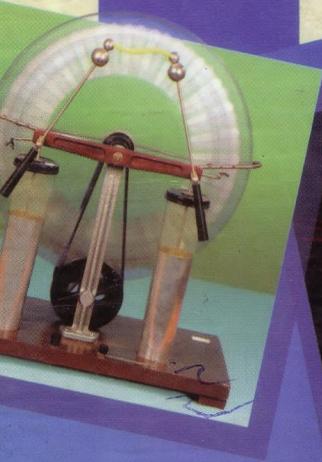


Ф. Я. Божинова, Н. М. Кирюхин,  
Е. А. Кирюхина

Ф

ИЗИКА

9



ИЗДАТЕЛЬСТВО  
**РАНОК**

Рекомендовано Министерством образования и науки Украины  
(приказ Министерства образования и науки Украины от 02.02.2009 г. № 56)

**Издано за счет средств издательства. Продажа разрешена**

Ответственные за подготовку учебника к изданию:

*Е. В. Хоменко*, главный специалист МОН Украины;

*И. А. Юрчук*, методист высшей категории

Института инновационных технологий и содержания образования

**Независимые эксперты:**

*В. Г. Барьяхтар*, директор Института магнетизма НАН Украины,

доктор физ.-мат. наук, профессор, академик НАН Украины;

*И. И. Бродин.*, доцент кафедры физики твердого тела Прикарпатского национального университета им. В. Стефаника, канд. физ.-мат. наук;

*Н. В. Головки*, заместитель директора Института педагогики АПН Украины,  
канд. пед. наук;

*О. Н. Дума*, учитель физики гимназии № 4 г. Одессы, учитель-методист;

*В. Н. Карпова*, учитель физики гимназии № 28 г. Запорожья, учитель-методист;

*З. Я. Евтушик*, методист городского методического кабинета Ковельского городского управления образования;

*А. М. Хоренко*, методист Киевского областного института педагогического образования педагогических кадров, учитель-методист

**Рецензенты:**

*С. В. Каплун*, зав. кафедрой методики естеств.-мат. образования  
Харьковского областного научно-методического института непрерывного  
образования, канд. пед. наук, доцент;

*Ю. Е. Крот*, профессор кафедры физики Харьковского государственного технического университета строительства и архитектуры, канд. техн. наук;

*В. М. Ятвецкий*, методист Одесского регионального центра оценивания  
качества образования;

*Л. И. Ятвецкая*, заведующая научно-методической лабораторией естественных  
дисциплин Одесского областного института усовершенствования учителей

**Божина Ф. Я.**

Б76 Физика. 9 класс: Учебник для общеобразоват. учеб. заведений /  
Ф. Я. Божина, Н. М. Кирюхин, Е. А. Кирюхина.— Харьков: Издатель-  
ство «Ранок», 2009.— 224 с.: ил.

ISBN 978-966-672-873-2

Предлагаемый учебник является составной частью учебно-методического комплекта «Физика-9», включающего также планы-конспекты всех уроков, сборник задач, тетрадь для лабораторных работ и комплексную тетрадь для контроля знаний.

Основная цель учебника — содействовать формированию базовых физических знаний, показать их необходимость для понимания окружающего мира.

**УДК 371.388:53**

**ББК 22.3я721**

© Ф. Я. Божина, Н. М. Кирюхин,  
Е. А. Кирюхина, 2009

© В. В. Зюзюкин, В. В. Хлыстун, ил., 2009

© О. В. Смиян, перевод, 2009

© ООО Издательство «Ранок», 2009

## Дорогие друзья!

Вы изучаете физику уже третий год. Надеемся, вы сумели оценить достоинства этой удивительной науки о природе, более того, стараетесь, используя приобретенные знания, осознать и объяснять процессы, происходящие вокруг.

Кому-то из вас интереснее смотреть на мир глазами специалиста-оптика, кому-то — механика, кому-то — термодинамика. Однако, даже в совершенстве владея знаниями лишь об оптических, механических или тепловых явлениях, невозможно понять, например, принцип работы ксерокса или разобраться в электрической схеме простейшего фонарика, а тем более понять, что именно измеряют счетчиком Гейгера или как работает атомный реактор. Дело в том, что работа всех указанных устройств основывается или на законах электромагнетизма, или на законах ядерной физики. Именно с ними вы познакомитесь в курсе физики 9-го класса.

Из раздела «**Электрическое поле**» вы узнаете о мире неподвижных частиц, имеющих электрический заряд. Изучением таких частиц занимается электростатика — наука о свойствах и взаимодействии неподвижных электрических зарядов.

Направленное движение электрических зарядов вы будете изучать в разделе «**Электрический ток**». Вы узнаете, при каких условиях электрический ток существует, как он возникает, а главное — где его используют.

Раздел «**Магнитные явления**» неразрывно связан с предыдущим, ведь магнитные явления возникают в результате движения заряженных частиц.

В разделе «**Атомное ядро. Ядерная энергетика**» вы «заглянете» вглубь атомного ядра, узнаете, что такое радиоактивность, когда нужно бояться радиоактивного излучения, а когда оно полезно. Вы выясните, что служит «топливом» для атомных электростанций и как они работают.

Конечно, без ваших усилий понять и полюбить физику не удастся. Учиться — это значит учить себя. Учитель и учебник только помогут вам в получении знаний: донесут необходимую информацию, расшифруют сложные понятия, укажут тропинку в хитросплетениях физических задач. Поэтому внимательно изучайте содержание каждого параграфа. Обратите внимание, что параграфы (или пункты в них), обозначенные звездочкой (\*), — для тех, кто стремится узнать больше.

Параграфы завершаются рубриками «**Подводим итоги**», «**Контрольные вопросы**», «**Упражнение**».

 Благодаря рубрике «**Подводим итоги**» вы имеете возможность еще раз выделить основное в изученном материале и повторить его.

 Выяснить, как вы поняли изученное, поможет рубрика «**Контрольные вопросы**». Если вы сможете ответить на все вопросы, то все обстоит благополучно, если же на некоторые из них вы не знаете ответа, снова обратитесь к тексту параграфа.

 Рубрика «**Упражнение**» позволит вам применить полученные знания на практике. Задачи этой рубрики по силам каждому, однако придется подумать и проявить сообразительность. Задачи, обозначенные звездочкой (\*), — повышенной сложности.

 Физика — наука экспериментальная, поэтому в учебнике вас ожидают **лабораторные работы** и **экспериментальные задания**. Обязательно выполните их, и вы начнете лучше понимать и больше любить физику.

В ходе подготовки к контрольным работам будет полезна рубрика «**Задания для самопроверки к разделу**», а рубрика «**Подводим итоги раздела**» поможет систематизировать полученные знания и «увидеть» весь материал раздела в целом.

Те же из вас, кто хочет больше узнать о развитии физической науки и техники или планирует связать свое будущее с физикой, найдут немало поле ного и интересного в рубриках «**Физика и техника в Украине**» и «**Энциклопедическая страница**».

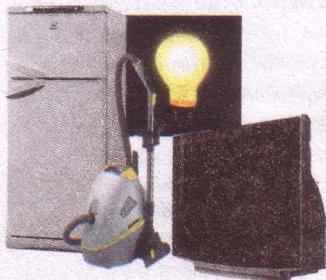
**Интересного путешествия в мир физики, удачи вам!**

# РАЗДЕЛ 1. ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ ПОЛЕ

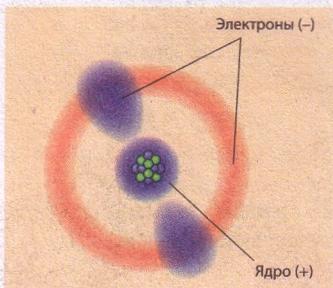
## § 1. ЗАРЯД И ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ



Из курса физики 7-го класса вы, возможно, помните о «таинственном» электромагнитном взаимодействии. Таинственным — поскольку тогда было сказано только то, что это взаимодействие определяет большинство процессов и явлений вокруг нас (рис. 1.1). Теперь вы будете знакомиться с электромагнитными явлениями подробнее. Для этого прежде всего нужно узнать, что такое электрический заряд (кстати, свойства и взаимодействие неподвижных электрических зарядов изучает *электростатика* — отдельный раздел физики). Известно, что горные инженеры и военные называют зарядом взрывчатку; иногда слово «заряд» используют для определения «запаса чувств» (заряд бодрости). А что же такое заряд в физике? Об этом вы узнаете из данного параграфа.



**Рис. 1.1.** Действие многих устройств, без которых невозможно представить жизнь современного человека, основано на электромагнитном взаимодействии



**Рис. 1.2.** Модель строения атома: электроны как бы «размазаны» по орбитали — некоторым частям пространства, окружающего ядро

### 1 Знакомимся с электромагнитным взаимодействием

Строение атома — элементарной составляющей любого вещества — вы уже изучали в курсах природоведения, физики, химии. Вспомним: атом любого вещества состоит из ядра, вокруг которого движутся электроны. Упрощенное строение атома представлено на рис. 1.2\*.

Понятно, что без взаимного притяжения электронов и ядра атом распался бы. Можно предположить, что такое притяжение обусловлено гравитационным взаимодействием. Однако это не так: электроны и ядро слишком легкие, а гравитационное взаимодействие ощутимо только в том случае, если хотя бы одно из взаимодействующих тел имеет большую массу, например, как звезда или планета. Атом не распадается благодаря взаимодействию другого типа. Это взаимодействие называют *электромагнитным*.

Но ведь ядро и электроны, из которых состоит атом, открыты сравнительно недавно, менее 150 лет назад. Неужели ученые не знали о существовании электромагнитного взаимодействия раньше? Конечно же, знали.

Более двадцати пяти веков назад греческий философ *Фалес* (ок. 625 — ок. 547 до н. э.) из

\* Рисунок 1.2 лишь приблизительно отражает современный уровень знаний, однако для курса физики 9-го класса эта модель является достаточной.

города Милет натирал мехом кусок янтаря и наблюдал, как после этого янтарь начинал притягивать к себе птичьи перья, пух, соломинки, сухие листья. По-гречески янтарь — электрон, поэтому процесс, в результате которого тела приобретают способность притягивать другие тела, назвали *электризацией тел*, а тела, имеющие эту способность, — *наэлектризованными*.

Из повседневной жизни вам хорошо известно, что после расчесывания сухих волос пластмассовой расческой последняя приобретает свойство притягивать к себе ворсинки, кусочки бумаги, волосинки и т. п. Аналогичное свойство приобретает эбонитовая палочка, потертая о шерсть, или палочка из оргстекла, потертая о шелк или бумагу (рис. 1.3).

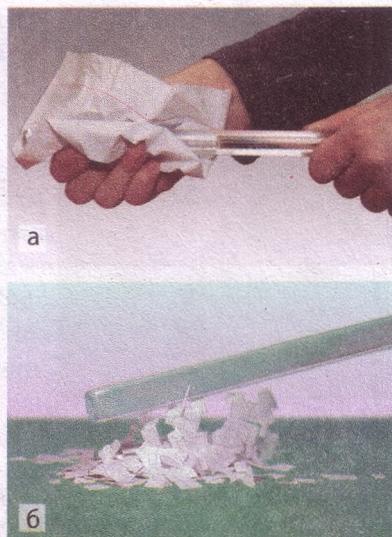
Некоторые из вас удивятся: а как связаны взаимодействие электрона и ядра с взаимодействием наэлектризованных расчески, палочки или янтаря и различных мелких предметов? Оказывается, что во всех случаях мы имеем дело с электромагнитным взаимодействием. Давайте разбираться почему.

## 2 Узнаем об электрическом заряде

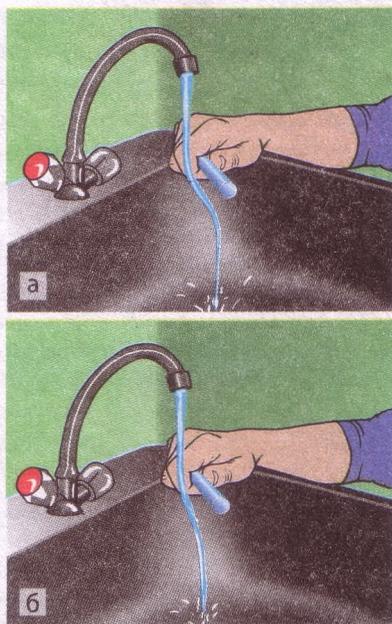
Опыты показывают, что наэлектризованные тела притягивают не только ворсинки, соломинки, кусочки бумаги, но и мелкие металлические предметы, комочки земли и даже тонкие струйки воды или масла. Обратите внимание на то, что интенсивность электромагнитного взаимодействия, например, наэлектризованной палочки и воды может быть разной: в опыте, изображенном на рис. 1.4, а, струя воды отклоняется больше, чем в опыте, изображенном на рис. 1.4, б.

Чтобы иметь возможность количественно определять интенсивность электромагнитного взаимодействия, была введена физическая величина — *электрический заряд*.

**Электрический заряд** — это физическая величина, характеризующая свойство частиц и тел вступать в электромагнитное взаимодействие.



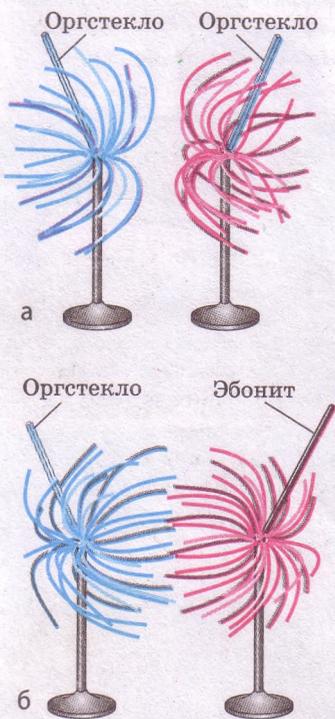
**Рис. 1.3.** Чтобы наэлектризовать палочку из оргстекла, достаточно потереть ее листом бумаги (а). После недолгого натирания палочка начинает притягивать к себе различные мелкие предметы (б)



**Рис. 1.4.** Интенсивность электромагнитного взаимодействия струи воды и наэлектризованной палочки может быть разной



**Рис. 1.5.** Шарль Огюстен Кулон (1736–1806) — французский физик и военный инженер. В 1785 г. сформулировал основной закон электростатики, позднее названный его именем



**Рис. 1.6.** Одноименно заряженные полоски бумаги отталкиваются (а); разноименно заряженные — притягиваются (б)

Единицей электрического заряда в СИ является **кулон** (Кл); она названа так в честь французского ученого *Ш. Кулона* (рис. 1.5). Эта единица является производной от основных единиц СИ (определение кулона будет дано в разделе 2 учебника). Обозначают электрический заряд символом  $q$ .

О наэлектризованном теле говорят, что *телу сообщен электрический заряд*. Следовательно, *электризация — это процесс приобретения макроскопическими телами электрического заряда*.

## 3

### Знакомимся с основными свойствами электрического заряда

1. *Существует два рода электрических зарядов — положительные и отрицательные*. Электрический заряд такого рода, как заряд, полученный на янтаре или эбонитовой палочке, потертых о шерсть, принято называть отрицательным, а такого рода, как заряд, полученный на палочке из оргстекла, потертой о бумагу, — положительным.

2. *Тела, имеющие заряды одного знака, отталкиваются; тела, имеющие заряды противоположных знаков, притягиваются* (рис. 1.6).

3. *Носителем электрического заряда является частица — электрический заряд не существует отдельно от нее*. То есть во время

электризации тело присоединяет или отдает некоторое количество частиц, имеющих электрический заряд\*. Одна из отрицательно заряженных частиц — *электрон*, а одна из положительно заряженных — *протон* (эта частица входит в состав атомного ядра). *Обычно во время электризации тело присоединяет или отдает некоторое количество электронов*.

4. *Электрический заряд является дискретным, то есть электрические заряды физических тел кратны определенному наименьшему (элементарному) заряду*. Носитель наименьшего отрицательного заряда — электрон. Этот заряд обычно обозначают символом  $e$ , а его значение записывают так:  $e = -1,6 \cdot 10^{-19}$  Кл. Носитель наименьшего положительного заряда — протон. Заряд протона по модулю равен заряду электрона.

\* В дальнейшем частицы, имеющие электрический заряд, будем называть *заряженными частицами*.

Таким образом, модуль заряда  $q$  любого тела равен:  $|q| = N|e|$ , где  $N$  — целое число. Микрочастиц или макроскопических тел с зарядом, например,  $-37,5 e$  или  $-17,7 e$  не существует, поскольку значения этих зарядов не являются кратными заряду электрона (протона).

5. *И микрочастицы, и макроскопические тела могут иметь заряд (положительный или отрицательный), а могут быть электронейтральными.* Например, электронейтральными частицами, заряд которых равен нулю, являются *нейтроны* (они вместе с протонами входят в состав ядра атома). В состав атомов входят обладающие зарядом протоны и электроны, однако сами атомы электронейтральны, поскольку в них количество электронов совпадает с количеством протонов. Если атом отдает один или несколько электронов, то он превращается в положительный ион, а если присоединяет, то превращается в отрицательный ион.

### Подводим итоги

Электрический заряд — это физическая величина, характеризующая свойство частиц и тел вступать в электромагнитное взаимодействие. Заряд обозначают символом  $q$  и измеряют в кулонах (Кл).

Процесс получения электрического заряда макроскопическими телами называют электризацией. Во время электризации тело обычно присоединяет или отдает некоторое количество электронов.

Различают два рода электрических зарядов: положительные и отрицательные заряды. Одноименно заряженные тела (частицы) отталкиваются, а разноименно заряженные — притягиваются.

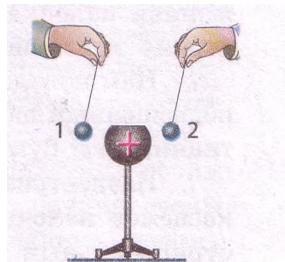
Электрический заряд является дискретным: существует минимальный (элементарный) электрический заряд, которому кратны все электрические заряды тел и частиц. Электрический заряд не существует отдельно от частицы; носителем элементарного отрицательного заряда является электрон, положительного — протон.

### Контрольные вопросы

1. Что называют электрическим зарядом?
2. Назовите единицу электрического заряда.
3. Какого рода заряды существуют?
4. Какой род заряда имеет эбонитовая палочка, потертая о шерсть? палочка из оргстекла, потертая о бумагу?
5. Как взаимодействуют тела, имеющие одноименные заряды? разноименные заряды?
6. Из каких частиц состоит атом?
7. Какие частицы входят в состав атомного ядра?
8. Какая частица имеет наименьший отрицательный заряд? наименьший положительный заряд?
9. Как вы понимаете утверждение, что электрический заряд является дискретным?
10. В каком случае атом превращается в положительный ион? отрицательный ион?

### Упражнение № 1

1. На рисунке изображены положительно заряженный шар и подвешенные на нитях шарики, имеющие заряды неизвестных знаков. Определите знаки зарядов шариков.
2. На тонкой шелковой нити висит заряженный бумажный шарик. Как, имея эбонитовую палочку и кусочек шерсти, определить знак электрического заряда шарика?
3. Атом Лития превратился в положительный ион Лития. Какие изменения произошли в атоме?





### Экспериментальное задание

Составьте план исследования характера взаимодействия заряженных тел. В качестве объектов для исследования возьмите бумажную и полиэтиленовую полоски размером около 4x15 см, подвешенную на нити полиэтиленовую полоску размером 2x3 см, пластмассовую ручку. Проведите соответствующий эксперимент.



### ФИЗИКА И ТЕХНИКА В УКРАИНЕ

Институт проблем машиностроения им. А. Н. Подгорного НАН Украины (Харьков) концентрирует свои усилия на повышении эффективности работы оборудования для электростанций. Исследуя процессы работы, скажем, турбин, ученые находят «узкие места», мешающие оборудованию эффективно работать, а потом, опираясь на законы физики, разрабатывают способы разрешения проблем.

Так, в рабочей среде паровых турбин сотрудники института первыми в мире обнаружили электрические заряды, отрицательно влияющие на мощность. Воспользовавшись «*эффектом острия*» (этот эффект описан в Энциклопедической странице к разделу 1 учебника), ученые разработали методы нейтрализации «вредных» зарядов. Такие усовершенствованные турбины (см. фото) работают, например, на Харьковской ТЭЦ-5 и ТЭЦ-2 в пос. Эсхар Харьковской области.

## § 2. ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ ПОЛЕ. ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ЗАРЯЖЕННЫХ ТЕЛ



Вы, наверное, замечали, как во время расчесывания сухие и чистые волосы «тянутся» за пластмассовой расческой. Понятно, что в этом случае происходит электризация: и волосы, и расческа приобретают электрический заряд. А вот почему волосы даже на расстоянии повторяют движения расчески (как кобра — движения дудочки индийского факира), вы узнаете из этого параграфа.

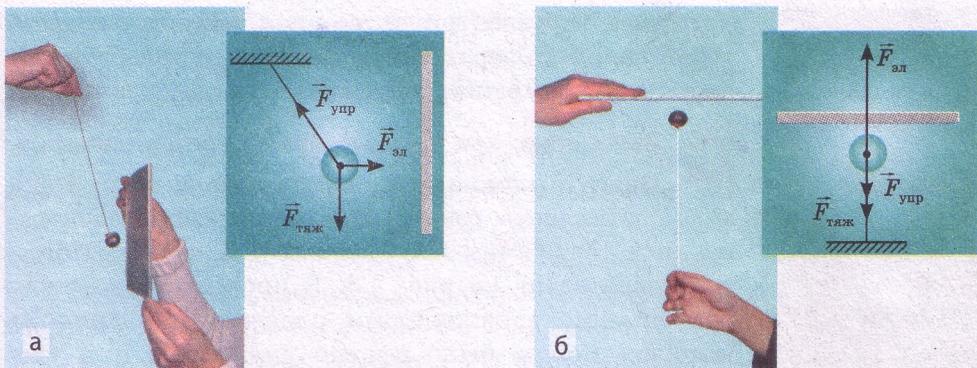
**1**

### Наблюдаем взаимодействие заряженных тел

Из § 1 вы узнали, что заряженная палочка притягивает незаряженные кусочки бумаги. Если вы проводили такой эксперимент, то наверняка обратили внимание на то, что кусочки бумаги «ощущали» приближение палочки заранее, еще до того, как палочка их касалась. То есть заряженная палочка действует на другие объекты на расстоянии! Выясним, почему это происходит.

