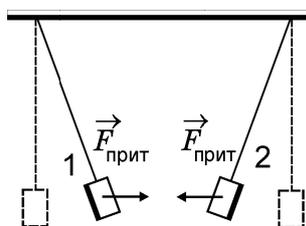


Рис. 1.3

**3-й опыт.** Теперь подвесим рядом две бумажные гильзы (рис. 1.3): 1 (которая была в соприкосновении с эбонитовой палочкой, потертой о шерсть) и 2 (которая соприкасалась со стеклянной палочкой, потертой о шелк). Гильзы притягиваются, значит, между гильзами 1 и 2 возникает сила притяжения.

Рассмотренный нами тип взаимодействия был известен еще в древности и получил название **электрического** взаимодействия.

*Читатель:* А откуда вообще взялось слово «электричество»?

<sup>1</sup> Эбонит – то каучук с большой примесью серы.

*Автор:* Дело в том, что еще древние греки проводили подобные опыты, натирая шерстью кусочки янтаря. А янтарь по-гречески звучит как «электрон». Отсюда и появилось слово *электричество*.

*Читатель:* И как же в древности объясняли эти опыты?

*Автор:* Примерно так: при трении некоторые тела заряжаются *электричеством* (или приобретают заряды). Существуют два типа зарядов: *положительный* и *отрицательный*. Одноименные заряды отталкиваются (положительный заряд отталкивается от положительного, а отрицательный от отрицательного), а разноименные притягиваются (положительный заряд притягивается к отрицательному).

Исторически сложилось так, что заряд, который получает стеклянная палочка при трении о шелк, назвали положительным, а заряд, который получает эбонитовая палочка при трении о шерсть, – отрицательным. (А могли бы назвать и наоборот.)

*Читатель:* А если мы трением одного предмета о другой получили какой-то заряд, то как определить, положительный он или отрицательный?

*Автор:* Достаточно приблизить его к заряду, знак которого точно известен, например – к положительному. Если заряды будут притягиваться, значит, наш заряд отрицательный, а если отталкиваться, то положительный. Вот, собственно, и все, что знали люди об электричестве к началу XVIII века.

*Читатель:* А что известно об этом современной науке?

*Автор:* Давайте разберемся по порядку.

## **Что такое заряд?**

Оказывается, что электрический заряд – это одно из основных свойств материи, и его невозможно объяснить с помощью более простых, ранее известных нам понятий. Можно, например, дать такое определение заряда:

*Заряд* есть неотъемлемое свойство некоторых элементарных частиц, наиболее важными из которых являются *электрон* и *протон*.

Заряды электронов и протонов одинаковы по величине и называются **элементарными зарядами**. Заряда меньшего, чем элементарный, не существует.

Существуют **два типа зарядов**. Один тип зарядов назвали *положительным*, а другой – *отрицательным*. Одноименные заряды отталкиваются, а разноименные притягиваются. При этом заряд протона условились считать положительным, а электрона – отрицательным.

## **Что понимают под зарядом тела?**

Если электрические заряды электронов и протонов рассматривать как алгебраические величины, имеющие значения (+e) у протона и (–e) у электрона, то можно вычислить суммарный заряд всех элементарных частиц, входящих в данное тело.

Под **зарядом тела** понимают алгебраическую сумму зарядов элементарных частиц, составляющих тело.

Обычно электроны и протоны имеются в теле в равных количествах и распределены с одинаковой плотностью. В этом случае алгебраическая сумма зарядов равна нулю в каждой части тела (и в теле в целом). Такое тело называется *электрически нейтральным*.

Если создать в теле *избыток* частиц какого-то одного знака (положительных или отрицательных), тело окажется *заряженным*. Например, при трении эбонитовой палочки о шерсть на палочке создается *избыток электронов*, поэтому эбонитовая палочка получает отрицательный заряд. А при трении стеклянной палочки о шелк, наоборот, электроны уходят со стекла на шелк, и на палочке создается *избыток протонов*, поэтому стеклянная палочка получает положительный заряд.

**Закон сохранения заряда.** Пусть имеется некоторая система зарядов, изолированная от всего остального мира непроницаемой для зарядов оболочкой (то есть пусть ни войти, ни выйти из этой системы ни один заряд не может). Такая система называется *изолированной*. Экспериментально установлено, что *суммарный электрический заряд изолированной системы не может измениться*.

## Что такое электрическое поле?

Как мы уже говорили, заряды взаимодействуют между собой: одноименные отталкиваются, а разноименные притягиваются. Долгое время ученых волновал вопрос: а каков же *механизм* этого взаимодействия?

Оказывается, дело в том, что всякий заряд определенным (не вполне понятным, можно даже сказать таинственным) образом изменяет свойства окружающего его пространства так, что на всякий другой заряд, оказавшийся поблизости, начинают действовать силы притяжения или отталкивания. Или, как говорят физики, заряд создает вокруг себя *электрическое поле*, которое как бы невидимыми руками хватает все соседние заряды и толкает их в ту или иную сторону в зависимости от их знака (+ или –).

(Заметим, что точно так же всякая *масса* создает вокруг себя гравитационное поле.)

Силы, с которыми взаимодействуют заряженные тела, тем больше, чем больше величина каждого из зарядов, и тем меньше, чем больше расстояние между ними. Направлены эти силы вдоль прямой, соединяющей заряженные тела, если размерами тел можно пренебречь по сравнению с расстоянием между ними.

**Задача 1.1.** В поле положительного заряда  $+Q$  находятся положительный заряд  $+q$  и отрицательный заряд  $-q$ , величины которых равны (рис. 1.4). Укажите графически (разумеется, приблизительно) величины и направление сил, с которыми: а) поле заряда  $+Q$  действует на заряды  $+q$  и  $-q$ ; б) поле заряда  $+q$  действует на заряды  $+Q$  и  $-q$ .

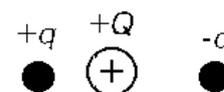


Рис. 1.4

**Решение.**

**Автор:** Заряд  $+q$  отталкивается от заряда  $+Q$ , а заряд  $-q$  притягивается к заряду  $+Q$ . Величина силы, действующей на заряд  $+q$ , больше, чем величина силы, действующей на заряд  $-q$ , так как  $+q$  расположен ближе к заряду  $+Q$ , чем заряд  $-q$  (рис. 1.5,а).



Рис. 1.5

*Читатель:* А заряд  $+q$  будет действовать только на заряд  $+Q$ , так как на заряд  $-q$  он действовать не сможет (рис. 1.5,б).

*Автор:* Почему?

*Читатель:* Его же загороживает заряд  $+Q$ !

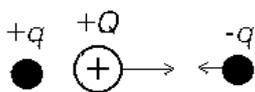


Рис. 1.6

*Автор:* Электрическое поле не признает никаких «загородок»: оно проникает куда угодно и через пустоту, и через воздух, и сквозь стену, и «через голову» других зарядов. Как, впрочем, и гравитационное поле. В самом деле, когда мы находимся в комнате, мы же «загородились» от гравитационного поля Земли и полом, и потолком, и стенами... Однако нас тянет вниз точно такая же сила, как если бы мы были на улице! Другими словами, все наши «загородки» гравитационное поле попросту игнорирует. И электрическое тоже. Поэтому, возвращаясь к нашей задаче, отметим, что на заряд  $-q$  со стороны заряда  $+q$  будет действовать сила притяжения. И заряд  $+Q$  этой силе не помеха (рис. 1.6).

## Ядерная модель атома

Скажем прямо: атом устроен **очень сложно**. Но тем не менее многие электрические явления можно понять, если воспользоваться довольно простой *схемой строения атома*, которая называется **ядерной моделью атома** или моделью Резерфорда<sup>2</sup>. Согласно этой модели атом состоит из тяжелого положительно заряженного ядра и легких отрицательно заряженных электронов, которые подобно планетам вращаются вокруг ядра.