Нам понадобятся натертый графитом маленький воздушный шарик, подвешенный на шелковой нити, эбонитовая палочка, кусочек шерстяной ткани, лист бумаги и пластина из оргстекла.

Наэлектризуем эбонитовую палочку, потерев ее о шерсть. Затем прикоснемся палочкой к подвешенному на нити шарик, — шарик получит отрицательный заряд. Потрем пластину из оргстекла бумагой — пла-



**Рис. 2.1.** Отрицательно заряженный шарик притягивается к положительно заряженной пластине из оргстекла. Шарик будет находиться в покое, когда сила тяжести  $\vec{F}_{\text{тяж}}$  и сила натяжения нити  $\vec{F}_{\text{упр}}$  будут скомпенсированы силой  $\vec{F}_{\text{эл}}$ , действующей на шарик со стороны наэлектризованной пластины

стина приобретет положительный заряд. Начнем медленно приближать пластину к шарик. По мере приближения нить, на которой подвешен шарик, начнет отклоняться от вертикали. Если остановить сближение, то шарик так и останется неестественно отклоненным (рис. 2.1, а). Более того, подняв пластину над шариком, мы можем заставить шарик замереть в еще более не естественном для него положении (рис. 2.1, б). Что же происходит? Почему шарик не возвращается в исходное положение? Вывод очевиден: на шарик, кроме силы тяжести и силы натяжения нити, со стороны наэлектризованной пластины действует третья сила ( $F_{\text{эл}}$ ).

## 2 Даем определение электрического поля

Из описанного выше эксперимента можно сделать вывод о том, что *наэлектризованная пластина вызывает определенные изменения в окружающем ее пространстве*. А именно: пространство изменяется таким образом, что на внесенный в него заряженный шарик начинает действовать некоторая сила. В этом случае говорят, что *в пространстве существует электрическое поле*.

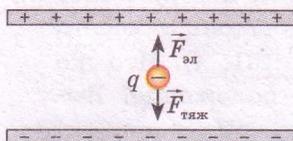
**Электрическое поле** — это особая форма материи, которая **существует** вокруг заряженных тел или частиц и действует с некоторой силой на другие частицы или тела, обладающие электрическим зарядом.

Таким образом, электрическое взаимодействие наэлектризованной пластины и заряженного шарика осуществляется посредством электрического поля. Когда заряженный шарик попадает в электрическое поле наэлектризованной пластины, это поле начинает действовать на него с некоторой силой и в результате шарик отклоняется.

Нужно иметь в виду, что не только заряженная пластина своим электрическим полем действует на заряженный шарик,— шарик своим электрическим полем тоже действует на пластину. (Объясните, почему пластина при этом не отклоняется.)



**Рис. 2.2.** Роберт Эндрюс Милликен (1888–1953) — американский физик-экспериментатор. За точное измерение заряда электрона получил Нобелевскую премию (1923 г.)



**Рис. 2.3.** Схема опыта Р. Милликена по определению заряда электрона

Тот факт, что электрическое поле действует с некоторой силой на заряженные частицы и тела, ученые использовали, чтобы определить заряд электрона.

### 3 Выясняем, как был измерен заряд электрона

Опыт, с помощью которого американский физик *Р. Милликен* (рис. 2.2) измерил заряд электрона, был разработан им в начале XX в. Схема опыта представлена на рис. 2.3. В пространство между разноименно заряженными пластинами, заряд на которых можно было плавно уменьшать или увеличивать, с помощью специального пульверизатора ученый впрыскивал масло. При впрыскивании образовывались очень маленькие капельки, и некоторые из них имели отрицательный заряд. Наблюдение за отдельной отрицательно заряженной каплей ученый проводил с помощью микроскопа.

На каплю, попавшую в пространство между пластинами, действуют две силы: сила тяжести  $F_{тяж}$  и сила  $F_{эл}$  со стороны электрического поля, созданного заряженными пластинами; причем сила  $F_{эл}$  направлена вверх, а сила  $F_{тяж}$  — вниз. Плавно увеличивая или уменьшая заряд пластин, Милликен добивался остановки капли. Понятно, что это происходило тогда, когда сила со стороны электрического поля уравнивала силу тяжести ( $F_{эл} = F_{тяж}$ ). Учитывая равенство сил и то, что сила  $F_{эл}$ , действующая на каплю, пропорциональна ее заряду, ученый вычислял заряд капли.

Многokrатно повторяя измерения (историки утверждают, что опыты продолжались почти 4 года), Милликен установил, что каждый раз заряд  $q$  капли был кратным некоторому наименьшему заряду  $e = -1,60210 \cdot 10^{-19}$  Кл. То есть  $q = Ne$ , где  $N$  — целое число.

Исследуемые капли масла были заряжены отрицательно, то есть имели избыточное количество электронов. Поэтому ученый сделал вывод, что наименьший заряд — это заряд электрона.

Независимо от Милликена такие же измерения проводил российский физик *А. Ф. Иоффе* (рис. 2.4), только вместо капель масла он использовал металлическую пыль. Важным результатом работ этих ученых было не только точное измерение заряда электрона, но и доказательство *дискретной природы электрического заряда*.

### 4 Узнаём о влиянии электрического поля на организмы

Экспериментально доказано, что поверхность Земли заряжена отрицательно, а верхние слои атмосферы — положительно. Следовательно, в атмосфере Земли существует электрическое поле. С развитием цивили-

лизации это естественное поле увеличилось за счет электрических полей, которые создаются различными электротехническими устройствами, используемыми человеком.

Сегодня известно, что клетки и ткани организма человека тоже создают вокруг себя электрические поля. Регистрацию и измерение этих полей широко применяют при диагностике различных заболеваний (электроэнцефалография, электрокардиография, электроретинография и т. д.).

Мы, таким образом, живем в настоящей паутине, сотканной из огромного количества электрических полей. Долгое время считалось, что они не влияют на организм, однако сейчас установлено, что действие внешнего электрического поля на клетки и ткани организма человека, особенно длительное, приводит к негативным последствиям.

Например, во время работы компьютера на экране монитора накапливается электрический заряд, образующий электрическое поле. Клавиатура и компьютерная мышь тоже электризуются в результате трения. Под влиянием этих электрических полей у пользователя изменяются гормональное состояние и биотоки мозга, что приводит к ухудшению памяти, повышенной утомляемости и т. д. Продолжительная работа за компьютером может привести к заболеваниям нервной, сердечно-сосудистой, иммунной и других систем организма.

Что же делать? Ведь совсем отказаться от работы за компьютером, просмотра телевизора, использования бытовой техники, которая тоже является источником электрических полей, очень трудно. Решить проблему можно, ослабив электрическое поле, например, путем повышения влажности воздуха или применения антистатиков. Более эффективный, но и более дорогой выход — искусственная ионизация воздуха, насыщение его легкими отрицательными ионами. С этой целью применяют ионизаторы воздуха (аэроионизаторы).

### Подводим итоги

Если в пространстве проявляется действие сил на электрические заряды, то говорят, что в пространстве существует электрическое поле.

Электрическое поле — это особая форма материи, которая существует вокруг заряженных тел или частиц и действует с определенной силой на другие частицы или тела, имеющие электрический заряд.

Тот факт, что электрическое поле действует с определенной силой на заряженные частицы и тела, был использован Р. Милликеном и А. Ф. Иоффе для определения заряда электрона ( $e = -1,6 \cdot 10^{-19}$  Кл) и доказательства дискретности электрического заряда.



**Рис. 2.4.** Абрам Федорович Иоффе (1880–1960) — российский, советский физик, родился в Украине. Внес значительный вклад в развитие физики диэлектриков и полупроводников, инициировал создание физико-технических институтов в Харькове и Днепропетровске

От влияния внешних электрических полей зависят общее самочувствие человека, внимание, трудоспособность, функциональное состояние основных систем организма.



### Контрольные вопросы

1. Как экспериментально доказать, что тела, имеющие электрический заряд, взаимодействуют даже на расстоянии? 2. Что такое электрическое поле? 3. Как определить, существует ли в данной точке пространства электрическое поле? 4. Кто впервые измерил заряд электрона? 5. Опишите эксперимент, доказывающий, что электрический заряд является дискретным. 6. Какое влияние на организм человека оказывают электрические поля, создаваемые различными электротехническими устройствами?



### Упражнение № 2

1. Может ли частица иметь электрический заряд, равный  $8 \cdot 10^{-19}$  Кл?  $-2,4 \cdot 10^{-19}$  Кл?  $2,4 \cdot 10^{-18}$  Кл? Почему?
2. Какому количеству элементарных зарядов соответствует заряд, равный 1 Кл?
3. С какой силой взаимодействовали капелька масла и заряженные пластины в опыте Р. Милликена, если масса капельки 0,3 мг?



### Экспериментальное задание

- 1...Предложите несколько индикаторов электрического поля, испытайте их.
2. Приготовьте распушенный кусочек ваты диаметром не более 1 см и поместите его на наэлектризованную пластмассовую линейку. Резко встряхнув линейку, добейтесь, чтобы вата начала «плавать» над ней в воздухе. Объясните наблюдаемое явление. Выполните рисунок, на котором укажите силы, действующие на вату.

## § 3. МЕХАНИЗМ ЭЛЕКТРИЗАЦИИ. ЭЛЕКТРОСКОП



**Рис. 3.1.** Уильям Гильберт (1544–1603) — английский физик и врач, основатель науки об электричестве



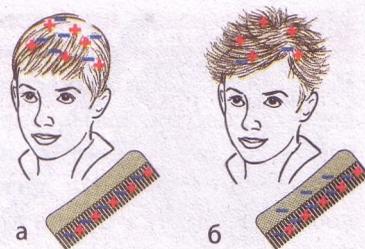
Считается, что систематическое изучение электромагнитных явлений первым начал английский ученый У. Гильберт (рис. 3.1). Однако объяснить электризацию тел смогли три века спустя. После открытия электрона физики выяснили, что часть электронов может сравнительно легко отрываться от атома или присоединяться к нему, превращая нейтральный атом в заряженную частицу — ион. А вот как происходит электризация макроскопических тел, вы узнаете из этого параграфа.



### 1 Рассматриваем электризацию трением

Вооружившись знаниями о строении атома, рассмотрим процесс *электризации трением*. Возьмем эбонитовую палочку и потрем ее шерстяной тканью. Вы уже знаете, что в этом случае палочка приобретает отрицательный заряд. Выясним, что вызвало возникновение этого заряда.

Оказывается, что в случае тесного контакта двух тел, изготовленных из разных материалов, часть электронов переходит с одного тела на другое. (Расстояния, на которые при этом перемещаются электроны, не превышают межатомных расстояний.) Если тела после контакта разъединить, то они окажутся заряженными: *тело, отдавшее часть своих электронов, будет заряжено положительно, а тело, получившее их, — отрицательно*. Шерсть удерживает электроны слабее, чем эбонит, поэтому при контакте электроны в основном переходят с шерстяной ткани на эбонитовую палочку, а не наоборот. В результате после разъединения палочка оказывается заряженной отрицательно, а шерсть — положительно. Аналогичного результата можно достичь, если расчесать сухие волосы пластмассовой расческой (рис. 3.2).



**Рис. 3.2.** Перед расчесыванием количество положительных зарядов на волосах и расческе равно количеству отрицательных (а); во время расчесывания часть электронов с волос перейдет на расческу, в результате чего волосы зарядятся положительно, а расческа — отрицательно (б)

Следует отметить, что общепринятое выражение «электризация трением» не совсем точно, — правильнее было бы говорить об «электризации прикосновением», так как трение тел друг о друга необходимо только для того, чтобы увеличить количество участков их тесного контакта.

## 2 Формулируем закон сохранения электрического заряда

Если перед началом опыта, описанного в п. 1, палочка и шерстяная ткань были не заряжены, то в конце опыта они окажутся заряженными, причем их заряды будут равны по модулю и противоположны по знаку. То есть их суммарный заряд, как и до опыта, будет равен нулю.

В результате многочисленных опытов физики выяснили, что *во время электризации происходит перераспределение имеющихся электрических зарядов, а не создание новых*. Таким образом, выполняется **закон сохранения электрического заряда**:

Полный заряд замкнутой системы тел или частиц **остается неизменным** при любых взаимодействиях, происходящих в этой системе:

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

где  $q_1, q_2, \dots, q_n$  — заряды тел или частиц, образующих замкнутую систему ( $n$  — количество таких тел или частиц).

*Под замкнутой системой понимают такую систему тел или частиц, которые взаимодействуют только друг с другом, то есть не взаимодействуют с другими телами или частицами.*

3

### Заземляем приборы и устройства. Различаем проводники и диэлектрики

Если взять металлический стержень и, удерживая его в руке, попробовать наэлектризовать, окажется, что это невозможно. Дело в том, что металлы — это вещества, имеющие множество так называемых *свободных электронов*, которые легко перемещаются по всему объему металла. Подобные вещества принято называть *проводниками*. Попытка наэлектризовать металлический стержень, удерживая его в руке, приведет к тому, что избыточные электроны очень быстро «убегут» со стержня, и он останется незаряженным. «Дорогой для бегства» электронов служит сам исследователь, поскольку тело человека — это проводник\*. Обычно «конечный пункт» для электронов — Земля, которая тоже является проводником. Ее размеры огромны, поэтому любое заряженное тело, если его соединить проводником с землей, спустя некоторое время станет практически электронейтральным (незаряженным): тела, заряженные положительно, получают от земли некоторое количество электронов, а с тел, заряженных отрицательно, избыточное количество электронов уйдет в землю.

Технический прием, позволяющий разрядить любое заряженное тело путем соединения этого тела проводником с землей, называют *заземлением*.

В некоторых случаях, например, чтобы зарядить проводник или сохранить на нем заряд, заземления следует избегать. Для этого используют тела, изготовленные из *диэлектриков*. В диэлектриках (их еще называют изоляторами) свободные электроны практически отсутствуют. Поэтому если между землей и заряженным телом поставить барьер в виде изолятора, то свободные электроны не смогут покинуть проводник (или попасть на него) и проводник останется заряженным.

Стекло, оргстекло, эбонит, янтарь, резина, бумага — диэлектрики, поэтому в опытах по электростатике их легко наэлектризовать — заряд с них не стекает. (Подробнее о проводниках и диэлектриках вы узнаете, изучая раздел 2 учебника.)

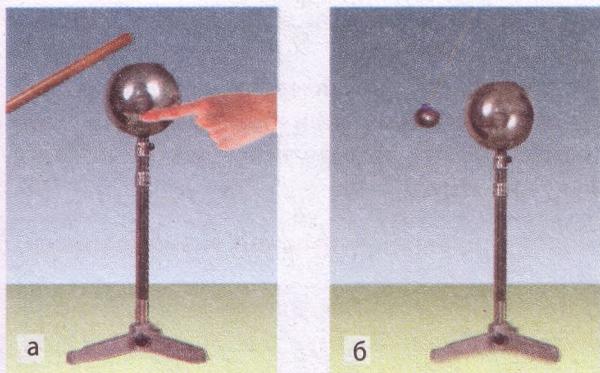
4

### Узнаем об электризации через влияние

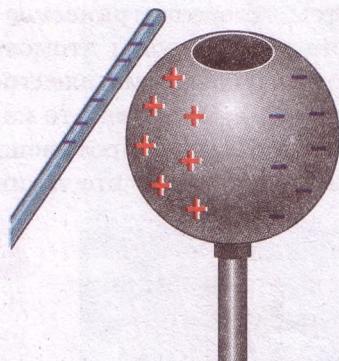
Проведем опыт. Приблизим отрицательно заряженную эбонитовую палочку к незаряженной металлической сфере, расположенной на изолированной подставке. На короткое время прикоснемся рукой к части сферы, удаленной от заряженного тела (рис. 3.3, *а*), а затем уберем заряженную палочку. Отклонение положительно заряженного легкого шарика покажет, что сфера получила положительный заряд (рис. 3.3, *б*). Обратите внимание: знак заряда сферы является противоположным знаку заряда эбонитовой палочки.

Поскольку в данном случае непосредственного контакта между заряженным и незаряженным телами не было, описанный процесс называют *электризацией через влияние или электростатической индукцией*.

\* Поскольку тело человека является проводником, опыты с электричеством могут оказаться опасными для их участников!



**Рис. 3.3.** Электризация сферы через влияние (а); индикатором наличия заряда служит положительно заряженный легкий шарик — он отклоняется от сферы, следовательно, сфера тоже заряжена положительно (б)

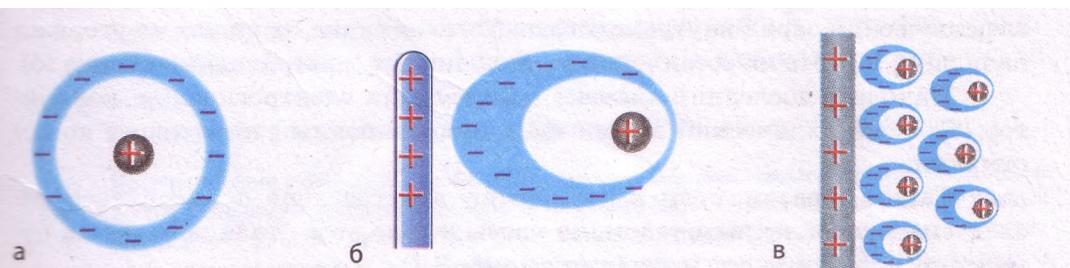


**Рис. 3.4.** Под действием электрического поля отрицательно заряженной палочки ближняя к ней часть металлической сферы приобретает положительный заряд

Данный вид электризации объясняется следующим образом. Под действием электрического поля отрицательно заряженной палочки свободные электроны перераспределяются по поверхности металлической сферы. Электроны имеют отрицательный заряд, поэтому они отталкиваются от отрицательно заряженной палочки. В результате количество электронов станет избыточным на удаленной от палочки части сферы и недостаточным — на ближней (рис. 3.4). Если прикоснуться к сфере рукой, то некоторое количество свободных электронов перейдет со сферы на тело исследователя. В итоге на сфере возникнет недостаток электронов и она станет положительно заряженной.

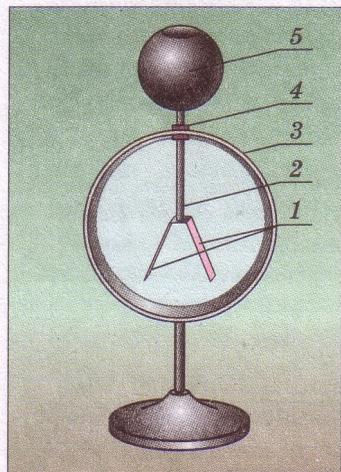
Выяснив механизм электризации через влияние, вам, наверное, нетрудно будет объяснить, почему незаряженное металлическое тело всегда притягивается к телу, имеющему электрический заряд.

Сложнее объяснить, почему к наэлектризованной палочке притягиваются кусочки бумаги, ведь известно, что бумага является диэлектриком и поэтому практически не содержит свободных электронов. Дело



**Рис. 3.5.** Под действием внешнего электрического поля форма электронного облака меняется. Форма электронного облака: при отсутствии поля (а); при наличии поля (б). На той части бумаги, которая расположена ближе к положительно заряженной палочке, образуется отрицательный заряд (в)

в том, что электрическое поле заряженной палочки действует на связанные электроны атомов, из которых состоит бумага, вследствие чего изменяется форма электронного облака — оно становится вытянутым (рис. 3.5). В результате на ближней к палочке части кусочка бумаги образуется заряд, противоположный по знаку заряду палочки, и поэтому бумага начинает притягиваться к палочке.



**Рис. 3.6.** Устройство электро-скопа: 1 — индикатор (по-лоски бумаги); 2 — металли-ческий стержень; 3 — корпус; 4 — изолятор; 5 — кондуктор

## 5 Конструируем электроскоп и знакомимся с электрометром

До сих пор для изучения электрических явлений вы использовали подручные средства. Однако ваших знаний уже достаточно, чтобы понять принцип действия приборов, которые позволяют изучать не только качественные, но и количественные характеристики заряженных тел.

Чтобы определить, имеет ли тело электрический заряд, издавна используют *электроскоп* (рис. 3.6). Объясним его устройство.

Любые электрические явления неразрывно связаны с электрическим полем. В § 2 речь шла о том, что электрическое поле можно обнаружить по отклонению легкого заряженного шарика. Однако шарик — это не очень удобный индикатор, поэтому лучше использовать две полоски бумаги (1). После прикосновения к ним заряженного тела часть заряда попадет на каждую полоску. Одноименно заряженные тела отталкиваются,

поэтому нижние концы бумажных полосок разойдутся в разные стороны.

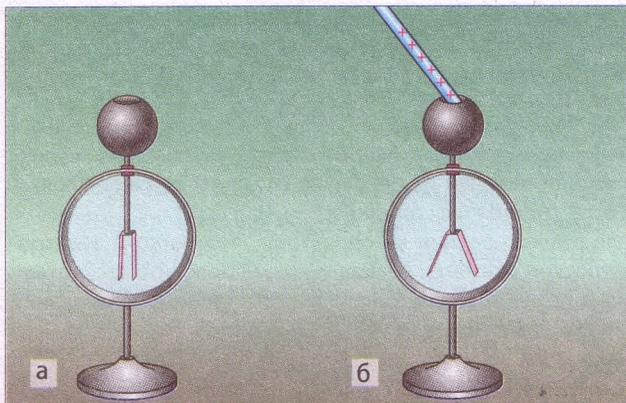
Чтобы сделать прибор как можно более чувствительным, для полосок следует взять очень тонкую бумагу. Однако тогда полоски будут реагировать на сквозняки или даже дыхание наблюдателя. Поэтому индикатор располагают в корпусе (3) с прозрачными боковыми стенками.