Налицо явная аналогия с Солнечной системой: тяжелое ядро-Солнце и относительно небольшие электроны-планеты, которые вращаются вокруг этого ядра. Поэтому ядерную модель атома одно время даже называли планетарной моделью, а поэт В.Брюсов даже написал по этому поводу такие строки:

Быть может, эти электроны –

Миры, где пять материков,

Искусства, знанья, войны, троны

И память сорока веков!

Еще, быть может, каждый атом –

Вселенная, где сто планет;

Там все, что здесь, в объеме сжатом,

Но также то, чего здесь нет.

<sup>2</sup> Эрнест Резерфорд (1871–1937) – знаменитый английский физик.

Ядро состоит из положительно заряженных протонов и электрически нейтральных нейтронов. Массы протона и нейтрона примерно одинаковы и равны  $1,67 \cdot 10^{-27}$  кг. Масса электрона равна  $9,1 \cdot 10^{-31}$  кг, то есть примерно в 1800 раз меньше массы протона.

Размеры ядра составляют примерно  $10^{-15}$  м, а размеры атома примерно  $10^{-10}$  м, то есть размеры атома приблизительно в 100000 раз больше размеров ядра! Это значит, что между ядром и электронами зияют огромные, ничем не заполненные пустоты.

Сразу оговоримся, что на самом деле строение атома гораздо сложнее, но для первого знакомства с устройством атома такая схема вполне приемлема.

*Читатель:* А почему Резерфорд предложил именно такую модель атома?

*Автор:* Резерфорд пытался осмыслить результаты им же проделанного опыта. Опыт этот, кстати, так и вошел в историю физики под названием опыта Резерфорда. Суть его в следующем.

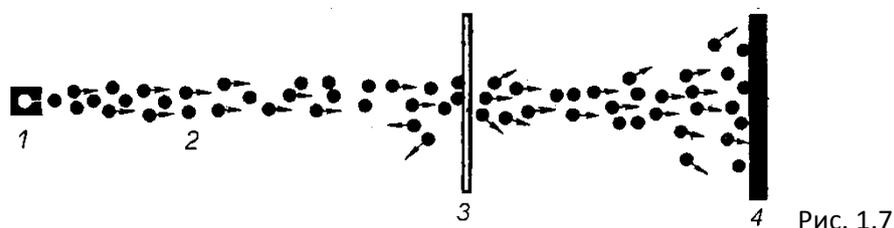
## Опыт Резерфорда

Была взята тонкая золотая фольга толщиной около 0,001 мм, и на нее с близкого расстояния был направлен поток положительно заряженных частиц – так называемых  $\alpha$ -частиц. Эти частицы состоят из двух нейтронов и двух протонов, стало быть, их масса равна массе четырех протонов, а заряд равен двум положительным элементарным зарядам.

За слоем золотой фольги располагался экран, который мог фиксировать те  $\alpha$ -частицы, которым удалось бы пролететь сквозь фольгу.

Резерфорд предполагал, что сквозь фольгу  $\alpha$ -частицам пробиться не удастся, ведь 0,001 мм – это примерно 1000 слоев атомов золота. Представьте себе, что войско выстроилось в македонскую фалангу в тысячу шеренг, и на это войско, оцетинившееся копьями, мчится во весь опор пусть даже очень отважный тяжело вооруженный всадник. Есть у него шанс прорвать такую оборону?

Результат опыта оказался совершенно неожиданным: *почти все*  $\alpha$ -частицы прошли сквозь фольгу так, как будто на их пути вообще ничего не было. Очень немногие отклонились на небольшой угол и лишь ничтожная часть отразилась обратно. На рис. 1.7 показана схема прохождения  $\alpha$ -частиц в опыте Резерфорда: 1 – источник  $\alpha$ -частиц; 2 –  $\alpha$ -частицы; 3 – фольга; 4 – экран.



Этот результат становится понятным, если предположить, что атомы состоят из тяжелых, но очень маленьких по размеру ядер, вокруг которых на больших расстояниях движутся маленькие легкие электроны. Большинство  $\alpha$ -частиц проскочили между ядер, а те немногие, что отразились обратно, как раз наткнулись на них. Отклонившиеся от прямолинейной траектории  $\alpha$ -частицы пролетали рядом с ядрами, и те, как одноименные заряды, оттолкнули их в сторону.

## Атомы и ионы

В целом атом электрически нейтрален, так как число протонов в нем равно числу электронов. Заряд ядра (в элементарных зарядах), а значит, и число протонов равно номеру элемента в Периодической таблице элементов Д.И. Менделеева.

Например, атом водорода состоит из одного протона и одного электрона, атом гелия – из двух протонов, двух нейтронов и двух электронов, атом лития – из трех протонов, трех нейтронов и трех электронов (рис. 1.8).

Нейтроны и протоны «сидят» в ядре довольно крепко, и выбить их оттуда – большая проблема. Зато электрону иногда ничего не стоит оторваться от своего атома и перейти к другому.

Если электрон уходит из атома, то положительных зарядов в нем становится больше, чем отрицательных, и атом превращается из нейтральной в положительно заряженную частицу, которая называется **положительным ионом** (рис. 1.9,а).

Если же атом, наоборот, получает лишний электрон, то он становится отрицательно заряженной частицей, которая называется **отрицательным ионом** (рис. 1.9,б).

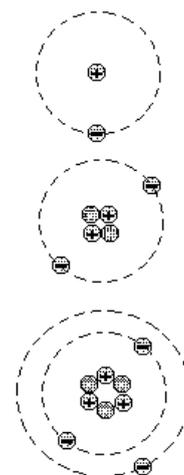


Рис. 1.8

### Что происходит при электризации тел?

При трении некоторых тел друг о друга часть электронов переходит с одного тела на другое. В результате одно тело получает положительный заряд, а другое – отрицательный. Например, при трении эбонитовой палочки о шерсть электроны переходят с шерсти на эбонитовую палочку, и палочка заряжается отрицательно, а шерсть – положительно. А при трении стеклянной палочки о шелк электроны переходят со стекла на шелк, в результате чего стекло заряжается положительно, а шелк – отрицательно.

**Задача 1.2.** Изменится ли масса положительно заряженного тела, если его разрядить? Если да, то как?

**Решение.** Если тело заряжено положительно, значит, в некоторых его атомах *не хватает* электронов. Если положительно заряженное тело разрядят, это значит, что ему *дополнительно передадут* некоторое количество электронов. А поскольку электроны имеют массу (хотя и очень небольшую), то масса тела увеличится.

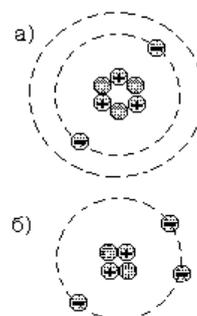


Рис. 1.9

## Проводники и диэлектрики

Проделаем такой опыт. Возьмем два одинаковых металлических шара, один из которых заряжен, а другой не заряжен (рис. 1.10,а).

Соединим эти шары стеклянной палочкой (рис. 1.10,б). Заряды шаров не изменятся: первый как был, так и останется заряженным, а второй – как был, так и останется незаряженным.

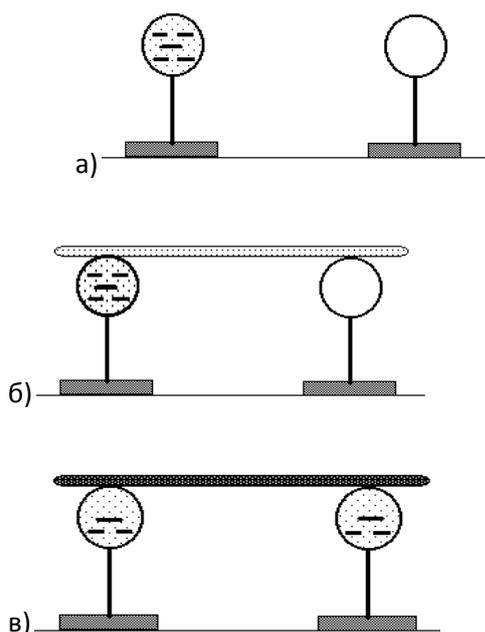


Рис. 1.10

Соединим шары металлическим стержнем (рис. 1.10,в). Теперь второй шар зарядится, а заряд первого шара уменьшится на половину. То есть во втором случае лишние электроны заряженного шара «перебежали» по металлическому стержню на незаряженный шар, а в первом случае осуществить такую «пробежку» по стеклянной палочке они не смогли.

В чем здесь дело?

Дело в том, что по одним веществам электрические заряды могут перемещаться свободно, а по другим не могут.

*Вещества, по которым электрические заряды легко перемещаются, называются проводниками. Вещества, не обладающие этим свойством, называются диэлектриками (или изоляторами).*

Хорошими проводниками являются все металлы, водные растворы солей и кислот, почва, а также раскаленные газы. Проводником, хоть и не очень хорошим, является также человеческое тело.

Хорошими диэлектриками являются, например, янтарь, фарфор, стекло, эбонит, резина, шелк, капрон, пластмассы и газы при комнатной температуре.

*Читатель:* А в чем причина такого разного «поведения» проводников и диэлектриков?

*Автор:* Дело в том, что в проводниках атомы «настроены» весьма демократично: они очень слабо удерживают свои электроны, и те, пользуясь свободой, легко отрываются от своих атомов и запросто «гуляют» между атомами, образуя так называемый электронный газ. Такие электроны называются *свободными*, и именно они обеспечивают проводящие свойства металлов. В растворах солей и кислот заряды переносят положительные и отрицательные ионы.

В диэлектриках же атомы установили «крепостное право» и не отпускают свои электроны ни на шаг. Всякие «прогулки» строжайше запрещены. А если со стороны забредет лишний электрон, ближайший атом немедленно его захватит, превратившись при этом в отрицательный ион.

### Что такое заземление?

*Читатель:* Существует очень простой способ разрядить заряженный металлический шарик – прикоснуться к нему пальцем. Почему при этом шарик разряжается?

**Автор:** Да потому, что человеческое тело – проводник, и электроны, которых на заряженном шарике в избытке, «разбегаются» по всему человеческому телу. Ведь электроны отталкиваются друг от друга, как одноименные заряды, поэтому у них есть «желание» разбежаться в разные стороны подальше друг от друга.

**Читатель:** Но получается, что теперь и у человека, и у шарика будет избыток электронов?

**Автор:** Да! Но теперь этот избыток *перераспределится* между большим человеческим телом и маленьким шариком. Поэтому по сравнению с тем зарядом, который «сидел» на шарике сначала, останутся лишь жалкие крохи.

**Читатель:** Вы рассмотрели случай, когда шарик был заряжен отрицательно. А если он заряжен положительно?

**Автор:** Тогда положительные заряды шарика притянут к себе свободные электроны человеческого тела, и эти электроны компенсируют положительный заряд шарика.

Конечно, если человеческое тело сначала было электрически нейтральным, то недостаток электронов у шарика и человека все-таки останется, но этот недостаток электронов (то есть положительный заряд) будет опять-таки *распределен* между большим человеческим телом и маленьким шариком. Поэтому остаток положительного заряда на шарике будет практически незаметен.

Еще лучше разряжается заряженный проводник, если его **заземлить**, то есть соединить с огромным проводником – планетой Земля. Чисто практически это можно сделать, соединив заряженный проводник при помощи проволоки с батареей парового отопления. При распределении заряда между заряженным шариком и незаряженной Землей на шарике уж точно ничего не останется!

**Читатель:** Наверное, с помощью заземления можно разряжать не только заряженные проводники, но и диэлектрики?

**Автор:** С диэлектриками дело обстоит немного сложнее. Ведь заряды не могут свободно перемещаться по диэлектрику и «сидят» в разных местах неподвижно, как будто запертые на замок. Поэтому если заземлить диэлектрик, то в землю уйдут заряды только из того места, которого непосредственно коснулась проволока, идущая к земле. А все остальные заряды останутся на своих местах. Так что одним легким касанием разрядить диэлектрик не удастся: надо будет тщательно провести заземленной провололочкой по всей поверхности диэлектрика.

## Электростатическая индукция

**Читатель:** Если расчесать волосы пластмассовой расческой, она зарядится. Но если потом поднести заряженную расческу к *незаряженным* кусочкам бумаги, то *незаряженные* кусочки бумаги притянутся к заряженной расческе! Спрашивается почему? Ведь, как мы знаем, притягиваются только *заряженные* тела, причем заряженные разноименно. В чем тут дело?

**Автор:** Дело здесь в *электростатической индукции* (от латинского слова *inductio* – наведение). Рассмотрим, что происходит, когда заряженное тело подносится к незаряженному проводнику (бумагу можно считать проводником, хоть и не очень хорошим).

Возьмем случай, когда к проводнику подносится

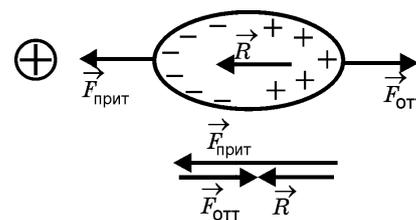
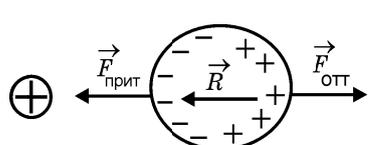


Рис. 1.11

положительный заряд (рис. 1.11). Свободные электроны незаряженного проводника *притянутся* к поднесенному заряду и соберутся на ближней к заряду поверхности проводника. А на дальней от заряда поверхности проводника образуется *избыток* положительных зарядов. Эти заряды, появившиеся на разных концах проводника, называются *индуцированными* (или наведенными). А сам эффект разделения зарядов в проводнике под действием внешнего электрического поля называется *электростатической индукцией*.

*Читатель:* Но ведь в сумме эти заряды равны нулю!

*Автор:* Конечно! Но отрицательные заряды будут находиться *ближе* к нашему заряду, чем положительные. А значит, и сила притяжения между внешним зарядом и индуцированным отрицательным зарядом будет *больше* по величине, чем сила отталкивания между внешним зарядом и индуцированным положительным зарядом. Следовательно, равнодействующая этих сил будет равна по величине  $R = F_{\text{прит}} - F_{\text{отт}}$  и направлена так же, как сила притяжения



$F_{\text{прит}}$ . Именно поэтому незаряженный проводник будет притягиваться к поднесенному к нему заряду.

Рис. 1.12

Заметим, что за счет эффекта электростатической индукции могут притягиваться даже два одноименно заряженных проводника (если заряд одного из них невелик) (рис. 1.12).

### Как зарядить проводник?

*Автор:* Допустим, у Вас есть заряженный металлический шарик. Как Вы считаете, можно ли зарядить другой металлический шарик, сохранив заряд первого шарика неизменным?

*Читатель:* Думаю, что нет. Ведь если прикоснуться заряженным шариком к незаряженному, заряд распределится между ними, и часть заряда первого шарика перейдет на второй.

*Автор:* А нельзя ли зарядить второй шарик, *не прикасаясь* к нему заряженным шариком?

*Читатель:* Конечно, нет! Откуда же тогда на незаряженном шарике возьмутся заряды?

*Автор:* Свободных электронов на незаряженном шарике сколько угодно!

*Читатель:* Но ведь и протонов ровно столько же.

*Автор:* А что, если заставить часть электронов уйти с шарика? Тогда избыток протонов обеспечит положительный заряд!

*Читатель:* А как это можно сделать?

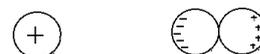


Рис. 1.13

*Автор:* Да с помощью электростатической индукции! Возьмем два незаряженных металлических шарика и приведем их в соприкосновение. Затем поднесем к ним наш заряженный шарик (рис. 1.13) Тогда на ближнем шаре соберутся отрицательные заряды, а на дальнем – положительные. Если теперь мы разъединим шарики, то один из них окажется заряженным отрицательно, а другой – положительно. А заряд нашего шарика при этом не изменится.