А вот чтобы донести заряд к индикатору, используют проводник: к одному концу металлического стержня (2) прикрепляют индикатор, а второй выводят наружу. Таким образом получают возможность передавать электрический заряд внутрь корпуса. А чтобы заряд не стекал со стержня на корпус, в месте их соединения устанавливают барьер из диэлектрика (4).

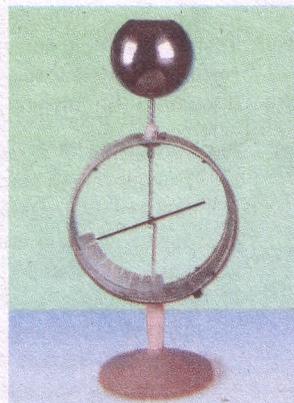
Наконец, последний элемент конструкции электроскопа — кондуктор (5) — металлический полый шар, прикрепленный к верхнему концу стержня.

Таким образом, если к кондуктору электроскопа прикоснуться исследуемым заряженным телом, то часть заряда этого тела попадет на бумажные полоски и они разойдутся (рис. 3.7).

Обратите внимание, что угол между полосками зависит от значения полученного ими заряда. Этот угол тем больше, чем больше полученный заряд. Такая зависимость позволяет модернизировать электроскоп и приме-



**Рис. 3.7.** Если электроскоп не заряжен, то полоски бумаги расположены вертикально (а); прикосновение заряженного тела к кондуктору электроскопа приведет к расхождению полосок (б)



**Рис. 3.8.** Электрометр

нять его для количественных измерений. Для этого бумажные полоски заменяют легкой металлической стрелкой, а на передней стенке корпуса размещают шкалу, благодаря которой можно оценивать значение переданного на электроскоп заряда. Такой прибор называют *электрометром* (рис. 3.8).

### **Подводим итоги**

Если электронейтральное (то есть не имеющее заряда) тело отдает часть своих электронов, то оно становится заряженным положительно, а если получает электроны, то становится заряженным отрицательно.

Во время электризации тел происходит перераспределение имеющихся в них электрических зарядов, а не создание новых. Для изолированной системы тел или частиц выполняется закон сохранения электрического заряда: полный заряд замкнутой системы тел или частиц остается неизменным при любых взаимодействиях, происходящих в системе.

В зависимости от электрических свойств вещества делятся на проводники и диэлектрики. Технический прием, позволяющий разрядить любое заряженное тело путем соединения этого тела проводником с землей, называют заземлением.

Электризацию, при которой нет непосредственного контакта между телами, называют электризацией через влияние или электростатической индукцией.

Электроскоп — прибор для выявления электрического заряда.

### **Контрольные вопросы**

1. Что и почему происходит во время контакта двух тел, изготовленных из разных материалов?
2. Заряд какого знака будет иметь электронейтральное тело, если отдаст часть своих электронов?
3. Почему во время трения эбонитовой палочки о шерстяную ткань электризуются оба тела?
4. Сформулируйте закон сохранения электрического заряда.
5. Чем проводники отличаются от диэлектриков?
6. Что называют заземлением?
7. Как можно наэлектризовать металлическое тело? Какие условия при этом

необходимо соблюдать? 8. Как с помощью отрицательно заряженного тела зарядить другое тело положительно? 9. Объясните, почему любое незаряженное тело всегда притягивается к телу, имеющему электрический заряд. 10. Как сконструирован электроскоп и каков принцип его действия? 11. Чем электромметр отличается от электроскопа?

### Упражнение № 3

- Отличается ли масса незаряженной палочки из оргстекла от массы той же палочки, заряженной положительно? Если отличается, то как?
- Может ли быть так, что после прикосновения к кондуктору заряженного электроскопа каким-либо телом электроскоп окажется незаряженным? Поясните свой ответ.
- Электроскопу сообщили положительный заряд (рис. 1, а). Затем к нему приблизили другую заряженную палочку (рис. 1, б). Определите знак заряда этой палочки.
- Объясните принцип действия бытового средства, которое препятствует электризации одежды.
- Два одинаковых проводящих заряженных шарика соприкоснулись и сразу же разошлись. Вычислите заряд каждого шарика после соприкосновения, если до него заряд первого шарика был равен  $-3 \cdot 10^{-9}$  Кл, а второго  $-9 \cdot 10^{-9}$  Кл.
- Машинист поезда рассказывает, что при перевозке бензина всегда существует опасность пожара и поэтому все железнодорожные цистерны оснащены стальными цепями, нижние концы которых несколькими звеньями касаются земли. Что в рассказе машиниста правдоподобно, а что нет? Поясните свой ответ.
- Незаряженная гильза из фольги висит на шелковой нити. К ней приближают заряженную палочку. Опишите и объясните дальнейшее поведение гильзы.
- \*. Как с помощью отрицательно заряженного металлического шарика, не уменьшая его заряда, отрицательно зарядить другой такой же шарик?

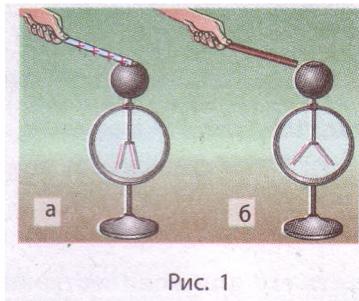


Рис. 1

### Экспериментальные задания

- Из стеклянной банки с капроновой крышкой изготовьте электроскоп (рис. 2). В качестве стержня электроскопа можно использовать спицу для вязания, а вместо полосок бумаги — узкие полоски фольги. Испытайте изготовленный вами электроскоп.
- К слабой струе воды из водопроводного крана поднесите наэлектризованную динежку или наэлектризованную расческу. Опишите и объясните наблюдаемое явление.



Рис. 2

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1

**Тема.** Исследование взаимодействия заряженных тел.

**Цель;** исследовать характер взаимодействия двух заряженных тел, а также заряженного и незаряженного тел.

**Оборудование:** два воздушных шарика, шелковые нити, две эбонитовые палочки, две палочки из оргстекла, кусочек натурального меха или шерстяной ткани, лист бумаги, мелко нарезанная бумага, штатив с муфтами и лапками.



## УКАЗАНИЯ К РАБОТЕ

### II Подготовка к эксперименту

1. Прежде чем приступить к выполнению работы, убедитесь, что вы знаете ответы на следующие вопросы.
  - 1) Что называют электризацией?
  - 2) Заряд какого знака имеет эбонитовая палочка, потертая о шерсть?
  - 3) Заряд какого знака имеет палочка из оргстекла, потертая о бумагу?
2. Привяжите шелковые нити к палочке из оргстекла и к эбонитовой палочке и закрепите нити в лапках штатива.

### ▶ Эксперимент

1. Исследуйте взаимодействие заряженных тел. Для этого сделайте следующее.
  - 1) Зарядите обе эбонитовые палочки, потерев их шерстяной тканью или мехом. Медленно поднесите эбонитовую палочку к эбонитовой палочке, подвешенной на нити. Опишите и объясните наблюдаемое явление.
  - 2) Зарядите обе палочки из оргстекла, потерев их бумагой. Медленно поднесите палочку из оргстекла к такой же палочке, подвешенной на нити. Опишите и объясните наблюдаемое явление.
  - 3) Медленно поднесите к заряженной палочке из оргстекла, подвешенной на нити, заряженную эбонитовую палочку. Опишите и объясните наблюдаемое явление.
  - 4) Наэлектризуйте надутые воздушные шарики трением о шерсть или мех.
  - 5) Возьмите шары за нити, расположите их на одном уровне. Медленно поднесите шары друг к другу. Опишите и объясните наблюдаемое явление.
2. Исследуйте взаимодействие заряженного и незаряженного тел. Для этого сделайте следующее.
  - 1) Поднесите заряженный воздушный шарик к мелко нарезанной бумаге. Объясните наблюдаемое явление.
  - 2) Слегка прижмите к стене заряженный воздушный шарик и отпустите его. Объясните наблюдаемое явление.

### □ Анализ эксперимента и его результатов

Проанализируйте результаты эксперимента, сделайте вывод о характере взаимодействия одноименно и разноименно заряженных тел, а также заряженного и незаряженного тел.

### + Творческое задание

Исследуйте зависимость силы взаимодействия заряженных тел от модулей их зарядов. Для этого воспользуйтесь двумя небольшими шариками диаметром около 2 см, изготовленными из кусочков воздушного шарика и натертыми графитовой стружкой до металлического блеска. Запишите план проведения исследования.

## § 4. ЗАКОН КУЛОНА



Чтобы завести механические часы, закручивают пружину их механизма; чтобы меньше трясло в автомобиле, применяют специальные устройства — торсионы. «Постойте, — скажете вы, — мы же изучаем электричество, а пружины — это механика». Не торопитесь! Из этого параграфа вы узнаете, как изучение упругих свойств проволоки помогло установить один из фундаментальных законов электростатики.

### 1

#### Вводим понятие точечного заряда

До конца XVIII в. электрические явления изучались только качественно, а электрические машины чаще всего выполняли роль игрушек для развлечения аристократии. Переход к количественным характеристикам, а потом и к практическому применению электричества стал возможен только после того, как французский исследователь Ш. Кулон (см. рис. 1.5) в 1785 г. установил *закон взаимодействия точечных зарядов*. После установления этого закона учение об электричестве превратилось в точную науку.

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

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

Исходя из этого определения капельку масла в опыте Р. Милликена (см. § 2, п. 3) можно рассматривать как точечный заряд, а вот заряженные пластины — нельзя.

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

### 2\*

#### Знакомимся с конструкцией крутильных весов

Военный инженер Ш. Кулон начал проводить свои исследования в области, весьма далекой от электростатики. Он изучал закономерности упругого кручения нитей и установил зависимость силы упругости от угла закручивания. Полученные результаты позволили Кулону сконструировать чрезвычайно чувствительный прибор, который он назвал *крутильными весами* (рис. 4.1, а). Позднее ученый использовал крутильные весы для измерения силы взаимодействия точечных зарядов.

### 3\* Узнаём, от чего зависит сила взаимодействия двух точечных зарядов

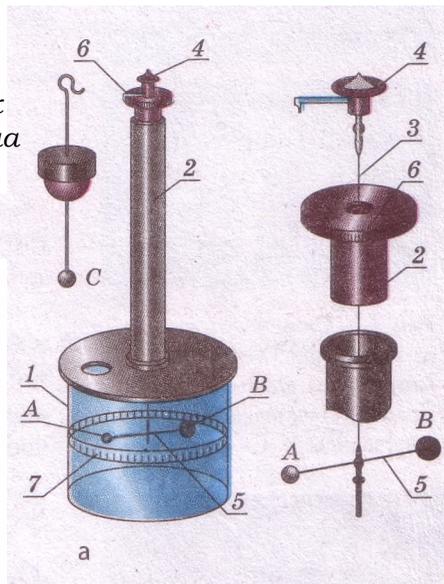
В своих опытах Кулон наблюдал взаимодействие заряженных шариков. Условия опытов позволяли считать эти шарики точечными зарядами. Опыт ученый проводил так. В стеклянный цилиндр на специальном держателе помещался заряженный шарик *C* (рис. 4.1, б). Поворачивая верхнюю крышку цилиндра, исследователь добивался, чтобы шарики *A* и *C* соприкоснулись и часть заряда с шарика *C* перешла на шарик *A*. Одноименные заряды отталкиваются, поэтому шарики расходились на некоторое расстояние. По углу закручивания провода Кулон определял силу взаимодействия зарядов.

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

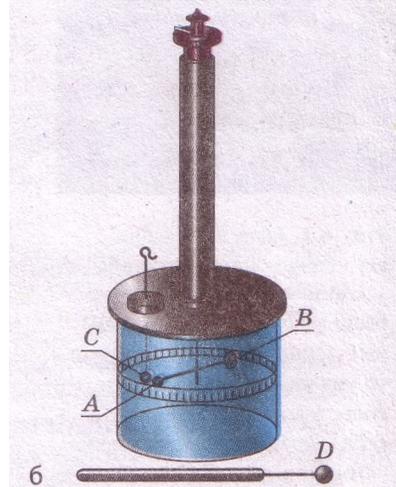
Проведя немало подобных опытов, Кулон сделал вывод, что *сила  $F$  взаимодействия двух точечных зарядов обратно пропорциональна квадрату расстояния  $R$  между ними:*

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

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



**Рис. 4.1.** *a* — устройство крутильных весов. Прибор смонтирован в стеклянном цилиндре (7). К верхней крышке цилиндра прикреплена трубка (2), внутри которой размещен упругий провод (3), прикрепленный к поворачивающейся головке (4). К нижнему концу провода подвешено коромысло (5), на концах которого размещают исследуемый объект (шарик *A*) и противовес (*B*). Сквозь отверстие в крышке опускают шарик *C*. Углы закручивания определяют с помощью двух шкал с градусными делениями: первая (6) расположена на верхней поворачивающейся крышке, вторая (7) — на боковой поверхности стеклянного цилиндра; *б* — крутильные весы во время опыта Кулона



на шарике С оставался заряд  $\frac{q}{2}$ . После этого Кулон измерял силу взаимодействия зарядов  $q$  и  $\frac{q}{2}$ .

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

$$F \sim q_1 q_2.$$

4

**Формулируем закон Кулона**

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

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

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

где  $k$  — коэффициент пропорциональности. Если  $q_1 = q_2 = 1$  Кл, а  $R = 1$  м, то  $\{F\} = \{k\}$ . То есть коэффициент пропорциональности численно равен силе, с которой взаимодействуют два точечных заряда по 1 Кл каждый, расположенные в вакууме\* на расстоянии 1 м друг от друга. Было установлено, что при взаимодействии точечных зарядов в вакууме  $k = 9 \cdot 10^9 \frac{\text{Н} \cdot \text{м}^2}{\text{Кл}^2}$ .

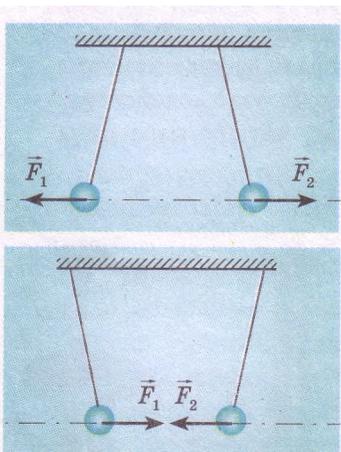
Обратите внимание: в законе Кулона речь идет о произведении модулей зарядов, поскольку знаки зарядов влияют лишь на направление силы.

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

Силы Кулона направлены вдоль условной прямой, которая соединяет взаимодействующие точечные заряды (рис. 4.2).

Зная значение коэффициента  $k$ , можно оценить силу, с которой два заряда по 1 Кл каждый взаимодействуют на расстоянии 1 м. Это очень большая сила! Она равна, например, силе тяжести, действующей на большой корабль (рис. 4.3).

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



**Рис. 4.2.** Силы электрического взаимодействия ( $\vec{F}_1$  и  $\vec{F}_2$ ) направлены вдоль условной прямой, соединяющей точечные заряды



**Рис. 4.3.** Если бы на днище судна и на расстоянии 1 м под его днищем можно было разместить одноименные заряды по 1 Кл каждый, то удалось бы преодолеть силы земного тяготения и без каких-либо специальных устройств поднять судно

## 5 Учимся решать задачи

**Задача.** Два небольших отрицательно заряженных шарика, расположенные в воздухе на расстоянии 30 см друг от друга, взаимодействуют с силой 0,32 Н. Вычислите количество избыточных электронов на втором шарике, если заряд первого шарика равен  $4 \cdot 10^{-6}$  Кл. Шарика считать точечными зарядами.

Дано:

$$R = 0,3 \text{ м}$$

$$F = 0,32 \text{ Н}$$

$$q_1 = 4 \cdot 10^{-6} \text{ Кл}$$

$$e = -1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$$

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

$$N_2 = ?$$

*Анализ физической проблемы*

Чтобы определить количество избыточных электронов, вспомним, что электрический заряд является дискретным:  $|q| = N|e|$ , где  $N$  — количество избыточных электронов, а  $e = -1,6 \cdot 10^{-19}$  Кл.

Для определения заряда  $q$  воспользуемся законом Кулона.

*Поиск математической модели, решение*

$$F = k \frac{|q_1| \cdot |q_2|}{R^2}. \text{ Следовательно, } |q_2| = \frac{FR^2}{k|q_1|} \quad (1).$$

$$\text{Поскольку } |q_2| = N_2|e|, \text{ то } N_2 = \frac{|q_2|}{|e|} \quad (2).$$

После подстановки (2) в (1):

$$N_2 = \frac{FR^2}{k|q_1| \cdot |e|}.$$

Определим значение искомой величины:

$$[N_2] = \frac{\text{Н} \cdot \text{м}^2}{\frac{\text{Н} \cdot \text{м}^2}{\text{Кл}^2} \cdot \text{Кл} \cdot \text{Кл}} = 1; \quad \{N_2\} = \frac{0,32 \cdot 0,09}{9 \cdot 10^9 \cdot 4 \cdot 10^{-6} \cdot 1,6 \cdot 10^{-19}} = 5 \cdot 10^{12}.$$

**Ответ:** на втором шарике  $5 \cdot 10^{12}$  избыточных электронов.

## ! Подводим итоги

Точечным зарядом называют заряженное тело, размерами которого можно пренебречь в сравнении с расстояниями от него до других рассматриваемых заряженных тел.

Закон взаимодействия неподвижных точечных зарядов был установлен Ш. Кулоном с помощью специально сконструированных крутильных весов. Закон Кулона: сила взаимодействия  $F$  двух неподвижных точечных зарядов  $q_1$  и  $q_2$  прямо пропорциональна произведению модулей этих зарядов и обратно пропорциональна квадрату расстояния  $R$  между ними:

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

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

## ? Контрольные вопросы

1. Какой заряд называют точечным? Сравните понятия «точечный заряд» и «материальная точка».
- 2\*. Опишите строение и принцип действия крутильных весов.
- 3\*. Как Ш. Кулон доказал, что сила взаимодействия двух точечных зарядов обратно пропорциональна квадрату расстояния между ними?
- 4\*. Опишите прием, который применил

Ш. Кулон, чтобы выяснить зависимость силы взаимодействия двух точечных зарядов от модулей этих зарядов. 5. Сформулируйте закон Кулона, 6. Почему, формулируя закон Кулона, нужно обязательно использовать понятие «точечный заряд»?



#### Упражнение № 4

(При решении задач данного упражнения считайте, что имеете дело с неподвижными точечными зарядами.)

1. С какой силой будут взаимодействовать два заряда по  $1 \cdot 10^{-4}$  Кл каждый, если их расположить в вакууме на расстоянии 1 м друг от друга?
2. Как изменится сила взаимодействия двух зарядов, если увеличить каждый из них в 2 раза, а расстояние между ними – в 4 раза?
3. Как изменилось расстояние между двумя зарядами, если известно, что сила их взаимодействия увеличилась в 9 раз?
4. Два шарика, расположенные на расстоянии 10 см друг от друга, имеют одинаковые отрицательные заряды. Определите силу взаимодействия шариков, если известно, что на каждом из них имеется  $1 \cdot 10^{11}$  избыточных электронов.
- 5\*. Два одинаковых металлических шарика заряжены так, что заряд одного из них в 5 раз больше, чем заряд другого. Шарики привели в соприкосновение и вернули в исходное положение. Во сколько раз изменилась сила взаимодействия шариков, если они были заряжены одноименно? разноименно?

## ПОДВОДИМ ИТОГИ РАЗДЕЛА 1 «ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ ПОЛЕ»

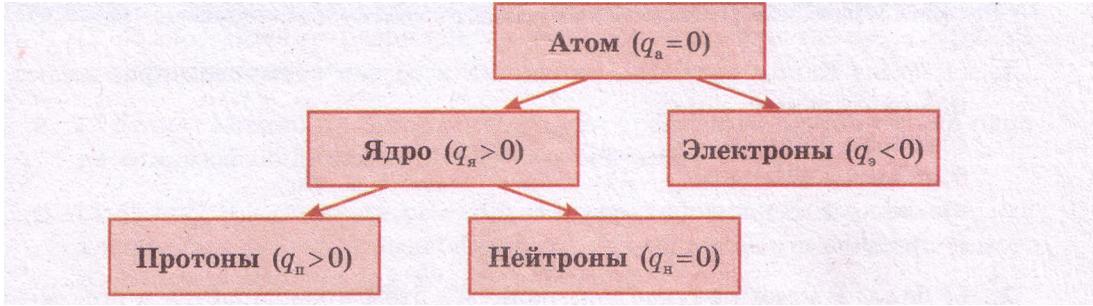
1. В разделе 1 вы познакомились с новой физической величиной — *электрическим зарядом*.

**ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ЗАРЯД** — это физическая величина, характеризующая свойство частиц или тел вступать в электромагнитное взаимодействие

2. Вы узнали, что существует два рода электрических зарядов.

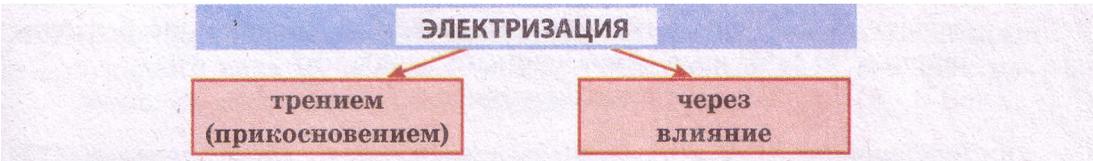


3. Вы вспомнили *строение атома*.



Если атом отдает один или несколько электронов, он превращается в *положительный ион*, а если получает — в *отрицательный ион*.