**Задача 1.3.** Что произойдет, если к заземленному незаряженному проводнику поднести тело, заряженное положительно (рис. 1.14)? Что произойдет, если заземление убрать? (Заметим, что на электрических схемах



Рис. 1.14

заземление обозначается тремя горизонтальными черточками, как показано на рис. 1.14.)

**Решение.** Наш положительный заряд индуцирует на заземленном проводнике отрицательный заряд: из земли на проводник поступают свободные электроны. Если теперь убрать заземление (то есть отсоединить проводник от земли), то он окажется заряженным отрицательно.

### Распределение зарядов на проводнике

**Автор:** Допустим, мы сообщили проводнику отрицательный электрический заряд. Как он распределится по объему проводника? Для наглядности будем считать, что наш проводник – это сплошной металлический шар.

**Читатель:** В проводнике свободные электроны могут перемещаться без помех, поэтому, я думаю, заряд должен равномерно распределиться по объему проводника (рис. 1.15,а).

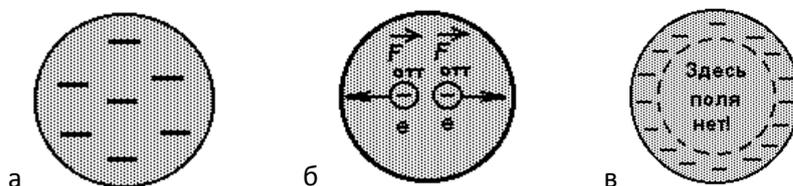


Рис. 1.15

**Автор:** Но ведь электроны отталкиваются друг от друга. Как же они смогут спокойно стоять друг напротив друга и не разбежаться в разные стороны (рис. 1.15,б), ведь из никто не держит?

**Читатель:** А куда же им бежать? Из проводника они все равно выбраться не смогут.

**Автор:** Да, но они постараются разойтись как можно дальше друг от друга. А для этого им всем надо распределиться по *внешней поверхности* проводника (рис. 1.15,в). А внутри проводник будет электрически нейтрален. Более того, электроны распределятся по поверхности проводника таким образом, что *электрического поля внутри проводника не будет!*

**Читатель:** А почему?

**Автор:** Если бы внутри проводника существовало электрическое поле, то происходило бы движение свободных электронов. Их ведь в металле никто не держит: чуть толкни – они и полетели! А раз все электроны разошлись по своим местам и стоят спокойно, значит, внутри проводника электрическое поле отсутствует.

### Полый проводник

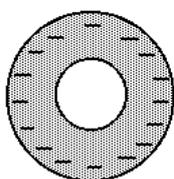


Рис. 1.16

Экспериментально установлено, что если удалить сердцевину заряженного проводника, то есть сделать его *полым*, то на распределение зарядов по проводнику это никак не повлияет. На внутренней поверхности **полого проводника** заряды не появятся: все останутся там, где стояли – на его внешней поверхности (рис. 1.16).

## Как зарядить проводник *очень* большим зарядом?

Оказывается, это очень просто. Надо только взять *полый* проводник (проще всего цилиндрической формы) и прикоснуться маленьким заряженным металлическим шариком к внутренней поверхности цилиндра (рис. 1.17), при этом *весь* заряд шарика перейдет на цилиндр. Причем весь переданный шариком заряд тут же перейдет на *внешнюю* поверхность цилиндра, а внутренняя поверхность опять окажется незаряженной.

Такую операцию можно проделать хоть тысячу раз, и всякий раз наш маленький шарик с маленьким зарядом, соприкасаясь с незаряженной внутренней поверхностью цилиндра, будет передавать ей весь свой заряд, который затем будет перетекать на внешнюю уже очень сильно заряженную поверхность цилиндра. Таким способом можно зарядить цилиндр огромным зарядом!

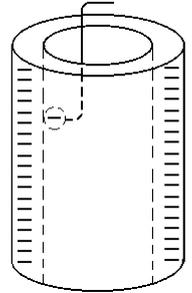


Рис. 1.17

## Электростатическая защита

*Автор:* Как Вы считаете, можно ли спрятаться от электрического поля?

*Читатель:* Вы же сами говорили, что от поля никуда не убежишь – оно везде достанет.

*Автор:* А давайте рассмотрим, как будут вести себя свободные заряды на проводнике, помещенном во внешнее электростатическое поле, созданное другим, очень большим (для определенности – положительным) зарядом.

*Читатель:* Из-за электростатической индукции отрицательные заряды соберутся на ближней к заряду поверхности, а положительные – на дальней.

*Автор:* Верно. А будет ли поле внешнего заряда действовать на свободные электроны внутри проводника?

*Читатель:* Конечно! Поле проникнет сквозь проводник.

*Автор:* Правильно, но только учтите, что теперь в «игру» вступают индуцированные заряды.

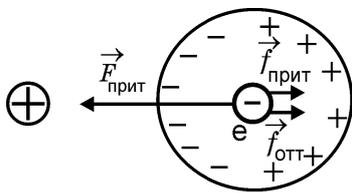


Рис. 1.18

Рассмотрим свободный электрон внутри проводника. На него действуют внешний заряд с силой  $\vec{F}_{\text{прит}}$  и индуцированные заряды: положительные с силой  $\vec{f}_{\text{прит}}$  и отрицательные с силой  $\vec{f}_{\text{отт}}$  (рис. 1.18). При этом силы  $\vec{f}_{\text{прит}}$  и  $\vec{f}_{\text{отт}}$  компенсируют силу  $\vec{F}_{\text{прит}}$ . То есть получается, что внешнее поле, которое проникает в

проводник и создает индуцированные заряды, тем самым создает «противополе». И это «противополе» *внутри* проводника компенсирует внешнее поле. В результате общий эффект от действия этих двух полей получается такой же, как если бы внутри проводника вообще не было никакого электрического поля. (Если бы хоть какое-то поле внутри проводника осталось, то оно привело бы в движение свободные электроны.)

Теперь заметим, что поскольку индуцированные заряды собираются на внешней поверхности проводника, то сердцевина проводника в «игре» практически не участвует. Поэтому если удалить внутренность проводника, то в образовавшейся полости электрическое поле будет отсутствовать (рис. 1.19).

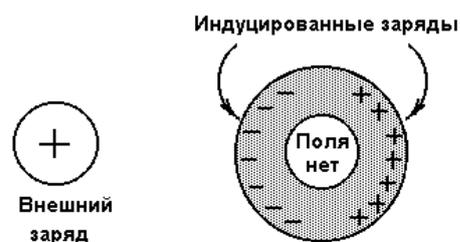


Рис. 1.19

На этом эффекте основана идея электростатической защиты: если окружить какой-то объем металлической оболочкой (или даже металлической сеткой), то результирующее поле внутри этой оболочки будет отсутствовать.

Проиллюстрировать этот эффект можно простым опытом. Поднесем к подвешенному на нити заряженному шару другой заряд – нить отклонится в сторону (рис. 1.20,а). Теперь поместим шарик, подвешенный на нити, внутрь полого металлического цилиндра – нить останется в вертикальном положении (рис. 1.20,б).