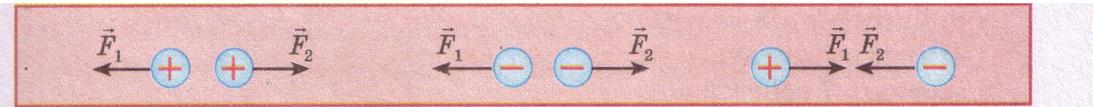
4. Вы выяснили, что *процесс приобретения заряда макроскопическими телами называют электризацией*. Во время электризации тело *получает или отдает некоторое количество электронов*.



5. Вы узнали, что *любой наэлектризованный объект является источником электрического поля*.

**ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ ПОЛЕ** — это особая форма материи, которая существует вокруг заряженных тел и частиц и действует с некоторой силой на другие частицы и тела, имеющие электрический заряд

6. Вы доказали, что *взаимодействие наэлектризованных тел осуществляется через электрическое поле*.



7. Вы выучили *основные законы электростатики*.



**Закон Кулона**

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

если заряды неподвижные точечные

**Закон сохранения**

**электрического заряда**

$$q_1 + q_1 + \dots + q_1 = \text{const},$$

если система замкнута

## ЗАДАНИЯ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ К РАЗДЕЛУ 1 «ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ ПОЛЕ»

1. (1 балл) Какие частицы, входящие в состав атомного ядра, имеют положительный заряд?
  - а) только протоны;
  - б) только электроны;
  - в) только нейтроны;
  - г) протоны и нейтроны.
  
2. (1 балл) В каком случае нейтральный атом превращается в положительный ион?
  - в) если атом теряет один или несколько протонов;
  - б) присоединяет один или несколько нейтронов;
  - в) присоединяет один или несколько электронов;
  - г) теряет один или несколько электронов.
  
3. (1 балл) На рис. 1-3 изображены три пары легких шариков, подвешенных на шелковых нитях. На каком из рисунков изображены шарики, заряженные одноименными зарядами?
  - а) 1;   б) 2;   в) 3;   г) такого рисунка нет.

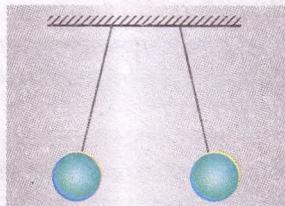


Рис. 1

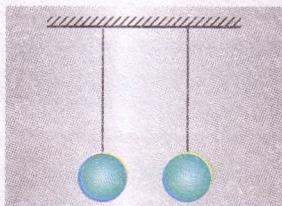


Рис. 2

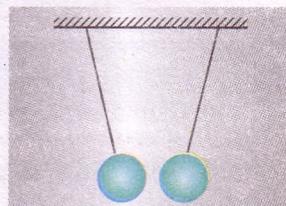


Рис. 3

4. (1 балл) В ядре атома Лития 7 частиц, вокруг ядра движутся 3 электрона. Сколько в ядре этого атома протонов и нейтронов?
  - а) 3 протона и 4 нейтрона;
  - б) 4 протона и 3 нейтрона;
  - в) только 7 протонов;
  - г) только 7 нейтронов.
  
5. (1 балл) Эбонитовая палочка, потертая о натуральный мех, заряжается отрицательно и притягивает к себе кусочки бумаги. Чем это объясняется?
  - а) кусочки бумаги заряжаются отрицательно;
  - б) кусочки бумаги заряжаются положительно;
  - в) под действием электрического поля на ближних к палочке частях кусочков бумаги образуется положительный заряд;**
  - г) под действием электрического поля на ближних к палочке частях кусочков бумаги образуется отрицательный заряд.

6. (2 балла) Почему мелкие капли одеколona, разбрызгиваемого пульверизатором, оказываются наэлектризованными?
7. (2 балла) Почему разряжается электроскоп, если коснуться рукой его кондуктора?
8. (2 балла) Можно ли при электризации трением зарядить только одно из соприкасающихся тел? Ответ обоснуйте.
9. (2 балла) На длинных шелковых нитях подвешены две одинаковые легкие бумажные гильзы. Одна из них заряжена, а другая — нет. Как определить, какая гильза заряжена?
10. (2 балла) Как с помощью положительно заряженного металлического шарика зарядить такой же шарик отрицательно, при этом не увеличивая и не уменьшая заряда первого шарика?

*(В заданиях 11-15 электрические заряды считать неподвижными точечными.)*

11. (3 балла) При изменении расстояния между двумя электрическими зарядами сила их взаимодействия уменьшилась в 16 раз. Как изменилось расстояние между зарядами?
12. (3 балла) Как изменится сила взаимодействия двух электрических зарядов при увеличении модуля каждого из них в 3 раза?
13. (4 балла) Два положительно заряженных шарика взаимодействуют в вакууме с силой 0,1 Н. Расстояние между шариками 6 см. Известно, что заряд одного шарика равен  $2 \cdot 10^{-5}$  Кл. Вычислите заряд второго.
14. (5 баллов) Два отрицательно заряженных тела, расположенных на расстоянии 8 см друг от друга, отталкиваются с силой 0,9 Н. Заряд одного из тел равен  $-4$  мкКл. Определите количество избыточных электронов во втором теле.
15. (6 баллов) Шарик, являющийся проводником и несущий заряд  $1,8 \cdot 10^{-8}$  Кл, одновременно привели в соприкосновение с двумя такими же шариками, один из которых имел заряд  $-0,3 \cdot 10^{-8}$  Кл, а другой был незаряженным. Вычислите заряд каждого шарика после столкновения. С какой силой будут взаимодействовать после соприкосновения два из этих шариков на расстоянии 5 см друг от друга?

*Сверьте ваши ответы с приведенными в конце учебника. Отметьте задания, которые вы выполнили правильно, и подсчитайте сумму баллов. Затем эту сумму разделите на три. Полученное число будет соответствовать уровню ваших учебных достижений.*

## ОТ «КОЛЕСА ФРАНКЛИНА» ДО ПЛОСКИХ ЭКРАНОВ

Изучив раздел 1 учебника, вы узнали, что электрическое поле, существующее вокруг любого заряженного тела, зависит от значения заряда этого тела и расстояния до него. Кроме того, в ходе тщательных исследований было установлено, что электрическое поле зависит также от формы тела. Например, при одинаковых зарядах иглы и кондуктора электроскопа электрическое поле вблизи острия иглы в миллионы раз сильнее, чем поле вблизи кондуктора. Это поле может быть настолько сильным, что под его действием острие начнет испускать электроны и те будут лететь от острия с большой скоростью, — возникнет так называемый «*электрический ветер*». Такой «ветер» способен вращать легкую металлическую вертушку — «*колесо Франклина*» (рис. 1). Эта простая игрушка была изобретена в XVIII в. американским ученым *Бенджамин Фрэнклином* (1706-1790) и подтолкнула его к идее создания молниеотвода (об этом будет идти речь в разделе 2 учебника).

Понятно, что сейчас применение так называемой *автоэлектронной эмиссии* — явления испускания электронов проводящими твердыми веществами и жидкостями под действием сильного электрического поля — не ограничивается «колесом Франклина» и молниеотводом. Современные ученые предложили другие сферы использования этого явления.

Электроны, вылетевшие с острия иглы, отталкиваются друг от друга и движутся в виде расходящегося пучка (конуса). Например, электроны, вылетающие с участка, размер которого меньше микрометра, преодолев определенную дистанцию, представляют собой пучок диаметром несколько сантиметров.

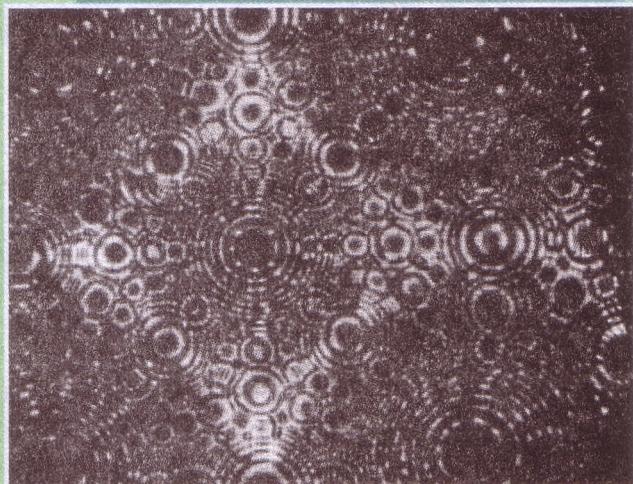


**Рис. 1.** «Колесо Франклина». «Электрический ветер» от заряженного острия иглы может поворачивать легкую вертушку

И каждый электрон пучка несет определенную информацию о поверхности острия. Если, например, на части поверхности имеется оксидная пленка, то вылет электронов с этого участка будет затруднен. В то же время участок чистого металла эмитирует большее количество электронов. Если на пути электронов поставить экран, светящийся при попадании в него электронов, неоднородное свечение экрана проинформирует исследователя о микроструктуре материала на поверхности острия. Следовательно, в современных условиях острие иглы «колеса Франклина» может стать своеобразным «увеличительным стеклом». Приведенный метод изучения микроструктуры поверхности тела называется «*автоэлектронная микроскопия*». Он позволяет получить информацию не только о поверхности острия, но и об отдельных атомах (рис. 2).

Явление автоэлектронной эмиссии применяют также в источниках тока для вакуумных

**Рис. 2.** Фотография поверхности металла, полученная с помощью автоэлектронной микроскопии



**Рис. 3.** Внешний вид FED-дисплеев, действие которых базируется на явлении автоэлектронной эмиссии

приборов, в частности для ускорителей заряженных частиц (см. раздел 4 учебника).

Используя явление автоэлектронной эмиссии, современные инженеры создали новый тип плоских экранов. В англоязычной литературе автоэлектронная эмиссия – *field emission*, соответственно плоские экраны получили название «*field emission display*»; сокращенно по-русски – «*FED-дисплеи*» (рис. 3).

Практически в каждой квартире есть телевизоры с электронно-лучевой трубкой – кинескопом. Принципы, применяемые для получения изображения в FED-дисплеях, в каком-то смысле похожи на те, которые используют в кинескопе. В обычном телевизоре поток электронов из так называемой электронной пушки кинескопа последовательно сканирует весь большой экран. В отличие от «большого» кинескопа, имеющего только один источник электронов, FED-дисплей предусматривает наличие большого количества малых «кинескопчиков», каждый из которых состоит из излучателя и расположенного напротив него маленького «персонального» экрана. В таких «кинескопчиках» отклонять поток электронов на большое расстояние не нужно, поэтому толщина FED-дисплеев составляет всего несколько миллиметров.

## РАЗДЕЛ 2. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ТОК

### § 5. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ТОК.

#### ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ ПРОВОДИМОСТЬ МАТЕРИАЛОВ



Наверное, многие школьники на вопрос «Что бы вы взяли с собой на необитаемый остров?» сразу ответят: «Мобильный телефон и компьютер», — однако спустя некоторое время, конечно, сообразят: «Ой, там же нет электричества!..»

Трудно представить, что еще сто лет назад большая часть нашей страны была похожа на такой остров, ведь электричеством могли воспользоваться немногие. Сегодня каждый назовет не менее десятка электрических бытовых устройств, без которых нам уже трудно представить свою жизнь: стиральная машина, лампа, телевизор и т. п. Эти устройства называют электрическими, так как для их работы необходим электрический ток.

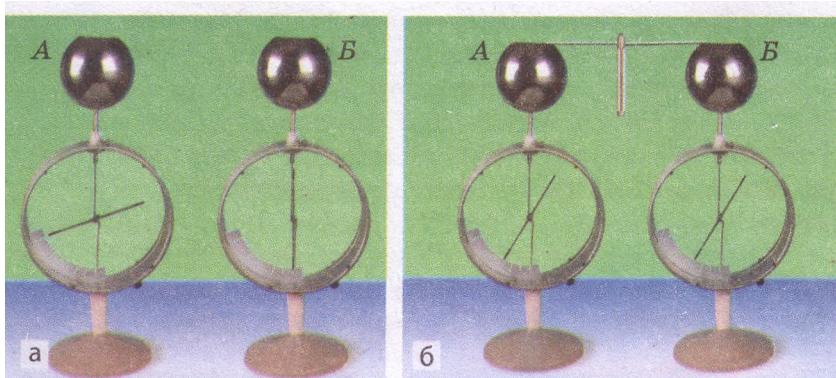
Из материала данного параграфа вы узнаете, что такое электрический ток.



#### Вводим определение электрического тока

Проведем простой опыт. Поставим на столе два электрометра (А и Б) и зарядим один из них, например, электрометр А. Стрелка электрометра А отклонится (рис. 5.1, а). Соединим кондукторы электрометров металлическим стержнем, закрепленным на пластмассовой ручке. По отклонению стрелок видно, что заряд электрометра А уменьшился, а незаряженный электрометр Б получил заряд (рис. 5.1, б). Это значит, что в результате перемещения частиц, имеющих электрический заряд, часть электрического заряда перешла по стержню от одного прибора к другому. В этом случае говорят, что по стержню прошел электрический ток.

**Электрический ток** — это направленное движение заряженных частиц.



**Рис. 5.1.** Если заряженный электрометр соединить с помощью проводника с незаряженным электрометром, часть заряда перейдет на незаряженный электрометр

## 2 Выясняем условия возникновения и существования электрического тока

Исходя из определения электрического тока можно сформулировать одно из двух необходимых условий его возникновения и существования в любой среде. Очевидно, что *в среде должны иметься свободные заряженные частицы, то есть такие частицы, которые могут перемещаться по всей среде* (их еще называют *носителями тока*).

Однако этого условия недостаточно, чтобы в среде возник и в течение длительного промежутка времени существовал электрический ток. Для создания и поддержания направленного движения свободных заряженных частиц также необходимо *наличие электрического поля*. Под действием этого поля движение свободных заряженных частиц приобретает упорядоченный (направленный) характер, что и означает появление в данной среде электрического тока.

## 3 Учимся различать проводники, диэлектрики и полупроводники

Зная условия возникновения и существования электрического тока, нетрудно догадаться, что способность проводить электрический ток, или, как говорят физики, *электрическая проводимость*, у различных веществ неодинакова. В зависимости от этой способности все вещества и материалы принято делить на *проводники, диэлектрики и полупроводники*.

*Проводники* — это вещества и материалы, которые хорошо проводят электрический ток.

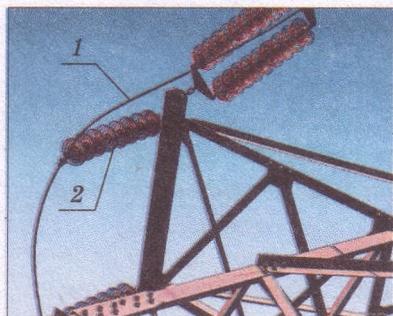
Проводниками являются металлы, водные растворы солей (например, поваренной соли), кислот и щелочей. Хорошая электрическая проводимость проводников объясняется наличием в них большого количества свободных заряженных частиц. Так, в металлическом проводнике часть электронов, покинув атомы, свободно перемещается по всему его объему, и количество таких электронов достигает  $10^{23}$  в кубическом сантиметре.

Влажная земля, тела людей и животных хорошо проводят электрический ток, так как содержат вещества, являющиеся проводниками.

*Диэлектрики* — это вещества, которые плохо проводят электрический ток.

Диэлектриками являются некоторые твердые вещества (эбонит, фарфор, резина, стекло и др.), некоторые жидкости (дистиллированная вода, керосин и др.) и некоторые газы (водород, азот и др.). В диэлектриках почти отсутствуют свободные заряженные частицы, поэтому диэлектрики практически не проводят электрический ток.

Проводники и диэлектрики широко используют в промышленности, быту, технике. Так, провода, по которым подводят электрический ток от электростанций к потребителям, изготавливают из металлов — хороших проводников. При этом на опорах провода располагают на изоляторах — это предупреждает стекание электрического заряда в землю (рис. 5.2). Для этого же слоями диэлектрика покрывают провода, прокладываемые в земле.



**Рис. 5.2.** Создание линий электропередачи невозможно без использования проводников (1) и диэлектриков (2)



**Рис. 5.3.** Полупроводниковые кристаллы используют для изготовления солнечных батарей

Существует также множество веществ, которые называют *полупроводниками*. В обычных условиях они плохо проводят электрический ток и их можно отнести к диэлектрикам. Однако, если, например, повысить температуру или увеличить освещенность полупроводников, в них появляется достаточное количество свободных заряженных частиц и полупроводники становятся проводниками. К полупроводникам относятся такие вещества, как германий, кремний, мышьяк и др.; их широко используют для изготовления радиоэлектронной аппаратуры, солнечных батарей (рис. 5.3) и т. д.

### **Подводим итоги**

Электрический ток — это направленное движение заряженных частиц.

Для возникновения и существования электрического тока необходимо наличие свободных заряженных частиц и электрического поля, действие которого создает и поддерживает их направленное движение.

В зависимости от электрической проводимости все вещества условно делят на проводники (вещества, хорошо проводящие электрический ток), диэлектрики (вещества, плохо проводящие электрический ток) и полупроводники.



### **Контрольные вопросы**

1. Что такое электрический ток? 2. Сформулируйте условия возникновения и существования электрического тока. 3. Какие вещества относят к проводникам, диэлектрикам, полупроводникам? Приведите примеры. 4. Почему металлы хорошо проводят электрический ток? 5. Приведите примеры использования проводников и диэлектриков.



### **Упражнение № 5**

1. Почему в опыте, описанном в п. 1 параграфа, кондукторы электрометров соединяли металлическим стержнем (см. рис. 5.1)? Для чего стержень был закреплен на пластмассовой ручке? Как изменятся результаты опыта, если вместо металлического стержня воспользоваться пластмассовым?
2. Запишите в тетрадь названия нескольких предметов, изготовленных из веществ, являющихся: а) проводниками; б) диэлектриками.
3. Двигнутся ли свободные заряженные частицы в проводнике, когда в нем нет тока? Поясните свой ответ.
4. Почему трудно, а иногда практически невозможно зарядить электроскоп в помещении с очень высокой влажностью воздуха?
5. Каким требованиям должен соответствовать материал для изготовления корпусов розеток и выключателей?

## § 6. ДЕЙСТВИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ТОКА

**?** Вы уже знаете, что электрическим током называют направленное движение частиц, имеющих электрический заряд. Но как выяснить, течет ли в проводнике электрический ток? Ведь невозможно, например, увидеть, как в металлическом стержне движутся свободные электроны. Известно, что о наличии электрического тока судят по его действиям. О различных действиях электрического тока вы узнаете из этого параграфа.

### 1 Узнаём о тепловом действии электрического тока

Тепловое действие тока проявляется в нагревании проводника, по которому течет ток. Когда вы гладите электрическим утюгом, припаиваете деталь электрическим паяльником, готовите на электрической плите, обогреваете комнату электрическим нагревателем, то используете бытовые устройства, функционирование которых основано на тепловом действии электрического тока.

Тепловое действие электрического тока широко используют также в промышленности (сварка, резка, плавка металлов) и сельском хозяйстве (обогрев теплиц и инкубаторов, сушка зерна, сенажа).

Проявление теплового действия тока можно наблюдать и в природе: энергия, выделяющаяся при ударе молнии, может стать причиной лесного пожара (рис. 6.1).

### 2 Наблюдаем химическое действие электрического тока

Когда через растворы солей, кислот или щелочей проходит электрический ток, на электродах, погруженных в раствор, происходят химические реакции. В данном случае мы имеем дело с *химическим действием тока*.

Так, если в сосуд с водным раствором купрум сульфата ( $\text{CuSO}_4$ ) опустить два угольных электрода и пропустить через раствор электрический ток (рис. 6.2, а), то спустя некоторое время один из электродов окажется покрытым тонким слоем чистой меди (рис. 6.2, б).

Позже вы познакомитесь с различными случаями химического разложения веществ под действием электрического тока и узнаете о применении этого явления.



**Рис. 6.1.** Довольно часто удар молнии приводит к лесным пожарам



**Рис. 6.2.** Опыт, демонстрирующий химическое действие электрического тока: если некоторое время пропускать ток через водный раствор купрум сульфата (а), на одном из электродов образуется тонкий слой меди (б)

Следует отметить, что *химическое действие тока проявляется не всегда*. Пропустив ток, например, через металлы, мы не обнаружим никаких химических изменений.

**3**

**Знакомимся с магнитным действием электрического тока**

Проводник, в котором течет электрический ток, приобретает магнитные свойства. Убедиться в этом можно с помощью обычного железного гвоздя. Наматываем на гвоздь изолированный провод и пропускаем по проводу электрический ток. Гвоздь начнет притягивать к себе железные предметы, то есть проявит магнитные свойства (рис. 6.3).

Функционирование электрических двигателей, электроизмерительных приборов (рис. 6.4) возможно только благодаря *магнитному действию тока*. Подробнее о магнитном действии тока вы узнаете при изучении магнитных явлений.

Рассматривая различные действия электрического тока, следует отметить, что, как правило, несколько действий проявляются

одновременно. Например, при проведении опыта,

описанного выше (см. рис. 6.2), температура раствора купрум сульфата постепенно повышается, а если возле сосуда с раствором поместить магнитную стрелку, то она будет отклоняться.



**4**

**Узнаём о действии электрического тока на организмы**

Электрический ток оказывает тепловое, химическое, магнитное действия на живые организмы, в том числе на человека. Наверное, большинство из вас посещали в поликлинике кабинет физиотерапии. Многие устройства в нем предназначены для *электролечения*: тепловое действие электрического тока используют для прогревания частей тела, химическое и магнитное — для стимулирования деятельности органов, улучшения обмена веществ и т. д. Следует, однако, помнить, что далеко не всегда электри-

**Рис. 6.3.** При пропускании тока гвоздь становится магнитом и притягивает к себе железные опилки

ческий ток оказывает целебное действие. Ток может вызвать ожог, судороги и даже стать причиной смерти. Поэтому, прежде чем пользоваться каким-либо электроприбором или устройством, нужно внимательно изучить инструкцию к нему и строго ее соблюдать.

### Подводим итоги

Проходя в проводнике, электрический ток может оказывать тепловое действие (нагревание проводника), химическое действие (химическое разложение веществ в результате прохождения тока), магнитное действие (отклонение магнитной стрелки, намагничивание железа).

Очень часто разные действия электрического тока проявляются одновременно.

Электрический ток оказывает тепловое, химическое и магнитное действия и на живые организмы, в том числе на человека.

### Контрольные вопросы

- 1- Как узнать, течет ли в проводнике ток?
2. Перечислите действия электрического тока.
- 3 Докажите, что электрический ток оказывает тепловое действие.
4. Опишите опыт, подтверждающий, что электрический ток оказывает химическое действие. Всегда ли проявляется химическое действие тока?
6. Что нужно сделать, чтобы намагнитить железный гвоздь?
7. Приведите примеры, подтверждающие, что электрический ток действует на организм человека. Как это действие проявляется? Где его используют?

### Упражнение № 6

1. Приведите примеры бытовых технических устройств, работа которых основана на тепловом действии тока.
2. Приведите примеры бытовых технических устройств, работа которых основана на магнитном действии тока.
- 3 Когда проводят опыты с химическим разложением воды на водород и кислород с помощью электрического тока, в воду добавляют немного сульфатной кислоты. Почему?
4. Почему пользование электрическими приборами и устройствами требует особой осторожности? Почему вспышка молнии сопровождается громом?

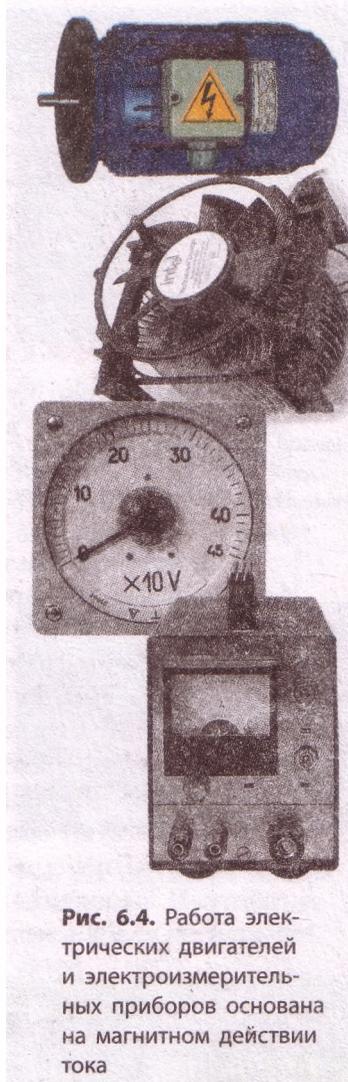


Рис. 6.4. Работа электрических двигателей и электроизмерительных приборов основана на магнитном действии тока

## § 7. ИСТОЧНИКИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ТОКА. ГАЛЬВАНИЧЕСКИЕ ЭЛЕМЕНТЫ И АККУМУЛЯТОРЫ



Многим знакома ситуация: необходимо срочно позвонить, вы берете мобильный телефон и с огорчением обнаруживаете, что батарея аккумуляторов разрядилась, а телефон из чуда технической мысли превратился в кусок пластика. То же самое может произойти и с аккумуляторами фотоаппарата, плейера, фонарика, часов. Что делать дальше, знает даже первоклассник, а вот как работает аккумулятор, вы узнаете из этого параграфа.



### Знакомимся с источниками электрического тока

Естественно, что любое исправное электротехническое устройство будет работать только в случае, если выполнены условия возникновения и существования электрического тока: наличие свободных заряженных частиц и наличие электрического поля. За создание электрического поля «отвечают» *источники тока*.

В источниках тока электрическое поле создается и поддерживается благодаря разделению разноименных электрических зарядов. В результате на одном полюсе источника накапливаются частицы, имеющие положительный заряд, а на втором — частицы, имеющие отрицательный заряд. Между полюсами возникает электрическое поле. Под действием этого поля в проводнике, соединяющем полюса источника, свободные заряженные частицы начинают направленное движение, то есть возникает электрический ток.

Однако разделить разноименные заряды не так просто, ведь между ними существуют силы притяжения. Для разделения разноименных зарядов, а следовательно, для создания электрического поля необходимо выполнить работу. И выполнить ее можно за счет механической, химической, тепловой и других видов энергии.

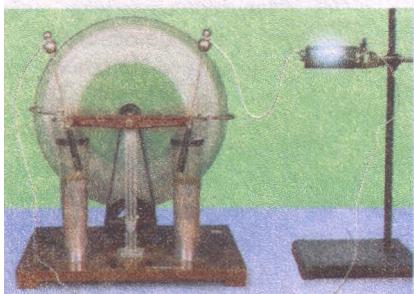
*Источники электрического тока — устройства, которые превращают различные виды энергии в электрическую энергию.*

### 2 Узнаём о различных видах источников электрического тока

Все источники электрического тока можно условно разделить на *физические* и *химические*.

К *физическим* источникам электрического тока принято относить устройства, в которых разделение зарядов происходит за счет механической, световой или тепловой энергии. Примерами таких источников тока могут быть электрофорная машина (рис. 7.1), турбогенераторы электростанций (рис. 7.2), фото- и термоэлементы (рис. 7.3, 7.4) и др.

Несмотря на все разнообразие физических источников электрического тока, в повседнев-



**Рис. 7.1.** Если разноименно заряженные кондукторы электрофорной машины соединить с электрической лампой, в лампе возникнет электрический ток. Лампа будет светиться, пока вращаются диски машины, — в данном случае механическая энергия превращается в электрическую

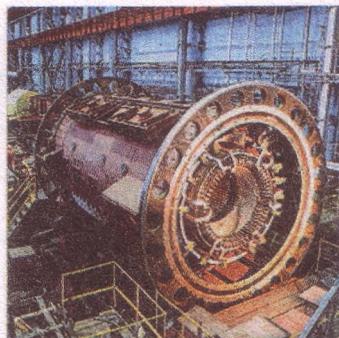
ной жизни мы чаще имеем дело с *химическими источниками электрического тока* — гальваническими элементами и аккумуляторами. Химическими источниками электрического тока называют устройства, в которых разделение зарядов происходит за счет энергии, выделяющейся в процессе химических реакций.

**3 Создаем гальванический элемент**

Возьмем медную и цинковую пластины и очистим их поверхности. Между пластинами поместим ткань, смоченную в слабом растворе сульфатной кислоты. Полученное устройство и есть простейший химический источник электрического тока — *гальванический элемент* (рис. 7.5). Если соединить пластины через *гальванометр* (чувствительный электроизмерительный прибор, часто используемый в качестве индикатора слабого электрического тока), то прибор зафиксирует наличие тока.

Гальванический элемент впервые создал итальянский ученый *А. Вольт* (рис. 7.6); он назвал его в честь своего соотечественника *А. Гальвани* (рис. 7.7).

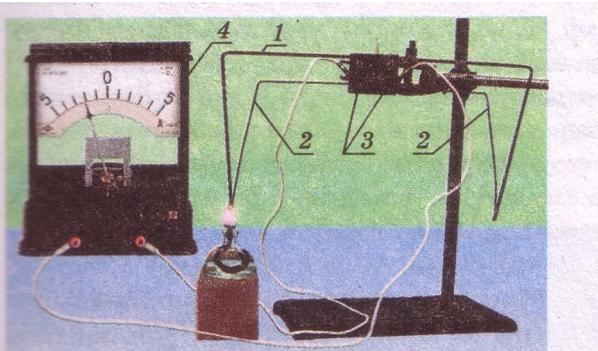
Любой гальванический элемент состоит из *двух электродов* и *электролита*. Часто используют один металлический электрод, а второй — угольный или содержащий оксиды металлов. Электролитом служит твердое или жидкое вещество, которое



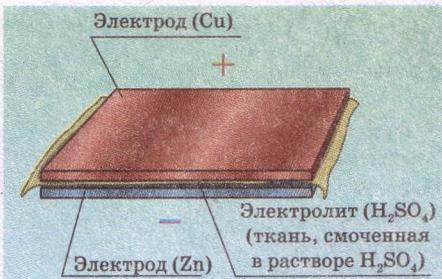
**Рис. 7.2.** Благодаря турбогенераторам, превращающим механическую энергию вращения турбин в энергию электрического тока, вырабатывают 80% потребляемой в мире электроэнергии



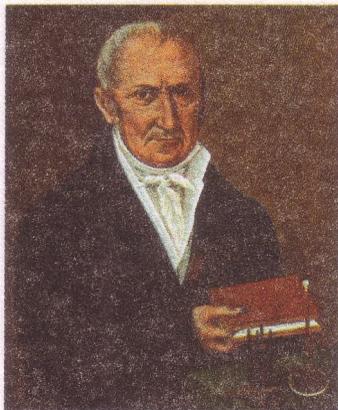
**Рис. 7.3.** Солнечные батареи на «Сич-1М» — спутнике дистанционного зондирования Земли — могут снабжать электроэнергией весь комплекс исследовательской аппаратуры. Солнечные батареи превращают энергию света в электрическую энергию



**Рис. 7.4.** К концам константанового провода (1) припаяны два железных провода (2). Свободные концы (3) железных проводов соединены с гальванометром (4) — прибором, фиксирующим наличие электрического тока. Если нагреть место спайки, прибор зафиксирует возникновение тока. В данном случае тепловая энергия превращается в электрическую



**Рис. 7.5.** Простейший гальванический элемент



**Рис. 7.6.** Алессандро Вольта (1745–1827) — итальянский физик. Провел ряд важных исследований в области электричества, изобрел первый в мире гальванический элемент и батарею гальванических элементов — «вольтов столб»



**Рис. 7.7.** Луиджи Гальвани (1737–1798) — итальянский анатом и физиолог. Опыты, описанные им, подсказали А. Вольте идею создания химического источника тока

проводит электрический ток благодаря наличию в нем большого количества свободных заряженных частиц — ионов. В гальваническом элементе на рис. 7.5 электродами выступают цинковая и медная пластины, а электролитом — раствор сульфатной кислоты.

Между электродами и электролитом происходят химические реакции\*, в результате которых один из электродов (*анод*) приобретает положительный заряд, а второй (*катод*) — отрицательный. Когда запас веществ, принимающих участие в реакциях, истощается, гальванический элемент прекращает работать.

Для обеспечения электропитания фотоаппаратов, плееров, настенных часов, карманных фонариков и т. п. широко используется марганцево-цинковый элемент — один из видов гальванических элементов (рис. 7.8).

## 4

### Изучаем аккумуляторы

Со временем гальванические элементы становятся непригодными к работе, и их нельзя использовать повторно. А вот другой вид химических источников электрического тока — *электрические аккумуляторы* — можно использовать многократно.

Аккумуляторы, как и гальванические элементы, состоят из двух электродов, помещенных в электролит. Так, используемый в автомобилях свинцовый аккумулятор имеет один электрод из свинца, а второй — из плюмбум диоксида; электролитом служит водный раствор сульфатной кислоты. Если электроды заряженного аккумулятора подключить, например, к электрической лампе, то по ее спирали потечет ток. Внутри же аккумулятора будут происходить химические реакции, в результате которых свинцовый электрод приобретет отрицательный заряд, а электрод из плюмбум диоксида — положительный. При этом сульфатная кислота будет превращаться в воду. Когда концентрация сульфатной кислоты уменьшится до определенного предельного значения, аккумулятор разрядится — станет непригодным к работе. Однако его можно снова

\* Основные реакции, протекающие в гальванических элементах, — это реакции окисления и восстановления. Подробно об этих реакциях вы узнаете из курса химии 9-го класса.

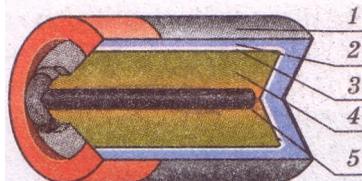
зарядить. При зарядке аккумулятора химические реакции идут в обратном направлении и концентрация сульфатной кислоты восстанавливается.

Кроме свинцовых (кислотных) аккумуляторов, широко применяют железоникелевые (щелочные), кадмиево-никелевые и другие виды аккумуляторов.

Следует отметить, что и аккумуляторы, и гальванические элементы обычно объединяют и получают соответственно *аккумуляторную батарею* и *батарею гальванических элементов* (рис. 7.9). Для мобильных телефонов, например, используют литийионную аккумуляторную батарею.

По принципу действия современные химические источники тока почти не отличаются от созданных более двух столетий назад. При этом сейчас существует множество разнообразных видов гальванических элементов и аккумуляторов и продолжается активная разработка новых. Друг от друга они отличаются размерами, массой, энергоемкостью, сроком службы, надежностью, безопасностью, стоимостью и т. д.

Выбор того или иного химического источника тока продиктовано сферой его применения. Так, в автомобилях целесообразно использовать относительно дешевые кислотные аккумуляторные батареи, и то, что они довольно тяжелые, не является существенным. А вот источники тока для мобильных телефонов должны быть легкими и безопасными, поэтому в данном случае целесообразно использовать так называемые литийионные батареи, хотя они сравнительно недешевы.



**Рис. 7.8.** Марганцево-цинковый элемент: 1 — стальной контейнер; 2 — катод, изготовленный из цинка; 3 — волокнистое полотно, разделяющее электроды; 4 — анод, изготовленный из смеси марганца диоксида и углерода; 5 — латунный стержень, проводящий электроэнергию к цепи. Вся емкость заполнена электролитом — водным раствором калий гидроксида

### Подводим итоги

Устройства, которые превращают различные виды энергии в электрическую энергию, называют источниками электрического тока.

В источниках электрического тока совершается работа по разделению разноименных электрических зарядов, в результате чего на одном



**Рис. 7.9.** Широко применяемые химические источники электрического тока: батарея гальванических элементов (а); аккумуляторные батареи (б, в)

положе источника накапливается положительный заряд, на другом — отрицательный, а следовательно, создается электрическое поле.

В источниках электрического тока работа по разделению разноименных зарядов выполняется за счет механической, химической, тепловой и других видов энергии.

К химическим источникам тока относятся гальванические элементы и аккумуляторы. Гальванический элемент — химический источник электрического тока одноразового использования. Аккумулятор — химический источник электрического тока многоразового использования.



### . Контрольные вопросы

1. Какие устройства называют источниками электрического тока? 2. Какие процессы происходят в источниках электрического тока? 3. Почему для разделения разноименных зарядов необходимо выполнить работу? 4. За счет какой энергии может осуществляться разделение разноименных зарядов в источнике электрического тока? 5. Какие источники электрического тока вы знаете? Приведите примеры их использования в технике, 6. Что представляет собой гальванический элемент? 7. Опишите устройство и принцип действия гальванического элемента. 8. Опишите устройство и принцип действия аккумулятора.



### Упражнение № 7

1. Как на двух электроскопах, соединенных металлическим проводником, поддерживать равные по значению и противоположные по знаку электрические заряды?
2. Какие преобразования энергии происходят при зарядке аккумулятора? разрядке аккумулятора?
3. Как изменится действие простейшего гальванического элемента, изображенного на рис. 7.5, если для его изготовления взять электроды из одного металла?



### Экспериментальное задание

Изготовьте гальванический элемент из лимона, медного провода и железного гвоздя. Нарисуйте его строение, подпишите названия составных частей. Подумайте, каким фруктом или овощем можно заменить лимон. Принесите изготовленный источник тока в школу и убедитесь, что он работает, присоединив его проводниками к гальванометру.

## § 8. ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ ЦЕПЬ И ЕЕ ЭЛЕМЕНТЫ



Чтобы разобраться в устройстве какого-либо электроприбора или устранить неисправность электропроводки в доме, необходимо иметь схему соответствующей электрической цепи. О том, что такое электрическая цепь, из чего она состоит и как на ее схеме изображают некоторые электротехнические устройства, вы узнаете из данного параграфа.



### 1 Знакомимся с электрической цепью

Любое электрическое устройство — мобильный телефон, MP3-плеер, фонарик, цифровой фотоаппарат, калькулятор и т. д. — имеет некоторый обязательный набор элементов. Чтобы выделить эти элементы и понять их назначение, создадим модель простейшего электрического устройства (рис. 8.1).

Чтобы электрическое устройство работало, прежде всего необходим *источник тока*. В представленной модели источником тока является батарея гальванических элементов (1). Выводы (полюса) батареи обозначены знаками «+» и «-».

Второй обязательный элемент — *потребитель электрической энергии*. В представленной модели — это электрическая лампа (2). Любой потребитель тоже имеет два вывода (в лампе они расположены на цоколе — металлическом цилиндре с резьбой, соединенном со стеклянным баллоном).

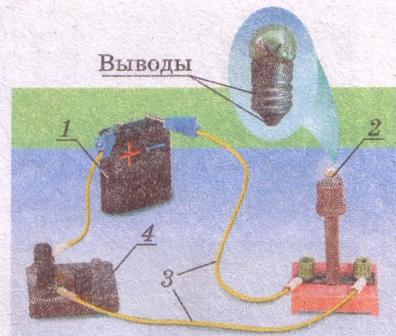
Источник тока и потребитель соединены с помощью *соединительных элементов* — проводов\* (3). Для крепления проводов используют специальные устройства (рис. 8.2), пайку или сварку.

И, наконец, последний элемент. Чтобы включать и выключать потребители, используют разнообразные *закрывающие (размыкающие) устройства*: ключ, рубильник, выключатель, кнопку или розетку. В рассматриваемой модели (см. рис. 8.1) таким устройством является ключ (4).

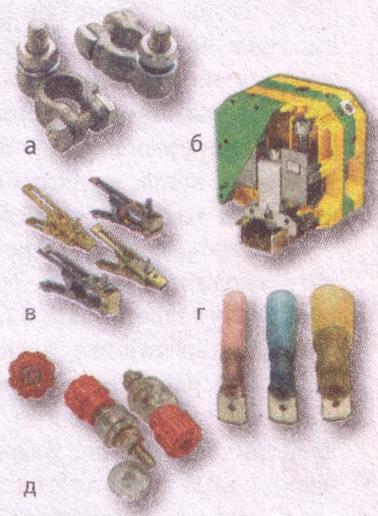
Следует обратить внимание: в реальном устройстве важно не только наличие всех перечисленных элементов, но и *определенный порядок их соединения*.

*Соединенные проводниками в определенном порядке источник тока, потребители, замыкающие (размыкающие) устройства образуют электрическую цепь.*

На рис. 8.3 изображены две простейшие электрические цепи, содержащие одинаковые элементы. При этом способы соединения некоторых элементов (ламп) различны. На рис. 8.3, а лампы соединены *последовательно*, на рис. 8.3, б — *параллельно*.

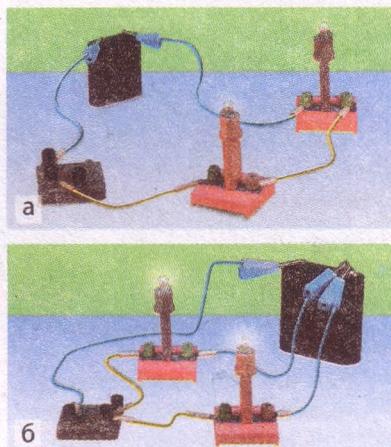


**Рис. 8.1.** Модель простейшего электрического устройства: 1 — источник тока — батарея гальванических элементов; 2 — потребитель электрической энергии — лампа; 3 — соединительные провода; 4 — ключ

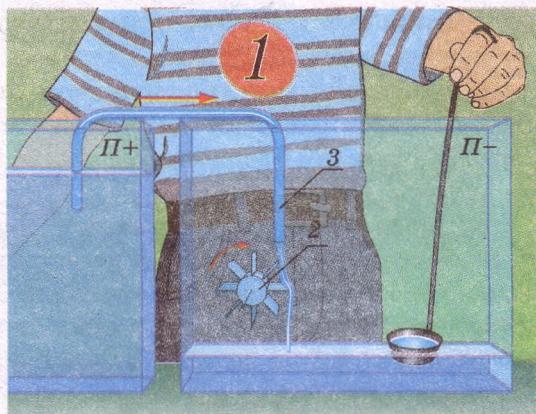


**Рис. 8.2.** Различные зажимы (клеммы) для соединения проводников: аккумуляторные (а); высоковольтные (б); заземления (в); ножевые (г); приборные (д)

\* В представленной модели длина соединительных проводов чрезмерна. На практике конструкторы максимально уменьшают все «лишние» элементы. Например, в электрическом фонарике роль одного соединительного элемента часто выполняет металлический корпус. Второй элемент отсутствует, поскольку один из выводов источника тока непосредственно контактирует с выводом лампочки.



**Рис. 8.3.** Два способа соединения ламп в электрической цепи: *а* — последовательное; *б* — параллельное



**Рис. 8.4.** Механический аналог электрической цепи, представленной на рис. 8.1. Соответствие элементов можно проследить по цифрам, которыми они обозначены на рисунках

## 2

### Знакомимся с механическим аналогом электрической цепи

Чтобы лучше понять назначение элементов электрической цепи, рассмотрим ее механический аналог. Механическая модель (рис. 8.4) состоит из двух наполненных водой сосудов ( $\Pi$ - и  $\Pi$ +), мягкой пластиковой трубки (3), механической вертушки (2) и.. вашего товарища (1), задачей которого будет непрерывное переливание воды из сосуда  $\Pi$ - в сосуд  $\Pi$ +. Погрузив короткий конец трубки в сосуд с более высоким уровнем воды ( $\Pi$ +), создадим «водяной ток», который будет вращать вертушку.