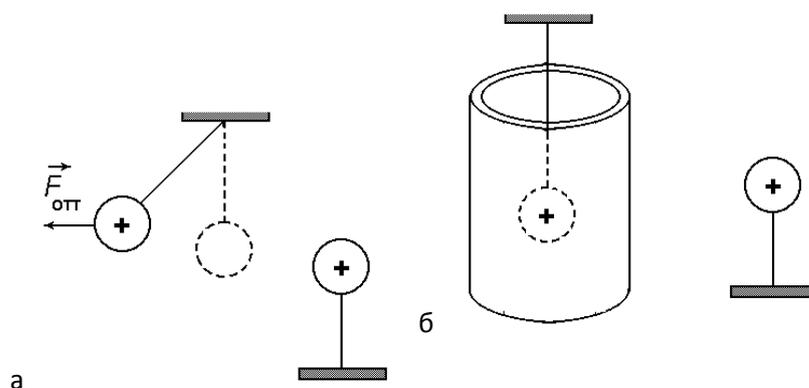


Рис. 1.20

## Электроскоп



Рис. 1.21

Для опытов по электростатике существует очень простой прибор – электроскоп. Простейший электроскоп состоит из металлического стержня, к которому подвешены два очень тонких проводящих листика (например, из алюминиевой фольги или станиоля). Стержень укреплен при помощи изолирующей пробки (эбонитовой или стеклянной) внутри стеклянной баночки (рис. 1.21).

В более совершенной конструкции вместо стеклянной банки используют металлическую оправу, закрытую с обеих сторон стеклами (рис. 1.22).

Как же работает электроскоп? Если коснуться стержня электроскопа заряженным телом, то заряд перейдет по стержню на листочки, и они, как одноименно заряженные, разойдутся.

*Читатель:* А почему листочки непременно должны быть очень тонкими?

*Автор:* По двум причинам: во-первых, чем тоньше листочки, тем меньше

нужна сила электростатического отталкивания, чтобы они разошлись, то есть тем чувствительнее будет электроскоп. А во-вторых, заряд на проводнике собирается, прежде всего, на остриях, поэтому листочки примут на себя большую часть переданного стержню заряда. Как Вы считаете, что произойдет (и произойдет ли вообще), если к незаряженному электроскопу поднести заряженное тело?

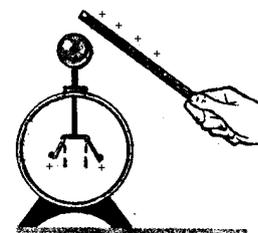


Рис. 1.22

*Читатель:* Я думаю, что если, например, поднести к незаряженному электроскопу положительный заряд, то из-за электростатической индукции на шарике электроскопа соберутся отрицательные заряды, а на листочках – положительные (рис. 1.23,а). А если поднести к электроскопу отрицательный заряд, то, наоборот,

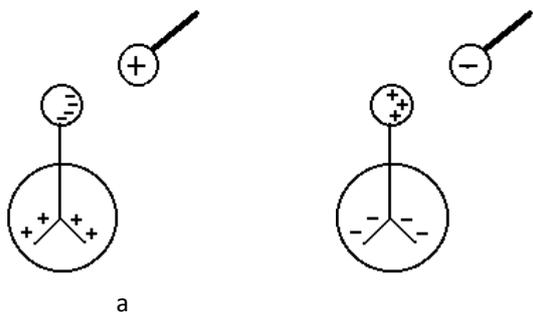


Рис. 1.23

на шарике соберутся положительные заряды, а на листочках – отрицательные (рис. 1.23,б). Поскольку в обоих случаях листочки окажутся заряженными, то они разойдутся.

*Автор:* Верно. А как поведут себя листочки, если удалить заряд?

*Читатель:* Я думаю, что все вернется в исходное положение, ведь заряды на шарике и листочках разноименные, значит, они притянутся друг к другу, все как бы нейтрализуется, и листочки упадут.

*Автор:* Правильно. А что произойдет, если, не удаляя внешнего заряда, прикоснуться к электроскопу пальцем?

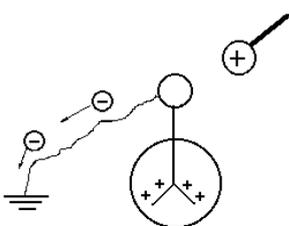


Рис. 1.24

*Читатель:* Тогда заряды на шарике (которые отталкиваются друг от друга как одноименные) «разбегутся» по всему человеческому телу и стержень практически разрядится (рис. 1.24).

*Автор:* А заряды на листочках? Они тоже «убегут»?

*Читатель:* Я думаю, нет. Ведь внешний заряд того же знака, что и заряд на листочках, поэтому он, наверное, должен их притормозить, то есть не дать им подняться вверх по стержню.

*Автор:* Значит, если мы теперь удалим наш внешний заряд, то...

*Читатель:* То листочки останутся приподнятыми.

*Автор:* Совершенно верно! Вот Вам, кстати, способ зарядить электроскоп, «не испортив» внешнего заряда, – мы ведь не касались им электроскопа!

Как Вы считаете, что произойдет, если поднести к заряженному электроскопу заряд того же знака?

*Читатель:* Если электроскоп заряжен, то и его шарик, и листочки имеют заряды одного и того же знака. Если мы поднесем к шарик электроскопа заряд того же знака, то мы как бы *сгоним* с него часть зарядов на листочки. Значит, листочки разойдутся еще сильнее (рис. 1.25).

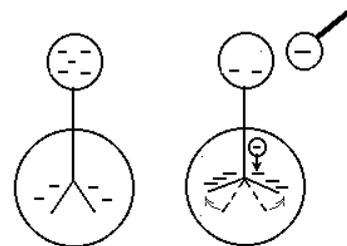


Рис. 1.25

*Автор:* Правильно. А если мы поднесем к заряженному электроскопу заряд противоположного знака?

*Читатель:* Тогда, наверное, листочки, наоборот, будут опускаться, ведь внешний заряд как бы *вытянет* с листочков часть зарядов поближе к себе, на шарик. Значит, заряд на листочках уменьшится, и они немного опустятся (рис. 1.26).

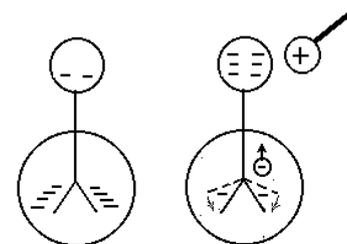


Рис. 1.26

*Автор:* Совершенно верно. А может ли быть так, что по мере приближения заряда к заряженному электроскопу листочки сначала опустятся, а потом опять разойдутся?

*Читатель:* Я думаю, что такое в принципе возможно, если

подносить к шарик *очень* большой заряд, знак которого противоположен знаку заряда электроскопа.

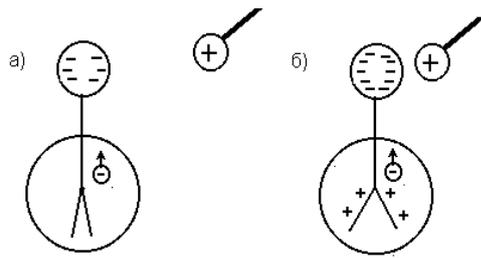


Рис. 1.27

Пусть наш электроскоп заряжен отрицательно, и мы подносим к нему большой положительный заряд (рис. 1.27,а). По мере своего приближения к электроскопу этот заряд сначала вытянет с листочков на шарик все отрицательные заряды. Листочки при этом разрядятся и опадут. Но если подносимый заряд велик по сравнению с зарядом на электроскопе, то он на этом «не успокоится» и будет продолжать вытягивать свободные электроны с листочков на шарик. В результате на листочках образуется недостаток электронов, то есть положительный заряд, и они начнут расходиться (рис. 1.27,б).

Автор: Совершенно верно.

### Задачи для самостоятельного решения

#### Задачи очень легкие

- A1.** Будут ли взаимодействовать близко расположенные электрические заряды в безвоздушном пространстве, например, на Луне, где нет атмосферы?  
**A2.** На нитях подвешены заряженные шарики. Определите знаки их зарядов (рис. 1.28).

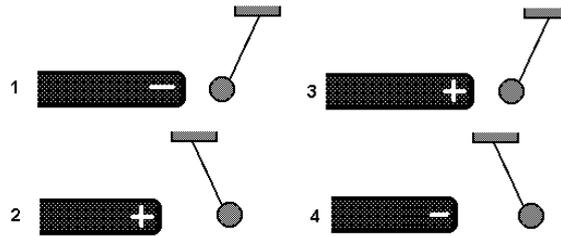


Рис. 1.28

- A3.** На рис. 1.29 показаны заряженные шарики, подвешенные на нитях. Определите знаки зарядов шариков А и В.