Чтобы вертушка не останавливалась, необходимо постоянно поддерживать «водяной ток». А он будет существовать до тех пор, пока существует разница уровней воды в сосудах, то есть пока ваш товарищ будет переливать воду. Точно так же электрический ток будет существовать в цепи до тех пор, пока работает источник тока. Непрерывно «переноса» соответствующие заряды с одного полюса на другой, источник тока создает и поддерживает электрическое поле. Как вы, наверное, догадались, «водяной ток» в механической модели является аналогом электрического тока.

Мы можем закрыть трубку пробкой и таким образом остановить поток воды. Следовательно, в этом случае пробка — механический аналог ключа в электрической цепи.

Если заморозить воду в трубке, «водяной ток» остановится. Таким образом, условием непрерывного течения является наличие «субстанции», которая может свободно передвигаться. Для электрической цепи такой «субстанцией» являются свободные заряженные частицы (например, электроны в металлах или ионы в жидкостях).

Обратите внимание на то, что совсем не обязательно видеть течение воды в трубке. Его наличие можно зафиксировать и в непрозрачных сосудах, например, наблюдая за вращением вертушки. Точно так же о наличии электрического тока мы судим по его действиям, ведь увидеть ток мы не можем.

3

### Знакомимся с электрическими схемами

Чтобы показать, какие электрические устройства необходимы для получения определенной электрической цепи и как их нужно соединять, используют *электрические схемы* (или просто *схемы*).

**Электрической схемой** называют чертеж, на котором условными обозначениями показано, из каких элементов состоит электрическая цепь и каким образом эти элементы соединены между собой.

Условные обозначения некоторых элементов электрической цепи приведены в таблице. Обратите внимание на обозначение источников тока (гальванического элемента или аккумулятора и батареи гальванических элементов или аккумуляторов). Принято, что длинная черточка обозначает положительный полюс источника тока, а короткая — отрицательный.

Направление тока показывают на схемах стрелками. *За направление тока в цепи условно принято направление, в котором двигались бы по цепи частицы, имеющие положительный заряд, то есть направление от положительного полюса источника тока к отрицательному\**.

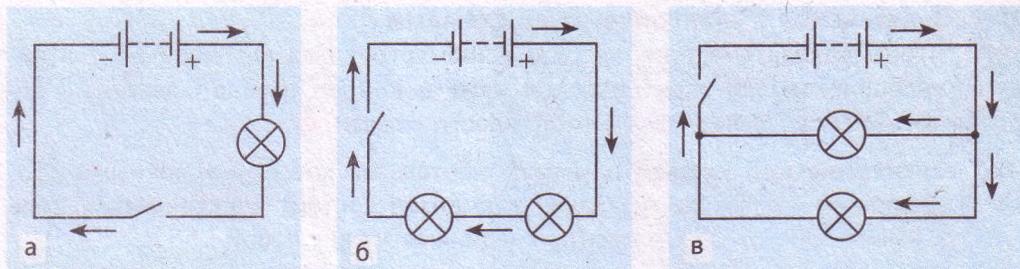
На рис. 8.5 приведены схемы электрических цепей, изображенных на рис. 8.1, 8.3, и показано направление тока в них.

Рассмотрим электрическую схему более сложной электрической цепи (рис. 8.6). Данная электрическая цепь имеет три ключа, два потребителя тока и источник тока — аккумуляторную батарею. Если замкнуть ключи  $K_1$  и  $K_2$ , а ключ  $K_3$  разомкнуть, то цепь, потребителем в которой является лампа, окажется замкнутой на источник и лампа будет светиться. Если замкнуть ключи  $K_1$  и  $K_3$ , а ключ  $K_2$  разомкнуть, то будет работать

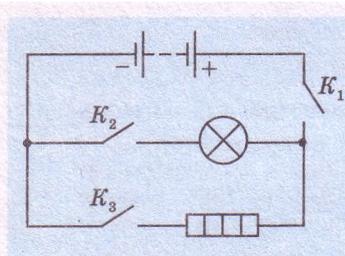
#### Некоторые условные обозначения, применяемые на схемах

Элемент электрической цепи	Условное обозначение
Гальванический элемент или аккумулятор	
Батарея гальванических элементов или аккумуляторов	
Соединение проводов	
Пересечение проводов (без соединения)	
Зажимы для подключения какого-либо прибора	
Ключ	
Резистор	
Электрическая лампа	
Электрический звонок	
Нагревательный элемент	
Штепсельная розетка	
Предохранитель	

\* Следует отметить, что после замыкания полюсов источника тока металлическим проводником электроны под действием электрического поля источника будут двигаться от его отрицательного полюса к положительному, то есть направление движения электронов будет противоположным принятому направлению тока.



**Рис. 8.5.** Схемы некоторых электрических цепей: а — схема электрической цепи включения лампы (см. рис. 8.1); б — схема последовательного соединения двух ламп (см. рис. 8.3, а); в — схема параллельного соединения двух ламп (см. рис. 8.3, б). Стрелками показано направление тока в цепи при замыкании ключа



**Рис. 8.6.** Схема включения электрической лампы и обогревателя

электрообогреватель, а лампа светиться не будет. Если же замкнуть все три ключа, то одновременно будет светиться лампа и будет работать электрообогреватель. Если разомкнуть только ключ  $K_1$  или если замкнуть только ключ  $K_1$ , оба потребителя будут отсоединены от источника, а значит, не будут работать.

### ! Подводим итоги

Соединенные проводниками источник тока, потребитель электрической энергии и замыкающее (размыкающее) устройство

образуют простейшую электрическую цепь.

Чертеж, на котором условными обозначениями показано, из каких элементов состоит электрическая цепь и каким образом эти элементы соединены между собой, называют электрической схемой.

За направление тока в цепи условно принято направление, в котором двигались бы по цепи положительно заряженные частицы, то есть направление от положительного полюса источника тока к отрицательному.

### ? Контрольные вопросы

1. Назовите основные элементы электрической цепи.
2. Используя механическую аналогию, объясните назначение каждого элемента электрической цепи.
3. Приведите примеры потребителей электрической энергии.
4. С какой целью в электрических цепях используют ключ?
5. Что называют электрической схемой?
6. Как на электрических схемах изображают гальванический элемент? батарею гальванических элементов? электрический звонок? ключ?
7. Какое направление принято за направление тока в электрической цепи?

### ✎ Упражнение № 8

1. Начертите схему электрической цепи, изображенной на рис. 1, и укажите направление тока в ней.
2. На рис. 2 изображена схема электрической цепи. Перечертите схему в тетрадь, знаками «+» и «-» обозначьте полюса источника тока, стрелками покажите направление электрического тока. Подпишите название каждого элемента цепи.

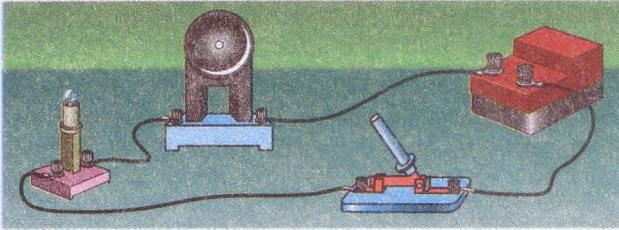


Рис. 1

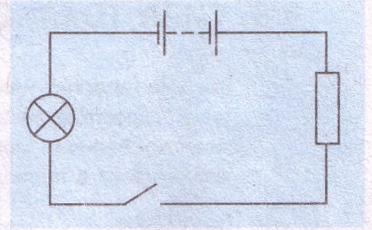


Рис. 2

3. Начертите схему цепи, содержащей два звонка, которые включаются одновременно одним ключом, и батарею гальванических элементов. (Обратите внимание, что задача решается двумя способами.) Где можно применить такие соединения?
4. Электрическая цепь состоит из батареи аккумуляторов, двух ключей, звонка и лампы, причем один ключ может включать только лампу, а второй — только звонок. Начертите схему электрической цепи.
- 5\*. Электрическая цепь состоит из батареи аккумуляторов, звонка, ключа и лампы, причем лампа светится постоянно, а звонок включается только при замыкании ключа. Начертите схему электрической цепи.
- 6\*. Электрическая цепь состоит из батареи аккумуляторов, двух звонков, двух ключей и одной лампы, причем лампа светится при включении только одного из звонков. Начертите схему электрической цепи.



ФИЗИКА И ТЕХНИКА В УКРАИНЕ

Институт электродинамики НАН Украины (Киев)

Основные направления научных исследований Института электродинамики связаны с «большой энергетикой»: ученые разрабатывают электрические схемы, объединяющие целые промышленные комплексы — заводы, шахты и т. д.

Вы наверняка сталкивались с явлением, когда внезапно гаснет свет во всем многоэтажном доме.

так как все соседи дружно включили телевизоры, обогреватели, освещение и т. д. Для жильцов это лишь досадный инцидент, а вот на литейном производстве или в больнице отключение электроэнергии может привести к трагедии. Такие случаи предупреждают правильно собранные сложнейшие электрические цепи.

Пример удачных разработок ученых института — создание технологии производства проводов, рассчитанных на напряжение до 10 кВ. Такие провода в основном прокладывают под землей, а следовательно, они должны работать в очень сложных условиях (сильные перепады температуры, влажности и т. п.). Данная разработка внедрена учеными института на заводе «Южкбель» (Харьков): на нем производят кабели со специальной (в частности, сверхстойкой) изоляцией.

На фото внизу представлена еще одна разработка ученых Института электродинамики — *электроцикл* — транспортное средство с повышенной маневренностью, передвигающееся за счет электрической энергии.



## § 9. СИЛА ТОКА. ЕДИНИЦА СИЛЫ ТОКА. АМПЕРМЕТР



Вам уже известно, что для количественного описания физических явлений, свойств тел и веществ физики используют физические величины. А с помощью каких физических величин можно количественно описать процесс прохождения электрического тока в проводнике? В этом параграфе вы познакомитесь с одной из них.



### Выясняем, что называют силой тока

Вы уже знаете, что в металлическом стержне имеется большое количество свободных носителей электрического заряда — электронов.



Рис. 9.1. Мысленно разрезав стержень, получаем его поперечное сечение

Понятно, что, если в стержне не течет ток, движение этих электронов хаотично. Поэтому можно считать, что количество электронов, проходящих за одну секунду через поперечное сечение стержня (рис. 9.1) слева направо, равно количеству электронов, проходящих через него справа налево.

Если подключить стержень к источнику тока, электроны начнут двигаться направленно и количество электронов, проходящих за определенное время через поперечное сечение в одном направлении, существенно увеличится. Следовательно, в этом направлении через поперечное сечение стержня будет перенесен определенный заряд.

**Сила тока** — это физическая величина, характеризующая электрический ток и численно равная заряду, проходящему через поперечное сечение проводника за единицу времени.

Силу тока обозначают символом  $I$  и определяют по формуле

$$I = \frac{q}{t},$$

где  $q$  — заряд, проходящий через поперечное сечение проводника за время  $t$ .

Чтобы лучше понять суть введенной физической величины, снова обратимся к механической модели электрической цепи (см. рис. 8.4). Понятно, что механическим аналогом силы тока является количество воды, проходящей через поперечное сечение трубки за 1 с.



### Знакомимся с единицей силы тока

**Единицей силы тока является ампер (А)**; она названа так в честь французского ученого *А. Ампера* (рис. 9.2). Ампер — одна из основных единиц СИ (рис. 9.3).

Кроме ампера на практике часто применяют кратные и дольные единицы силы тока. Так, для измерения малой силы тока исполь-

зуют *миллиамперы* (мА) и *микроамперы* (мкА), большой силы тока — *килоамперы* (кА):

$$1\text{ мА} = 10^{-3}\text{ А}; 1\text{ мкА} = 10^{-6}\text{ А}; 1\text{ кА} = 10^3\text{ А}.$$

Чтобы представить, что значит большая и малая сила тока, приведем такие данные. Сила тока, проходящего через тело человека, считается безопасной, если ее значение не превышает 1 мА; сила тока 100 мА может привести к серьезным последствиям.

Во многих электротехнических устройствах сила тока значительно превышает силу тока, безопасную для человеческого организма (рис. 9.4). Поэтому, чтобы не подвергать себя смертельной опасности, при работе с электротехническими приборами и устройствами необходимо строго соблюдать правила безопасности. Общая инструкция по безопасности представлена на форзаце учебника. Мы же остановимся на главных моментах, которые нужно помнить всем, кто имеет дело с электричеством.

### НЕЛЬЗЯ

- прикасаться к обнаженному проводу, особенно стоя на земле, сыром полу и т. п.;
- пользоваться неисправными электротехническими устройствами;
- собирать, разбирать, исправлять электротехнические устройства, не отсоединив их от источника тока

### 3 Определяем единицу электрического заряда

Зная единицу силы тока, легко получить определение единицы электрического заряда в СИ. Поскольку  $I = \frac{q}{t}$ , то  $q = It$ . Следовательно:

$$1\text{ Кл} = 1\text{ А} \cdot 1\text{ с}.$$

1 Кл — это заряд, проходящий через поперечное сечение проводника за 1 с при силе тока в проводнике 1 А.



**Рис. 9.2.** Андре Мари Ампер (1775–1836) — французский физик, математик и химик, один из основателей учения об электромагнитных явлениях. Ампер ввел в физику понятие электрического тока

Метр

Килограмм

Секунда

Ампер

Кельвин

Моль

Кандела

**Рис. 9.3.** Основные единицы физических величин Международной системы единиц (СИ)



Рис. 9.4. Значение силы тока в некоторых электротехнических устройствах

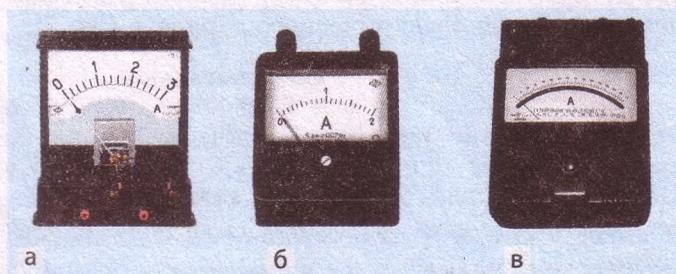
#### 4 Измеряем силу тока

Для измерения силы тока используют прибор, который называется *амперметром* (рис. 9.5).

**A** — условное обозначение амперметра на электрических схемах.

Как и любой измерительный прибор, амперметр не должен влиять на значение измеряемой величины. Поэтому амперметр сконструирован таким образом, что в случае подключения его к электрической цепи значение силы тока в цепи практически не изменяется.

Рис. 9.5. Некоторые виды амперметров: а — демонстрационный; б — школьный лабораторный; в — лабораторный с зеркальной шкалой



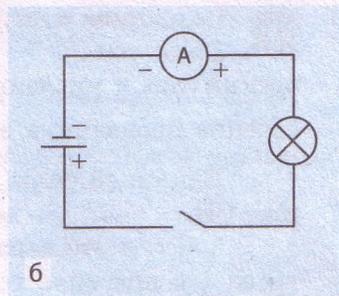
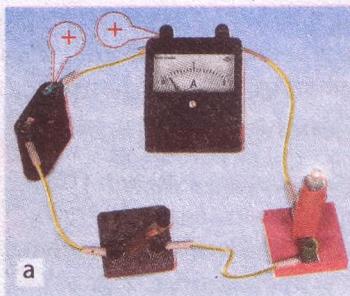


Рис. 9.6. Измерение амперметром силы тока, проходящего через спираль лампы: а — общий вид электрической цепи; б — схема

### Правила, которые необходимо соблюдать при измерении силы тока амперметром

1. Амперметр включают в цепь последовательно с тем проводником, в котором необходимо измерить силу тока (рис. 9.6).
2. Клемму амперметра, возле которой стоит знак «+», нужно соединять с проводом, идущим от положительного полюса источника тока; клемму со знаком «-» — с проводом, идущим от отрицательного полюса источника тока.
3. Нельзя подключать амперметр к цепи, в которой отсутствует потребитель тока.

#### 5 Учимся решать задачи

**Задача.** Сколько электронов пройдет через поперечное сечение спирали лампы за 2 с, если сила тока в спирали составляет 0,32 А?

Дано:

$$t = 2 \text{ с}$$

$$I = 0,32 \text{ А}$$

$$e = -1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$$

$N$  — ?

*Анализ физической проблемы*

$q = N|e|$ , поэтому, чтобы определить количество  $N$  электронов, необходимо знать общий заряд  $q$ , перенесенный за 2 с, и заряд  $e$  одного электрона. Общий заряд найдем из определения силы тока; заряд одного электрона равен  $-1,6 \cdot 10^{-19}$  Кл. Задачу следует решать в единицах СИ\*.

*Поиск математической модели, решение*

Согласно определению силы тока:  $I = \frac{q}{t}$ , следовательно,  $q = It$ . Зная общий заряд, найдем количество электронов:  $N = \frac{q}{|e|}$ . Подставив выражение для  $q$  в последнюю формулу, получим:  $N = \frac{It}{|e|}$ .

Определим значение искомой величины:

$$[N] = \frac{\text{А} \cdot \text{с}}{\text{Кл}} = \frac{\text{Кл}}{\text{Кл}} = 1; \{N\} = \frac{0,32 \cdot 2}{1,6 \cdot 10^{-19}} = 4 \cdot 10^{18}; N = 4 \cdot 10^{18}.$$

**Ответ:** за 2 с через поперечное сечение спирали лампы пройдет  $4 \cdot 10^{18}$  электронов.

\* В последующих задачах при анализе физической проблемы эта фраза опущена, поскольку при изучении электрических явлений будем пользоваться только единицами СИ.

### Подводим итоги

Сила тока  $I$  — физическая величина, характеризующая электрический ток и численно равная заряду  $q$ , проходящему через поперечное сечение проводника за единицу времени  $t$ :  $I = \frac{q}{t}$ .

Единицей силы тока является ампер (А). Это одна из основных единиц СИ.

1 Кл — это заряд, проходящий через поперечное сечение проводника за 1 с при силе тока в проводнике 1 А.

Силу тока измеряют амперметром. Прибор подключают к электрической цепи последовательно с проводником, в котором измеряют силу тока.

### Контрольные вопросы

1. Что называют силой тока?
2. По какой формуле определяют силу тока?
3. Какова единица силы тока? В честь кого она названа?
4. Какое значение силы тока безопасно для человека?
5. Какие основные правила безопасности необходимо соблюдать при работе с электротехническими устройствами?
6. Приведите определение кулона.
7. Каким прибором измеряют силу тока? Какие правила необходимо соблюдать при измерении силы тока?

### Упражнение № 9

1. На рис. 1 изображены шкалы различных амперметров. Определите цену деления каждой шкалы и силу тока, соответствующую показаниям этих приборов.
2. На рис. 2 изображена схема электрической цепи. Перечертите схему в тетрадь и покажите на ней, где можно подключить амперметр, чтобы измерить силу тока в лампах. Знаками «+» и «-» обозначьте полярность клемм амперметра.
3. Сила тока в проводнике равна 200 мА. За какое время через поперечное сечение проводника проходит заряд, равный 24 Кл?
4. Определите электрический заряд, который проходит через нагревательный элемент электрического утюга за 15 мин, если сила тока в элементе равна 3 А?
5. Начертите электрическую схему цепи, изображенной на рис. 3, знаками «+» и «-» обозначьте на ней полярность клемм амперметра. Определите заряд, проходящий через поперечное сечение спирали лампы за 10 мин.
6. Чему равна сила тока в проводнике, если за 10 с через его поперечное сечение проходит  $2 \cdot 10^{20}$  электронов?



Рис. 1

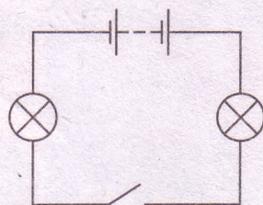
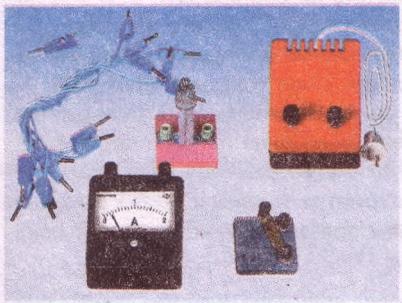


Рис. 2



Рис. 3

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2



Тема. Измерение силы тока на разных участках электрической цепи.

Цели научиться составлять простейшие электрические цепи и измерять в них силу тока.

**Оборудование;** источник тока, лампа на подставке, ключ, амперметр, соединительные провода.

### УКАЗАНИЯ К РАБОТЕ

#### II Подготовка к эксперименту

- 1, Прежде чем приступить к работе, убедитесь, что вы хорошо знаете:
  - 1) требования безопасности при работе с электрическими цепями;
  - 2) правила, которые необходимо соблюдать при измерении силы тока амперметром.
2. Определите цену деления и пределы измерения шкалы амперметра.

#### ▶ Эксперимент

**ВНИМАНИЕ!** Строго придерживайтесь правил безопасности!

- 1, Соберите электрическую цепь, изображенную на рис. 1.
- 2, Измерьте силу тока, подключив амперметр:
  - 1) между источником тока и лампой;
  - 2) между источником тока и ключом,
- 3, Начертите схемы полученных электрических цепей, рядом запишите результаты измерений.
- 4, Соберите электрическую цепь по схеме, изображенной на рис. 2, измерьте силу тока и запишите полученный результат.

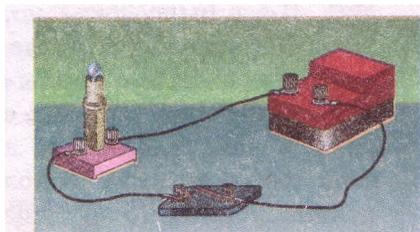


Рис. 1

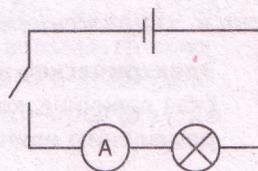


Рис. 2

#### □ Анализ эксперимента и его результатов

Проанализировав эксперимент и полученные результаты, сделайте вывод, в котором укажите:

- 1) чему вы научились в процессе проведения эксперимента;
- 2) зависит ли значение силы тока в исследуемой цепи от места подключения амперметра.

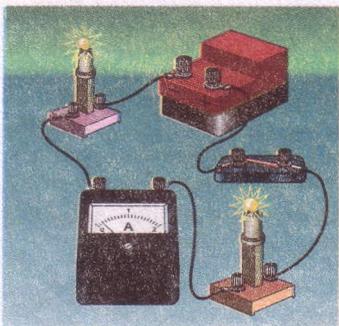


Рис. 3



### Творческие задания

1. Начертите схему электрической цепи, изображенной на рис. 3, и обозначьте на ней знаками («+», «-») полярность клемм амперметра. Укажите на схеме точками (А, В и др.) возможные места включения амперметра для измерения силы тока в лампах. Как, по вашему мнению, изменятся показания амперметра, включенного в цепь, если одна из ламп перегорит?
2. Начертите такую схему соединения двух ламп, источника тока, амперметра и ключа, чтобы выход из строя одной лампы практически не влиял на показания амперметра.

## § 10. ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ НАПРЯЖЕНИЕ. ЕДИНИЦА НАПРЯЖЕНИЯ. ВОЛЬТМЕТР



Каждый, наверное, слышал предостерегающее «Не подходи – там высокое напряжение!», возмущенное «Снова упало напряжение в сети!», вопросительное «На какое напряжение рассчитан этот прибор?». Из данного параграфа вы узнаете, что такое напряжение и почему на всех электротехнических устройствах указывают его значение.



### 1 Даем определение электрического напряжения

В § 5 было доказано, что направленное движение свободных заряженных частиц (электрический ток) возможно благодаря действию на эти частицы силы со стороны электрического поля. А из курса физики 8-го класса вам известно, что если тело движется под действием какой-либо силы и направление его движения совпадает с направлением действия этой силы, то сила выполняет работу. Следовательно, когда в определенном участке цепи существует ток, то электрическое поле выполняет работу. Эту работу принято называть *работой тока*.

Работа, которую может выполнить или выполняет электрическое поле, перемещая заряд по данному участку цепи, определяется *электрическим напряжением*.

**Электрическое напряжение** на определенном участке цепи – это физическая величина, которая численно равна работе электрического поля по перемещению единичного положительного заряда по данному участку цепи.

Напряжение обозначают символом  $U$  и определяют по формуле

$$U = \frac{A}{q},$$

где  $A$  — работа, которую выполняет (или может выполнить) электрическое поле при перемещении заряда  $q$  по данному участку цепи.

*Единицей напряжения в СИ является вольт (В)*. Эта единица получила название в честь итальянского ученого А. Вольты (см. рис. 7.6).

1 В — это такое напряжение на участке цепи, при котором электрическое поле выполняет работу 1 Дж, перемещая по этому участку заряд, равный 1 Кл:

$$1 \text{ В} = \frac{1 \text{ Дж}}{1 \text{ Кл}}.$$

Кроме вольта, на практике часто применяют кратные и дольные единицы напряжения: *микровольт* (мкВ), *милливольт* (мВ) и *киловольт* (кВ):

$$1 \text{ мкВ} = 10^{-6} \text{ В}; \quad 1 \text{ мВ} = 10^{-3} \text{ В}; \quad 1 \text{ кВ} = 10^3 \text{ В}.$$

Так, электрическое напряжение на клеточной мембране или микрочипе составляет несколько микровольт, а между тучами во время грозы — сотни киловольт.

## 2 Проводим аналогию

Обратившись к аналогии между электрическим током и течением воды (см. § 8), можно сообразить, что напряжение — это аналог разницы уровней воды в сосудах.

Если уровни воды в обоих сосудах одинаковы, то вода из одного сосуда в другой переливаться не будет. Аналогично, если на концах участка электрической цепи отсутствует напряжение, то тока в этом участке цепи не возникнет.

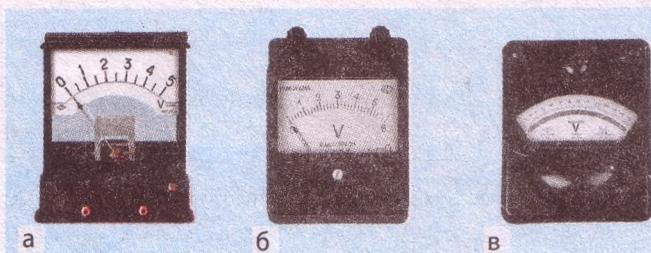
Чем больше разница уровней воды в сосудах, тем большую работу выполнит сила тяжести при падении воды массой 1 кг. Соответственно, чем больше напряжение на концах участка цепи, тем большую работу выполнит сила, действующая со стороны электрического поля, для перемещения заряда 1 Кл.

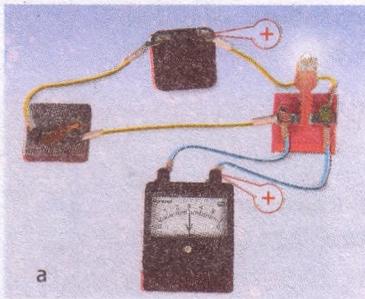
## 3 Измеряем напряжение, знакомимся с вольтметром

Для измерения напряжения используют прибор, который называется *вольтметром* (рис. 10.1). Внешне вольтметр очень похож на амперметр.

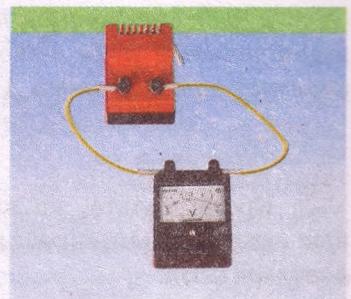
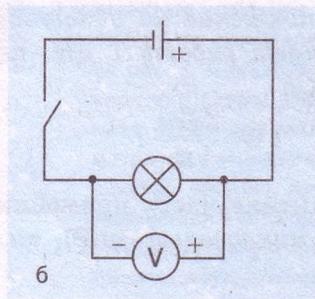
Как и любой измерительный прибор, вольтметр не должен влиять на значение измеряемой величины. Поэтому вольтметр сконструирован таким образом, что в случае включения его в электрическую цепь значение напряжения на этом участке цепи практически не изменяется.

Рис. 10.1. Некоторые виды вольтметров: а — школьный демонстрационный; б — школьный лабораторный; в — лабораторный с зеркальной шкалой





**Рис. 10.2.** Измерение вольтметром напряжения на лампе: а — общий вид электрической цепи; б — схема



**Рис. 10.3.** Измерение вольтметром напряжения на полюсах источника тока

*Правила, которые необходимо соблюдать при измерении напряжения вольтметром*

1. Вольтметр подключают параллельно тому участку цепи, на котором необходимо измерить напряжение (рис. 10.2).
2. Клемму вольтметра, возле которой стоит знак «+», нужно соединять с проводом, идущим от положительного полюса источника тока; клемму со знаком «-» — с проводом, идущим от его отрицательного полюса.
3. Для измерения напряжения на полюсах источника тока вольтметр подключают непосредственно к клеммам источника (рис. 10.3).

**4 Учимся решать задачи**

**Задача.** Напряжение на клеммах автомобильного аккумулятора —

12 В. С какой высоты должен упасть груз массой 36 кг, чтобы сила тяжести выполнила такую же работу, какую выполняет электрическое поле, перемещая заряд 300 Кл по одной из электрических цепей автомобиля?

Дано:

$$U = 12 \text{ В}$$

$$m = 36 \text{ кг}$$

$$A = A_{\text{тока}}$$

$$q = 300 \text{ Кл}$$

$$g = 10 \frac{\text{Н}}{\text{кг}}$$

$h = ?$

*Анализ физической проблемы*

Поскольку согласно определению работы  $A = Fs$ , а  $F = F_{\text{тяж}} = mg$  и  $s = h$ , то работа, выполняемая силой тяжести при падении груза, вычисляется по формуле  $A = mgh$ . По условию задачи эта работа равна работе тока. Следовательно, найдя работу тока из формулы для определения напряжения, вычислим высоту падения груза.

*Поиск математической модели, решение*

$$U = \frac{A_{\text{тока}}}{q}, \text{ следовательно, } A_{\text{тока}} = Uq.$$

Поскольку  $A_{\text{тока}} = A$ , а  $A = mgh$ , то  $Uq = mgh$ ; отсюда  $h = \frac{Uq}{mg}$ .

Определим значение искомой величины:

$$[h] = \frac{\text{В} \cdot \text{Кл}}{\text{кг} \cdot \frac{\text{Н}}{\text{кг}}} = \frac{\frac{\text{Дж}}{\text{Кл}} \cdot \text{Кл}}{\text{Н}} = \frac{\text{Н} \cdot \text{м}}{\text{Н}} = \text{м};$$

$$\{h\} = \frac{12 \cdot 300}{36 \cdot 10} = 10; h = 10 \text{ м.}$$

Ответ: груз должен упасть с высоты 10 м.

### Подводим итоги

Физическая величина, численно равная работе электрического поля по перемещению единичного положительного заряда по данному участку электрической цепи, называется напряжением на данном участке цепи.

Напряжение обозначают символом  $U$  и определяют по формуле  $U = \frac{A}{q}$ , где  $A$  — работа, которую выполняет (или может выполнить) электрическое поле при перемещении заряда  $q$  по данному участку цепи.

Единица напряжения в СИ — вольт (В). 1 В — это такое напряжение на участке цепи, при котором электрическое поле выполняет работу 1 Дж, перемещая по этому участку заряд, равный 1 Кл ( $1 \text{ В} = \frac{1 \text{ Дж}}{1 \text{ Кл}}$ ).

Прибор для измерения напряжения называют вольтметром. Вольтметр подключают параллельно тому участку цепи, напряжение на котором необходимо измерить.

### Контрольные вопросы

- 1 Докажите, что если в проводнике течет ток, то электрическое поле выполняет работу.
- 2 Что называют напряжением на определенном участке цепи?
- 3 По какой формуле определяют электрическое напряжение?
- 4 В каких единицах измеряют напряжение?
- 5 Приведите определение единицы напряжения.
- 6 Какой прибор используют для измерения напряжения? Какие правила необходимо соблюдать при измерении напряжения?

### Упражнение № 10

1. На рис. 1 изображены шкалы различных вольтметров. Определите цену деления каждой шкалы и напряжение, соответствующее показаниям этих приборов.
2. На рис. 2 изображена схема электрической цепи. Перечертите схему в тетрадь и покажите на ней, где нужно подключить вольтметр, чтобы измерить напряжение на лампе. Обозначьте полярность клемм вольтметра.
3. Перемещая по участку цепи заряд, равный 3 Кл, электрическое поле выполнило работу 0,12 кДж. Определите напряжение на этом участке цепи.
4. Какую работу выполнит электрическое поле, переместив заряд 4 Кл, если напряжение на этом участке цепи равно 12 В?
5. Электрическое поле, перемещая по электрической цепи заряд 60 Кл, выполняет такую же работу, как сила тяжести при падении тела массой 200 г с высоты 360 м. Чему равно напряжение на клеммах источника тока в данной цепи?

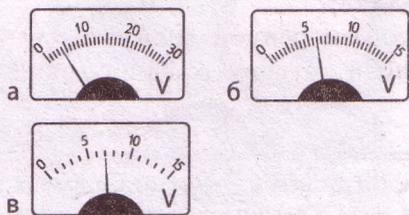


Рис. 1

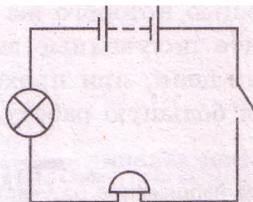
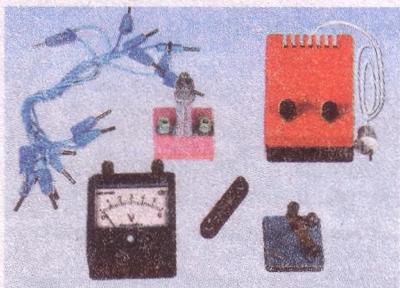


Рис. 2

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3



**Тема.** Измерение электрического напряжения с помощью вольтметра.

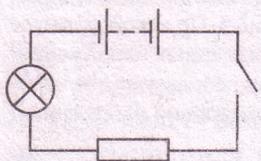
**Цель:** познакомиться с прибором для измерения напряжения, научиться измерять им напряжение на участке цепи.

**Оборудование:** вольтметр, источник тока, лампа на подставке, резистор, ключ, соединительные провода.

## УКАЗАНИЯ К РАБОТЕ

## II Подготовка к эксперименту

- Прежде чем приступить к выполнению работы, убедитесь, что вы знаете:
  - требования безопасности при работе с электрическими цепями;
  - правила, которые необходимо соблюдать при измерении напряжения с помощью вольтметра.
- Определите цену деления и пределы измерения шкалы вольтметра.



Элемент цепи	Напряжение $U$ , В
Лампа	
Резистор	

## Эксперимент

- Соберите электрическую цепь по схеме, изображенной на рисунке.
- С помощью вольтметра измерьте напряжение: а) на лампе; б) резисторе.
- Для каждого измерения начертите схему собранной электрической цепи.
- Результаты измерений занесите в таблицу.

## III Анализ эксперимента и его результатов

Проанализировав эксперимент и его результаты, сделайте вывод, в котором:

- укажите физическую величину, которую вы измеряли, и прибор, с помощью которого вы это делали;
- сравните полученные значения измеренной величины и укажите элемент цепи, при прохождении в котором электрический ток выполнил большую работу.

## + Творческое задание

Измерьте напряжение на участке цепи, состоящем из резистора и лампы. Начертите схему соответствующей электрической цепи. Сравните полученное значение напряжения с суммой напряжений на обоих устройствах. Объясните результат.

## § 11. ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ. ЗАКОН ОМА

?

Вспомните механический аналог электрической цепи, предложенный в § 8 (см. рис. 8.4). А теперь представьте, что достаточно долго именно вы будете «черпальщиком», то есть должны будете поддерживать вращение вертушки. Как это сделать с наименьшими усилиями? Скорее всего, вы постараетесь сделать так, чтобы вода из трубки выливалась медленнее, и, видимо, для этого выберете очень тонкую трубку, а перепад уровней воды в сосудах сделаете по возможности меньшим.

Вспомните: разница уровней воды — аналог напряжения, а количество воды, прошедшее через трубку за 1 с, — аналог силы тока. Следовательно, можно предположить, что сила тока на участке электрической цепи уменьшается при уменьшении напряжения и зависит от проводящих свойств проводника. Проверим эти предположения.

### 1 Убеждаемся, что сила тока в проводнике зависит от напряжения на его концах

Соберем электрическую цепь, потребителем в которой будет металлический проводник, а источником тока — устройство, на выходе которого можно изменять напряжение. Для измерения силы тока в проводнике и напряжения на его концах воспользуемся амперметром и вольтметром (рис. 11.1, а).

Опыт показывает, что при увеличении напряжения на концах проводника в 2 раза сила тока в проводнике тоже возрастет в 2 раза (рис. 11.1, б); увеличение напряжения на концах проводника в 2,5 раза приведет к возрастанию силы тока в нем тоже в 2,5 раза (рис. 11.1, в) и т. д.

Таким образом, во сколько раз увеличится (уменьшится) напряжение на концах проводника, во столько же раз возрастет (уменьшится) в проводнике сила тока. Другими словами, *сила тока в проводнике прямо пропорциональна напряжению на концах проводника*. Эту зависимость впервые экспериментально установил немецкий ученый Г. Ом (рис. 11.2) в 1826 г.

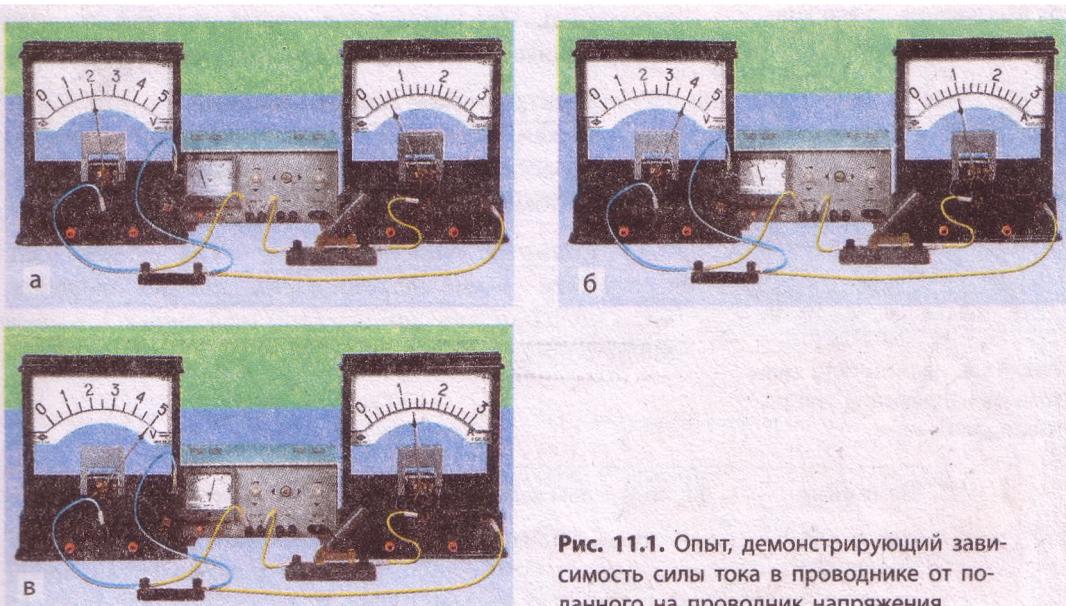
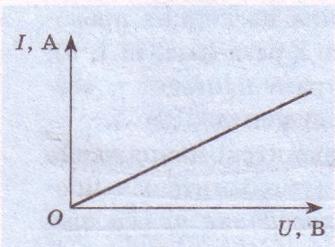


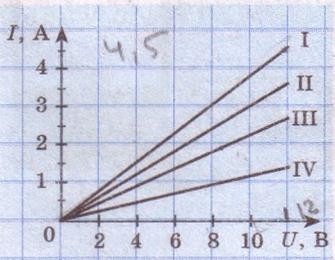
Рис. 11.1. Опыт, демонстрирующий зависимость силы тока в проводнике от поданного на проводник напряжения



**Рис. 11.2.** Георг Симон Ом (1787–1854) — немецкий физик, в 1826 г. экспериментально открыл закон, который позже был назван его именем



**Рис. 11.3.** График зависимости силы тока в проводнике от напряжения на его концах — прямая линия



**Рис. 11.4.** Зависимость силы тока от напряжения для разных проводников

Из курса математики вам известно, что такую зависимость можно выразить формулой  $I = kU$  ( $k$  — коэффициент пропорциональности) и представить в виде графика (рис. 11.3). Зависимость силы тока в проводнике от напряжения на его концах называют *вольт-амперной характеристикой проводника*, обычно ее представляют в виде графика (см. рис. 11.3) или таблицы.

## 2 Узнаём об электрическом сопротивлении

Проведя опыт, описанный в п. 1, с другими проводниками, увидим: сила тока в каждом проводнике пропорциональна напряжению на его концах ( $I=kU$ ), а вот коэффициент пропорциональности в каждом случае будет разным, о чем свидетельствуют разные углы наклона графиков (рис. 11.4).

Таким образом, *сила тока в проводнике зависит* не только от напряжения на его концах, но и *от свойств самого проводника*.

На практике зависимость  $I = kU$  чаще записывают в виде  $I = \frac{1}{R}U$  или  $I = \frac{U}{R}$ , где  $R$  — *электрическое сопротивление проводника*\*

При одинаковом напряжении на концах проводников сила тока меньше в том проводнике, который обладает большим сопротивлением. То есть, чем больше сопротивление проводника, тем сильнее проводник противодействует прохождению тока (*оказывает ему сопротивление*). При этом часть электрической энергии превращается во внутреннюю энергию проводника.

**Электрическое сопротивление** — это физическая величина, характеризующая свойство проводника противодействовать электрическому току.

Единица сопротивления в СИ — Ом (ом).

1 Ом — это сопротивление такого проводника, в котором при напряжении на концах 1 В сила тока равна 1 А:

$$1 \text{ Ом} = 1 \frac{\text{В}}{\text{А}}$$

1

\* Величину  $R$  в физике называют *проводимостью*. Единица проводимости в СИ — *сименс (См)*, названная в честь немецкого физика и электротехника *Эрнста Сименса* (1816–1892). 1 См — электрическая проводимость проводника с сопротивлением 1 Ом.

Большинство радиоэлектронных устройств невозможно представить без *резисторов*, — деталей, обеспечивающих определенные, сопротивления (рис. 11.5).

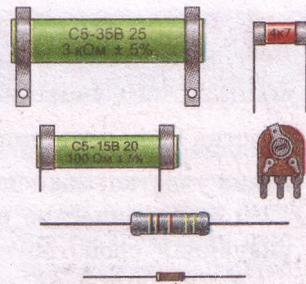


Рис. 11.5. Некоторые типы резисторов, используемые в электротехнике. Сопротивление резистора указано на его корпусе

### 3 Формулируем закон Ома для участка цепи

Все то, что вы узнали о сопротивлении проводника и о зависимости силы тока в проводнике от напряжения на его концах, справедливо и для участка цепи с любым количеством проводников. Таким образом, **закон Ома для участка цепи** формулируется так:

Сила тока я участке цепи прямо пропорциональна напряжению на концах этого участка.

Математической записью закона Ома является формула:

$$I = \frac{U}{R},$$

где  $R$  — *сопротивление участка цепи, которое зависит только от свойств проводников*, составляющих участок.

Закон Ома — один из важнейших физических законов, и большая часть расчетов электрических цепей в электротехнике базируется именно на нем.

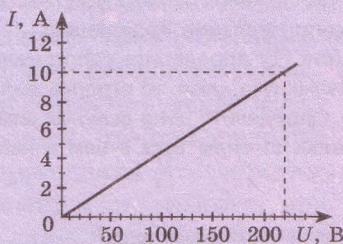
### 4 Учимся решать задачи

**Задача.** На рисунке представлена вольт-амперная характеристика металлического проводника. Воспользовавшись рисунком, определите сопротивление проводника.