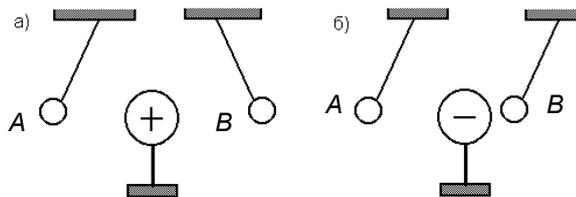


Рис. 1.29

- A4.** Пробковые шарики, подвешенные на нитях, заряжены (рис. 1.30). Какого знака заряды шариков?

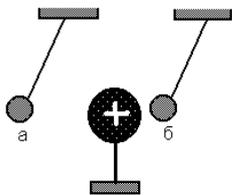


Рис. 1.30

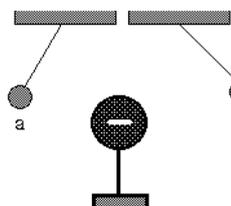


Рис. 1.31

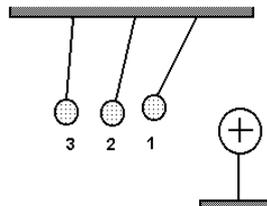


Рис. 1.32

- A5.** Металлический шар заряжен (рис. 1.31). Какого знака заряды у шариков одинаковой массы, подвешенных на шелковых нитях?  
**A6.** Какой из подвешенных шариков (см. условие задачи A5) имеет больший заряд?  
**A7.** Какой заряд на маленьких шариках (рис. 1.32)? Почему шарик 1 отклонился на больший угол, чем шарик 3?

**A8.** В электрическом поле равномерно заряженного шара в точке *A* находится заряженная пылинка (рис. 1.33). Как направлена сила, действующая на пылинку со стороны поля шара?



Рис. 1.33

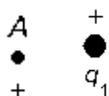
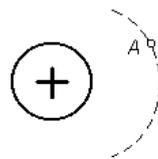


Рис. 1.34



Рис. 1.35



**A9.** Одинаковые ли силы действуют на равные заряды  $q_1$  и  $q_2$  со стороны поля заряженного металлического шара (рис. 1.34)?

**A10.** В электрическом поле равномерно заряженного шара в точке *A* находится заряженная пылинка (рис. 1.35). Как направлена сила, действующая на пылинку со стороны поля шара?

**A11.** Укажите, какая часть атома несет положительный заряд, а какая – отрицательный.

**A12.** Вокруг ядра атома кислорода движется 8 электронов. Сколько протонов имеет ядро атома кислорода?

**A13.** Может ли атом водорода лишиться заряда, равного 0,5 заряда электрона?

**A14.** В каком случае атом водорода превращается в положительный ион?

**A15.** Сколько электронов и протонов имеет атом водорода?

**A16.** Существуют ли атомные ядра с зарядом меньшим, чем у протона?

**A17.** Какое изменение произошло с атомом кислорода, если он превратился в положительный ион?

**A18.** Чем положительный ион газа отличается от молекулы газа?

**A19.** На рис.1.36 схематически изображены атом и ион водорода. На каком рисунке (*a* или *б*) изображен ион? Какой заряд представляет собой ион?

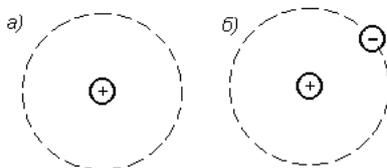


Рис. 1.36

**A20.** Что имеет бóльшую массу: атом водорода или положительный ион водорода? Ответ обоснуйте.

### **Задачи легкие**

**B1.** Отрицательно заряженное тело притягивает подвешенный на нити легкий шарик, а положительно заряженное тело – отталкивает. Можно ли утверждать, что шарик заряжен? Каков знак заряда?

**B2.** Положительно заряженное тело отталкивает подвешенный на нити легкий шарик. Можно ли утверждать, что шарик заряжен положительно?

**B3.** Почему при расчесывании волос пластмассовой расческой чистые волосы словно прилипают к ней?

**B4.** Электрическое поле равномерно заряженного шара действует на пылинку, находящуюся в нем. Действует ли поле пылинки на шар?

- Б5.** Укажите направление сил, действующих со стороны электрических полей заряженных шаров и полей внесенных в них зарядов (см. рис. 1.33 и 1.34).
- Б6.** В электрическое поле равномерно заряженного шара *A* помещены два одинаковых металлических шарика, имеющих равные разноименные заряды. Сравните силы, действующие на шарики со стороны поля. Изобразите эти силы графически (рис. 1.37).

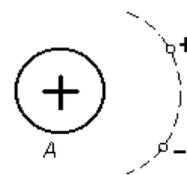


Рис. 1.37

- Б7.** На рис. 1.38 линиями *1* и *2* показаны траектории движения двух одинаковых капелек воды, которые при свободном падении попали в поле заряженного шара. Какая капелька имела больший заряд? Каков знак заряда капелек?
- Б8.** Стеклянная палочка при трении о шелк электризуется положительно. Избыток или недостаток электронов образуется при этом на ткани?
- Б9.** Металлический шар, имевший положительный заряд, разрядили, и он стал электрически нейтральным. Можно ли сказать, что заряды в шаре исчезли?

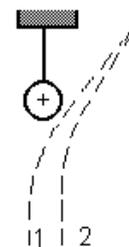


Рис. 1.38

- Б10.** Два одинаковых металлических шара, заряженные одинаковыми по абсолютному значению, но разноименными по знаку зарядами, после соприкосновения оказались электрически нейтральными. Можно ли сказать, что заряды в шарах исчезли? Какие изменения произошли внутри шаров с некоторым числом их атомов?
- Б11.** Можно ли при электризации трением зарядить только одно из соприкасающихся тел? Ответ обоснуйте.
- Б12.** Известно, что литий имеет три электрона. С учетом этого начертите схемы положительного и отрицательного ионов лития; гелия (имеющего два электрона).

- Б13.** На рис. 1.39, *а* схематически изображен атом гелия. Что изображено на рис. 1.39, *б*?

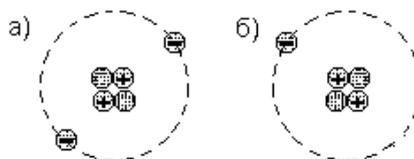


Рис. 1.39

- Б14.** Алюминиевой палочке сообщили положительный заряд. Что произошло с некоторым числом атомов алюминия?
- Б15.** Известно, что в состав атома лития входят 3 протона. Сколько всего частиц в атоме лития? Назовите их.

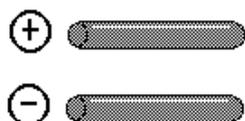


Рис. 1.40

- Б16.** Изменится ли масса отрицательно заряженного шара, если к нему прикоснуться рукой? Если изменится, то как?
- Б17.** Два одинаковых шарика заряжены разноименно. Их привели в соприкосновение, а затем вернули в первоначальное положение. Изменились ли при этом заряды шариков? Массы шариков? Как?
- Б18.** Из перечисленных ниже материалов укажите, какие относятся к проводникам, а какие – к изоляторам: серебро, бронза, порошок медного купороса, сталь, стекло, раствор медного купороса в воде, графит, пластмасса, песок, раствор поваренной соли в воде, бетон, воск, алюминий, медь, бензин, сахар, шелк, воздух. Как это можно доказать?
- Б19.** К незаряженным металлическим палочкам поднесли заряженные тела (рис. 1.40). Укажите знаки зарядов, которые возникнут на палочках.
- Б20.** К незаряженным металлическим палочкам поднесли заряженные шарики (рис. 1.41). Укажите знаки зарядов, которые возникнут на палочках.

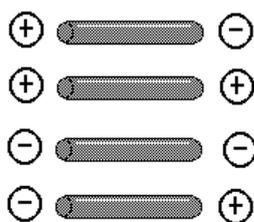


Рис. 1.41

- Б21.** Зачем стержень электроскопа всегда делают металлическим?
- Б22.** Почему расходятся листочки электроскопа, если его шарика коснуться заряженным телом?
- Б23.** Почему разряжается электроскоп, если его шарика коснуться пальцами?
- Б24.** Почему заряженный шарик при приближении к нему электроскопов отклонился вправо, а не влево (рис. 1.42)?

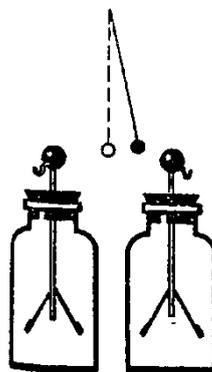


Рис. 1.42

### Задачи средней трудности

- В1.** Пылинка падает под действием силы тяжести (рис. 1.43). Оказавшись над пластинкой А, заряженной отрицательным зарядом, пылинка замедлила свое движение. Изменится ли скорость движения пылинки, если пластинка будет заряжена положительным зарядом?

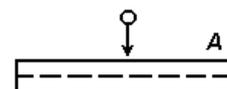


Рис. 1.43

- В2.** Капельке масла сообщили отрицательный заряд, и она медленно движется к пластинке А (см. рис. 1.43). Заряд пластинки мы можем изменить. Что необходимо сделать, чтобы остановить движение капельки; заставить капельку двигаться вверх?
- В3.** Уличная пыль обычно электризуется положительно, поднимаясь в воздухе. Каким электрическим свойством должна обладать краска, чтобы препятствовать оседанию пыли на стенках зданий?
- В4.** Когда двум одинаковым легким гильзам из фольги, подвешенным в одной точке, сообщили одноименные заряды, они отклонились от вертикали. Что произойдет, если одну из гильз разрядить?
- В5.** На тонких шелковых нитях, укрепленных в одной точке, подвешены одинаковые легкие бумажные гильзы, имеющие электрические заряды одинакового знака, но разные по абсолютному значению. Одинаково ли гильзы отклоняются от вертикали, проходящей через точку подвеса?
- В6.** Шар, заряженный положительно, подвешен на шелковой нити. Изменилось ли число протонов, содержащихся в шаре, когда ему сообщили дополнительный положительный заряд? На этот вопрос были получены ответы: уменьшилось; увеличилось; не изменилось. Какой из этих ответов правильный? Ответ объясните.
- В7.** Почему в опытах по электростатике рекомендуется подвешивать электризуемые тела на шелковых нитях, а не на простых?
- В8.** Почему опыты по электростатике рекомендуется проводить в сухом, протопленном помещении?
- В9.** Почему стеклянную или эбонитовую палочку легко наэлектризовать, держа ее в руке, а металлический стержень таким образом наэлектризовать нельзя?
- В10.** Что происходит при заземлении положительно заряженного тела?

- В11.** Что происходит при заземлении отрицательно заряженного тела?
- В12.** Можно ли наэлектризовать трением латунную палочку?
- В13.** При расчесывании волос пластмассовой расческой она электризуется. Будет ли электризоваться (т.е. заряжаться) металлическая расческа?
- В14.** Почему ворсинки и пыль прилипают к одежде при чистке ее волосяной щеткой? Почему, если щетка слегка влажная, этого не происходит?
- В15.** Почему легкая станиолевая гильза притягивается и к положительно заряженной стеклянной палочке, и к отрицательно заряженной эбонитовой?
- В16.** Положительно заряженное тело притягивает подвешенный на шелковой нити легкий шарик. Можно ли утверждать, что шарик заряжен отрицательно?
- В17.** Отрицательно заряженное тело притягивает подвешенный на шелковой нити легкий шарик. Можно ли утверждать, что шарик заряжен положительно?
- В18.** Если зарядить эбонитовую палочку, сильно потерев ее о кусок сукна, и поднести к шарiku бузины, подвешенному на шелковой нити, то шарик сначала притянется к палочке, а после соприкосновения с ней тут же оттолкнется (рис. 1.44). Почему это происходит?

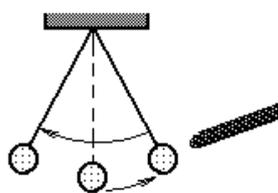


Рис. 1.44

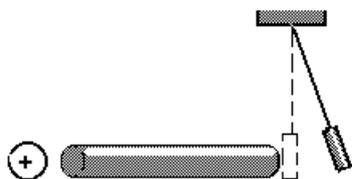


Рис. 1.45

- В19.** Подвешенная гильза сначала касалась незаряженной металлической палочки, но когда к палочке поднесли заряженный шар, гильза заняла другое положение (рис. 1.45). Почему?
- В20.** Можно ли зарядить (если да, то зарядом какого знака), поднося к заземленному телу другое, заряженное положительно?
- В21.** К легкой незаряженной станиолевой гильзе, подвешенной на шелковой нити, поднесли наэлектризованную стеклянную палочку и слегка коснулись гильзы пальцем другой руки. Что произойдет?
- В22.** Каким образом заряженный проводник может отдать свой заряд другому изолированному проводнику?
- В23.** Обладают ли металлы экранирующим от электрического поля действием? А диэлектрики?
- В24.** Как защищаются работники лаборатории, в которой экспериментируют с сильными электрическими полями от действия этих полей?
- В25.** Что положено в основу устройств электростатической защиты? С какой целью на корпуса некоторых радиоламп одевают металлические колпачки?
- В26.** Что произойдет, если к электроскопу, заряженному отрицательно, поднести, не прикасаясь к нему, положительно заряженную палочку из стекла?
- В27.** Укажите знаки электрического заряда у шарика и листочков электроскопа, к которому поднесли (не касаясь шарика) положительно заряженную палочку. (До опыта электроскоп заряжен не был.)
- В28.** Как при помощи отрицательно заряженной палочки определить, каким зарядом заряжен электроскоп?

- В29.** К шарiku электроскопа, стоящего на изолирующей подставке, поднесли, не касаясь его, положительно заряженную стеклянную палочку. Листочки электроскопа разошлись. Можно ли утверждать, что шарик электроскопа приобрел заряд? Что произойдет, если палочку удалить?
- В30.** Что произойдет, если к шарiku незаряженного электроскопа поднести наэлектризованную стеклянную палочку, не касаясь ею шарика? Почему? Объясните наблюдаемое явление.
- В31.** К шарiku заряженного электроскопа поднесите (не касаясь его) незаряженный металлический стержень. Как изменится отклонение листочков? Объясните почему.
- В32.** Если к стержню заряженного электроскопа поднести палец, то листочки электроскопа сближаются. Почему?
- В33.** Чтобы передать электроскопу наибольший заряд, его стержня не просто касаются наэлектризованной палочкой, а проводят несколько раз по стержню, все время поворачивая ее вокруг продольной оси. Почему?
- В34.** Почему заряженный электроскоп разрядится быстрее, если его шар покрыт пылью?
- В35.** Почему заряженный электроскоп всегда через некоторое время разряжается?
- В36.** На стержень электроскопа насажен полый металлический шар, в который помещен эбонитовый стержень, обернутый мехом. Стержень вынули, а мех остался в шаре. Почему после этого разошлись листочки электроскопа?

#### **Задачи трудные**

- Г1.** Даны два изолированных металлических шара одинакового диаметра. Каким образом можно на них получить заряды, равные по модулю и знаку? Равные по модулю, но противоположные по знаку?
- Г2.** Как можно при помощи электроскопа, стеклянной палочки и шелкового лоскута ткани определить, зарядом какого знака заряжено тело?
- Г3.** Металлические шары, помещенные на изолирующих подставках, привели в соприкосновение и зарядили отрицательно (рис. 1.46). Поместив на некотором расстоянии отрицательно заряженную палочку, шар *A* отодвинули и палочку убрали. Доказать рассуждением, что шар *A* всегда заряжен отрицательно, а шар *B* в зависимости от расстояния *BC* может быть заряжен отрицательно, оставаться нейтральным или зарядиться положительно.
- Г4.** Предложите способ, как зарядить положительно металлический шарик, укрепленный на изолирующей подставке, если в Вашем распоряжении есть отрицательно заряженный шарик. Менять заряд этого шарика не разрешается!
- Г5.** Как с помощью отрицательно заряженного металлического шарика зарядить отрицательно другой такой же шарик, не изменяя заряда первого шарика?
- Г6.** На тонких шелковых нитях подвешены две одинаковые легкие бумажные гильзы. Одна из них заряжена, а другая — нет. Как определить, какая из них заряжена?

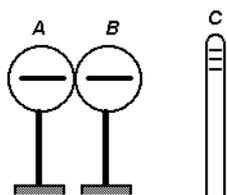


Рис. 1.46

- Г7.** На тонких шелковых нитях подвешены два одинаковых легких шарика. Учитель попросил учеников определить, заряжены эти шарики или нет. Одна ученица предложила воспользоваться для решения этой задачи наэлектризованной стеклянной палочкой, а другая сказала, что сможет выполнить задание, поднося к шарикам (сначала к одному, а затем к другому) палец. Какая из девочек даст правильный ответ? Почему? Как бы Вы поступили в таком случае?
- Г8.** К легкой металлической гильзе, висящей на шелковой нити, подносят заряженную палочку. При этом можно подобрать такое расстояние, при котором гильза еще находится в состоянии

покою. Но стоит прикоснуться к ней пальцем, как она устремится к палочке. Почему это явление происходит?

**Г9.** На шелковой нити висит станиолевая гильза. Необходимо определить, заряжена ли эта гильза, а если заряжена, то каков знак заряда. Предложите несколько способов.

**Г10.** Если газету прижать к стене и потереть ее суконкой или щеткой, то она прилипнет к стене. Почему?

**Г11.** Можно ли, имея два металлических шарика, из которых лишь один заряжен, сообщить полному металлическому цилиндру заряд больший, чем заряд на шарике?

**Г12.** Два одинаковых металлических цилиндра стоят на изолирующей подставке. Как получить на них заряды, одинаковые по абсолютному значению и знаку? Цилиндры полые, открытые с обоих концов.

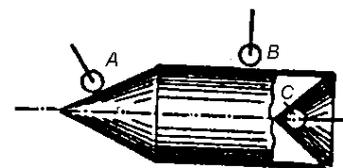


Рис. 1.47

**Г13.** Маленьким металлическим шариком прикасаются поочередно к точкам *A*, *B*, *C* заряженного тела, изображенного на рис. 1.47. После каждого соприкосновения приблизительно определяют заряд шарика, прикасаясь шариком к электроскопу. Будут ли листочки электроскопа в указанных трех случаях расходиться на одинаковые углы?

**Г14.** Если коснуться стержня заряженного электроскопа пальцем то электроскоп разрядится. Произойдет ли то же самое, если вблизи электроскопа находится заряженное тело?

**Г15.** К заряженному электроскопу подносят с достаточно большого расстояния отрицательно заряженный предмет. По мере приближения предмета показания электроскопа сначала уменьшаются, а с некоторого момента вновь увеличиваются. Какого знака заряд был на электроскопе?

**Г16.** К заряженному электроскопу подносили: а) изолированный незаряженный проводник; б) заземленный проводник. Как изменялись показания электроскопа в каждом из этих случаев?

**Г17.** К стержню электроскопа, стоящего на изолирующей подставке, поднесли, не касаясь его, положительно заряженную стеклянную палочку. Листочки электроскопа разошлись. Затем к стержню прикоснулись пальцем другой руки. Что произойдет? Можно ли утверждать, что стержень электроскопа приобрел заряд? Какого знака? Что произойдет, если палочку теперь удалить?

**Г18.** К стержню электроскопа, стоящего на изолирующей подставке, поднесли, не касаясь его, положительно заряженную стеклянную палочку. Листочки электроскопа разошлись. Затем к стержню прикоснулись пальцем другой руки и удалили стеклянную палочку. После этого убрали палец со стержня электроскопа. Что произойдет?

**Г19.** При помощи положительно заряженной палочки зарядите, не уменьшая на ней заряда, один электроскоп положительно, а другой отрицательно. (Опишите, как это сделать.)

**Г20.** На стержень электроскопа насадили полый металлический шар, над которым поместили воронку с песком так, что песок тонкой струйкой сыплется в шар. Почему при этом расходятся листочки электроскопа?

**Г21.** Как узнать, каким зарядом заряжается электроскоп в случае, указанном в задаче Г20?

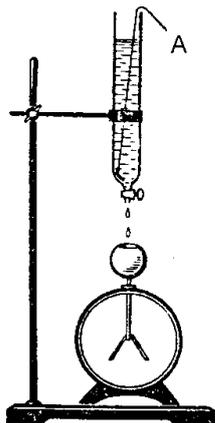


Рис. 1.48

**Г22** Вода капает в полый металлический шар, установленный на электрооскопе (рис. 1.48). Как определить, каким знаком заряжает проводник А воду в бюретке? (До опыта электрооскоп не был заряжен.)

**Г23.** На стержни двух электрооскопов насадили металлические полые шары. В один из них поместили эбонитовый стержень, обернутый мехом. Стержень вынули (мех остался в шаре) и поместили в шар другого электрооскопа. Листочки обоих электрооскопов разошлись. Почему? Объясните наблюдаемое явление.

**Г24.** Заряды какого знака приобрели электрооскопы (см. задачу Г23), как это проверить? Что произойдет, если стержни электрооскопов соединить металлическим стержнем-разрядником?

*Задачи очень трудные*

**Д1.** Мыльный пузырь, соединенный с атмосферой с помощью вертикально расположенной трубки, исчезает (стягивается, превращаясь в почти плоскую пленку на конце трубки) за время  $t$ . Как изменится это время, если пузырю сообщить положительный заряд? Отрицательный?

**Д2.** На изолирующей подставке укреплен стержень, на котором находится заряженный шарик, накрытый опрокинутым вверх дном металлическим цилиндром так, что шарик находится в центре цилиндра. Можно ли определить знак заряда шарика, не снимая цилиндра и не касаясь его?

**Д3.** В каком случае небольшой и легкий листочек незаряженной фольги начнет двигаться (скользить) к заряженной палочке с большого расстояния: если он лежит на сухом стекле или находится на железном листе? Ответ обоснуйте. (Трение при движении листочка по стеклу и железу примите одинаковым, а железный лист заземленным.)

**Д4.** У вас есть эбонитовая пластинка, металлическая пластинка несколько меньших размеров на изолирующей палочке и кусочек сукна. Можно ли с помощью этих предметов зарядить электрооскоп положительно, не касаясь головки и корпуса электрооскопа?

**Д5.** «Вечный двигатель», схема которого показана и рис. 1.49, состоит из вертушек, изготовленных из спиц, на концах которых насажены легкие шарики. Вертушки наполовину погружены в воду. Поскольку известно, что сила электрического взаимодействия между зарядами, находящимися в чистой воде, примерно в 80 раз меньше, чем в воздухе, то автор «двигателя» полагал, что если шарикам сообщить разноименные заряды, то равновесие нарушится, и они будут вращаться. Будут ли вращаться вертушки?

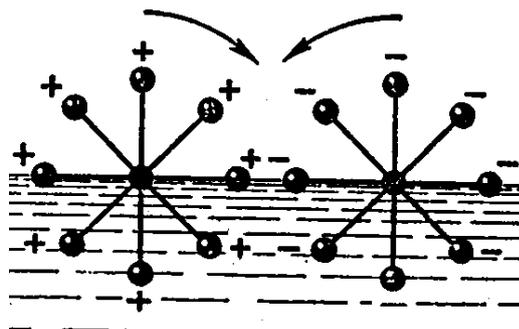


Рис. 1.49