Дано:

$$I = 10 \text{ А}$$

$$U = 220 \text{ В}$$



*Анализ физической проблемы*  
График зависимости силы тока от напряжения — это прямая линия, поэтому для определения сопротивления воспользуемся координатами любой точки графика и законом Ома.

$R$  — ?

*Поиск математической модели, решение*

На графике видим, что, например, при напряжении 220 В сила тока в проводнике равна 10 А.

Согласно закону Ома  $I = \frac{U}{R}$ , следовательно,  $R = \frac{U}{I}$ .

Определим значение искомой величины:

$$[R] = \frac{\text{В}}{\text{А}} = \text{Ом}; \{R\} = \frac{220}{10} = 22; R = 22 \text{ Ом}.$$

**Ответ:** сопротивление проводника 22 Ом.

**Подводим итоги**

Сила тока  $I$  в участке цепи прямо пропорциональна напряжению  $U$  на концах этого участка. Данную закономерность называют законом Ома для участка цепи и математически выражают формулой  $I = \frac{U}{R}$ , где  $R$  — сопротивление участка, зависящее только от свойств составляющих его проводников.

Электрическое сопротивление — это физическая величина, характеризующая свойство проводника противодействовать электрическому току.

Единица сопротивления в СИ — Ом. 1 Ом — это сопротивление такого проводника, в котором течет ток силой 1 А при напряжении на концах проводника 1 В.

**Контрольные вопросы**

1. Как показать на опыте, что сила тока в проводнике пропорциональна напряжению на его концах?
2. Как показать на опыте, что сила тока в проводнике зависит от свойств проводника?
3. Что такое сопротивление проводника?
4. В честь какого ученого названа единица сопротивления проводника?
5. Что такое 1 Ом?
6. Сформулируйте закон Ома для участка цепи.

**Упражнение № 11**

1. На рис. 11.4 представлены вольт-амперные характеристики нескольких проводников. Определите сопротивления этих проводников.
2. Сила тока, протекающего в спирали кипятильника, равна 1,5 А. Определите напряжение на концах спирали, если ее сопротивление 150 Ом.
3. Если на некотором участке цепи напряжение равно 12 В, то сила тока в этом участке — 0,6 А. Какой будет сила тока в участке, если к его концам приложить напряжение 6 В? 20 В? 1 В?
4. В вольтметре, показывающем 120 В, сила тока равна 15 мА. Определите сопротивление вольтметра.

Представьте в виде графика вольт-амперную характеристику проводника сопротивлением 2 Ом.

6. По проводнику, к концам которого приложено напряжение 12 В, за 5 мин прошел заряд, равный 60 Кл. Определите сопротивление проводника.
7. Пользуясь показаниями приборов (рис. 1), определите сопротивление лампы.
8. Если в электрической цепи (рис. 2) замкнуть ключ, то стрелка амперметра примет положение, показанное на рисунке. Определите цену деления шкалы амперметра.
9. Зависит ли сопротивление проводника от силы тока в нем и напряжения на его концах? Поясните свой ответ.

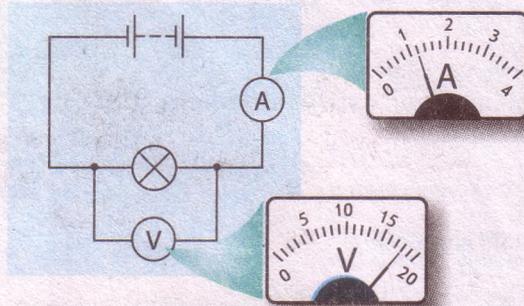


Рис. 1

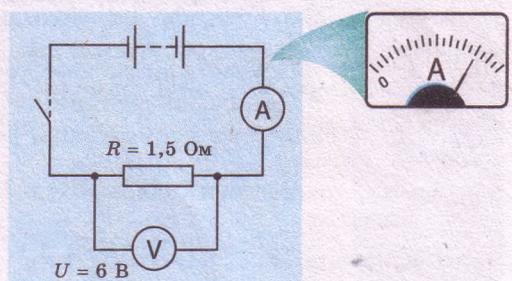


Рис. 2

## § 12. УДЕЛЬНОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ ВЕЩЕСТВА. РАСЧЕТ СОПРОТИВЛЕНИЯ ПРОВОДНИКА. РЕОСТАТЫ



Мы так привыкли к различным техническим устройствам, что часто не задумываемся, как именно они работают. Например, каждый из вас увеличивал громкость звука радио, телевизора, наблюдал за тем, как постепенно гаснет свет в кинозале перед началом сеанса. Но задавались ли вы вопросом, как это удается? Попробуем разобраться. А еще вы узнаете, почему при изготовлении проводов для линий электропередачи или электропроводки для помещений обычно используют алюминий и медь, а не более дешевую сталь.



### Выясняем, от чего зависит сопротивление проводника

Когда по металлическому проводнику течет ток, то свободные электроны, двигаясь направленно, сталкиваются с ионами, расположенными в узлах кристаллической решетки металла. В результате средняя скорость направленного движения заряженных частиц уменьшается — проводник оказывает сопротивление электрическому току.

Известно, что *сопротивление проводника зависит от его длины, площади поперечного сечения, а также от вещества, из которого он изготовлен.* Убедимся в этом с помощью опытов, изменяя каждый раз только один из указанных параметров. Сопротивление проводника будем определять, используя закон Ома. То есть, измерив амперметром силу тока  $I$  в проводнике, а вольтметром — напряжение  $U$ , вычислим сопротивление проводника:  $R = \frac{U}{I}$ .

Сначала выясним, как сопротивление проводника зависит от его длины. Для этого соберем электрическую цепь из источника тока, резистора и тонкого длинного проводника из нихрома, натянутого на деревянную линейку с двумя клеммами. Чтобы изменять длину проводника, воспользуемся ползунком — специальным зажимом, который можно легко передвигать вдоль проводника. Для измерения силы тока и напряжения подключим к цепи амперметр и вольтметр (рис. 12.1).

Проведя соответствующие исследования, убедимся, что при уменьшении длины проводника его сопротивление уменьшается, и наоборот, при увеличении длины проводника его сопротивление возрастает. Причем во сколько раз увеличивается (уменьшается) длина проводника, во столько же раз увеличивается (уменьшается) его сопротивление. Многочисленные опыты подтверждают, что *сопротивление проводника прямо пропорционально его длине.*

Чтобы выяснить, как зависит сопротивление проводника от

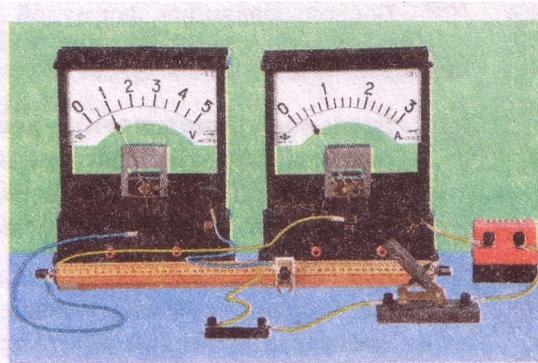
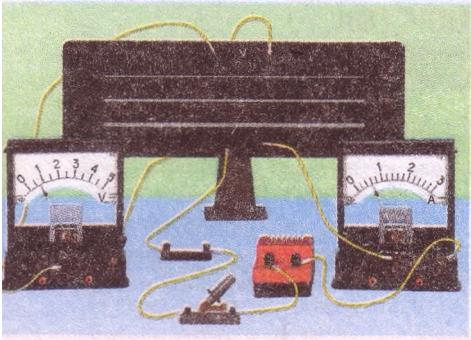
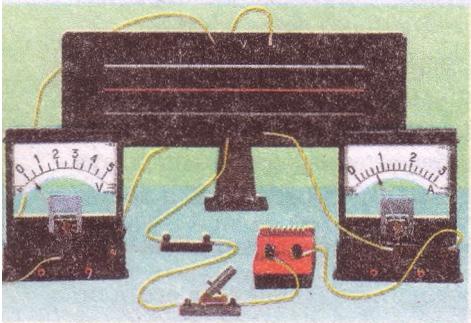


Рис. 12.1. Опыт, доказывающий, что сопротивление проводника прямо пропорционально его длине



**Рис. 12.2.** Опыт, доказывающий, что сопротивление проводника обратно пропорционально площади его поперечного сечения



**Рис. 12.3.** Опыт, доказывающий, что сопротивление проводника зависит от вещества, из которого он изготовлен

площади его поперечного сечения, возьмем несколько закрепленных на панели нихромовых проводников, одинаковых по длине, но разных по площади поперечного сечения (рис. 12.2). Опыт показывает, что увеличение вдвое площади поперечного сечения проводника приводит к двукратному уменьшению его сопротивления, и наоборот, уменьшение вдвое площади поперечного сечения приводит к двукратному увеличению сопротивления. Таким образом, *сопротивление проводника обратно пропорционально площади его поперечного сечения.*

Проведя опыты с проводниками, одинаковыми по длине и площади поперечного сечения, но изготовленными из разных веществ (рис. 12.3), убедимся, что *сопротивление проводника зависит от вещества, из которого этот проводник изготовлен.*

Подытоживая результаты опытов, можно записать формулу:

$$R = \rho \frac{l}{S},$$

где  $R$  — сопротивление проводника,  $l$  — его длина,  $S$  — площадь поперечного сечения;  $\rho$  — коэффициент пропорциональности, зависящий от вещества, из которого изготовлен проводник. Этот коэффициент называют *удельным сопротивлением вещества.*

## 2 Выясняем, что такое удельное сопротивление вещества

Воспользовавшись формулой для вычисления сопротивления:  $R = \rho \frac{l}{S}$ , получим, что  $\rho = \frac{RS}{l}$ . Отсюда следует, что если  $l = 1 \text{ м}$ ,  $S = 1 \text{ м}^2$ , то  $\{\rho\} = \{R\}$ .

**Удельное сопротивление вещества** — это физическая величина, которая характеризует электрические свойства данного вещества и численно равна сопротивлению изготовленного из него проводника длиной 1 м и площадью поперечного сечения 1 м<sup>2</sup>.

*Единица удельного сопротивления в СИ — ом-метр (Ом м).*

На практике в большинстве случаев имеют дело с проводниками, площади поперечных сечений которых довольно малы. Поэтому часто в качестве единицы удельного сопротивления вещества используют  $\frac{\text{Ом} \cdot \text{мм}^2}{\text{м}}$ . Поскольку  $1 \text{ мм}^2 = 1 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2$ , то  $1 \frac{\text{Ом} \cdot \text{мм}^2}{\text{м}} = 1 \cdot 10^{-6} \text{ Ом} \cdot \text{м}$ .

### 3 Сравниваем удельные сопротивления некоторых веществ

Сопротивления проводников, которые имеют одинаковые геометрические размеры, но изготовлены из разных веществ, существенно отличаются. А это значит, что удельные сопротивления веществ различны (см. таблицу). Опыты показывают, что значение удельного сопротивления вещества обусловлено химической природой этого вещества и существенно зависит от его температуры.

Удельные электрические сопротивления некоторых веществ  
(при температуре 20 °С)

Вещество	$\rho, \frac{\text{Ом} \cdot \text{мм}^2}{\text{м}}$	Вещество	$\rho, \frac{\text{Ом} \cdot \text{мм}^2}{\text{м}}$
Серебро	0,016	Нихром (сплав)	1,1
Медь	0,017	Фехраль (сплав)	1,3
Золото	0,024	Графит	13
Алюминий	0,028	Вода морская	$3 \cdot 10^5$
Вольфрам	0,055	Вода дистиллированная	$10^9 - 10^{10}$
Латунь (сплав)	0,07–0,08	Древесина сухая	$10^{15} - 10^{16}$
Железо, платина	0,10	Пенопласт	$10^{17}$
Свинец	0,21	Резина	$10^{17} - 10^{18}$
Никелин (сплав)	0,42	Стекло	$10^{15} - 10^{19}$
Манганин (сплав)	0,43	Фарфор	$10^{19}$
Константан (сплав)	0,50	Эбонит	$10^{18} - 10^{20}$
Ртуть	0,96	Воздух	$10^{21} - 10^{24}$

Из таблицы видим, что среди металлов наименьшее удельное сопротивление имеют серебро, медь, золото и алюминий. Следовательно, при изготовлении электропроводки для помещений или проводов для линий электропередачи целесообразно использовать медные и алюминиевые провода.

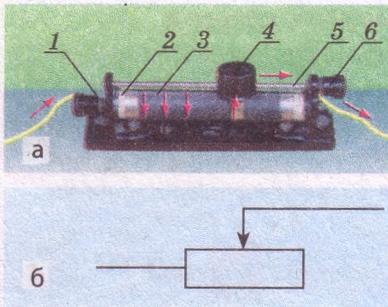
Удельное сопротивление резины, фарфора, эбонита очень велико, то есть эти вещества практически не проводят электрический ток; в электротехнике их используют в качестве изоляторов.

### 4 Знакомимся с реостатами

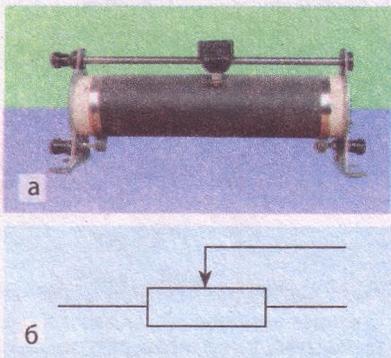
На факте, что сопротивление проводника прямо пропорционально его длине, основан принцип действия *реостата* (от греч. *rheos* — течение, поток; *statos* — стоящий).

**Реостат** — это устройство с переменным сопротивлением, предназначенное для регулирования силы тока в участке электрической цепи.

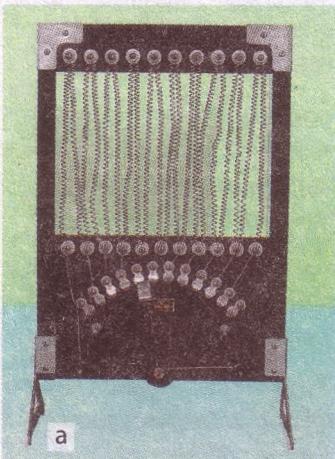
Реостат, включенный в электрическую цепь устройства, позволяет изменять силу тока, а следовательно, настраивать громкость звука радиоприемника, регулировать яркость свечения лампы и т. д.



**Рис. 12.4.** Двухконтактный ползунковый реостат: *а* — внешний вид; 1, 6 — клеммы; 2 — керамический цилиндр; 3 — металлический провод (обмотка); 4 — ползунок; 5 — металлический стержень; 6 — условное обозначение на схемах



**Рис. 12.5.** Трехконтактный ползунковый реостат: *а* — внешний вид; б — условное обозначение на схемах



**Рис. 12.6.** Рычажный (секционный) реостат: *а* — внешний вид; б — схема: 1 — металлический провод; 2 — рычаг; 3 — контакт; стрелками показано направление тока

С простейшим реостатом вы уже встречались, когда выясняли зависимость сопротивления проводника от его длины (см. рис. 12.1). Конечно, реостаты, применяемые на практике, более удобны. Рассмотрим, например, *двухконтактный ползунковый реостат* (рис. 12.4). Металлический провод (3) наматывают на керамический цилиндр (2) и таким образом уменьшают габариты реостата. Над обмоткой закрепляют металлический стержень (5), по которому перемещают крепко прижатый к обмотке скользящий контакт — ползунок (4).

Реостат имеет две клеммы (два контакта), одна из которых (6) соединена со стержнем, а вторая (1) — с обмоткой. Когда реостат подключен к цепи, электрический ток проходит от одной клеммы к другой (сначала по виткам обмотки к ползунку, а затем по стержню).

Передвигая ползунок вдоль обмотки, плавно увеличивают или уменьшают длину участка, в котором проходит ток. Следовательно, сопротивление реостата тоже плавно увеличивается или уменьшается, что, согласно закону Ома, приводит к плавному изменению силы тока.

Ползунковый реостат может иметь три клеммы. Такой реостат называют *трехконтактным ползунковым реостатом* (рис. 12.5). Его можно использовать для изменения не только силы тока в цепи, но и напряжения. Во время работы в режиме *делителя напряжения* реостат включают с помощью всех трех клемм. С принципом действия делителя напряжения вы познакомитесь в следующем параграфе.

Кроме ползунковых реостатов, на практике используют и другие типы реостатов, например *рычажные (секционные) реостаты*, (рис. 12.6). В отличие от ползунковых, сопротивление рычажных реостатов изменяется скачкообразно (подумайте почему), соответственно скачкообразно изменяется и сила тока. Рычажные реостаты применяют для включения и выключения электродвигателей.

Каждый реостат рассчитан на определенное напряжение. Максимальное сопротивление реостата и наибольшее возможное напряжение для него указаны в специальной таблице на корпусе устройства.

Обмотки реостатов обычно изготавливают из металлов (сплавов) с высоким удельным сопротивлением (манганин, нихром, фехраль и др.).

**5 Учимся решать задачи**

**Задача 1.** Определите силу тока в медном проводнике, имеющем длину 10 м и площадь поперечного сечения 0,5 мм<sup>2</sup>, если напряжение на концах проводника составляет 34 мВ.

Дано:  
 $l = 10 \text{ м}$   
 $S = 0,5 \text{ мм}^2$   
 $U = 0,034 \text{ В}$   
 $\rho = 0,017 \frac{\text{Ом} \cdot \text{мм}^2}{\text{м}}$

$I = ?$

*Анализ физической проблемы*  
 Силу тока можно вычислить по закону Ома. Однако для этого необходимо определить сопротивление проводника. Воспользуемся формулой для расчета сопротивления проводника; удельное сопротивление меди найдем в соответствующей таблице.

*Поиск математической модели, решение*  
 Согласно закону Ома  $I = \frac{U}{R}$  (\*).  
 Сопротивление проводника определяется по формуле  $R = \rho \frac{l}{S}$ . Подставим выражение для  $R$  в формулу (\*):

$$I = \frac{U}{\rho \cdot \frac{l}{S}} = \frac{U \cdot S}{\rho \cdot l}$$

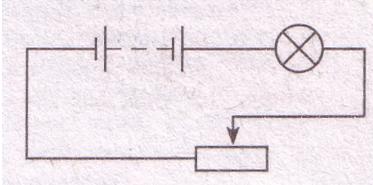
Определим значение искомой величины:

$$[I] = \frac{\text{В} \cdot \text{мм}^2}{\text{Ом} \cdot \frac{\text{мм}^2}{\text{м}} \cdot \text{м}} = \frac{\text{В} \cdot \text{мм}^2}{\text{Ом} \cdot \text{мм}^2} = \frac{\text{В}}{\text{А}} = \text{А};$$

$$\{I\} = \frac{0,034 \cdot 0,5}{0,017 \cdot 10} = 0,1; \quad I = 0,1 \text{ А}.$$

*Ответ:* сила тока в проводнике 0,1 А.

**Задача 2.** На рисунке изображена схема электрической цепи, состоящей из источника тока, электрической лампы и реостата. Как изменится накал спирали лампы, если ползунок реостата передвинуть вправо?



### Анализ физической проблемы, решение

Если передвинуть ползунок реостата вправо, длина обмотки, в которой протекает ток, увеличится. Следовательно, сопротивление реостата также увеличится, соответственно увеличится и общее сопротивление участка цепи. Поскольку общее напряжение на участке цепи не изменилось, то увеличение сопротивления приведет к уменьшению силы тока (согласно закону Ома). Значит, накал спирали лампы уменьшится.

**Ответ:** накал спирали лампы уменьшится.

### Подводим итоги

Сопротивление  $R$  проводника прямо пропорционально его длине  $l$ , обратно пропорционально площади  $S$  его поперечного сечения и зависит от вещества, из которого изготовлен проводник:  $R = \rho \frac{l}{S}$ , где  $\rho$  — удельное сопротивление вещества.

Удельное сопротивление вещества — это физическая величина, которая характеризует электрические свойства данного вещества и численно равна сопротивлению изготовленного из него проводника длиной 1 м и площадью поперечного сечения  $1 \text{ м}^2$ .

Для регулирования силы тока в цепи используют реостаты — устройства, сопротивление которых можно изменять.

На практике применяют ползунковые, рычажные (секционные) и другие реостаты.

### Контрольные вопросы

- Докажите, что проводник оказывает сопротивление электрическому току.
- Как доказать, что сопротивление проводника прямо пропорционально его длине?
- Зависит ли сопротивление проводника от площади его поперечного сечения? Если зависит, то как?
- По какой формуле вычисляют сопротивление проводника?
- Что такое удельное сопротивление вещества?
- Какими свойствами вещества определяется возможность его использования для изготовления электропроводки?
- Что такое реостат?
- Какие виды реостатов вы знаете? Чем они отличаются друг от друга?
- Опишите устройство и принцип действия ползункового реостата.
- Как обозначают ползунковый реостат на схеме?

### Упражнение № 12

- На рис. 1 изображены проводники, имеющие одинаковую площадь поперечного сечения, но изготовленные из разных веществ (железа, меди, свинца). Определите, из какого вещества изготовлен каждый проводник, если известно, что их сопротивления одинаковы.
- Используя рис. 2, опишите принцип действия штепсельного реостата.
- Вычислите сопротивление медного провода длиной 1 км, если площадь его поперечного сечения  $0,68 \text{ см}^2$ .

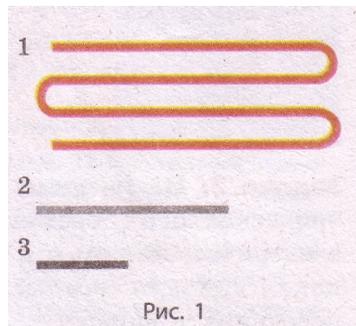


Рис. 1

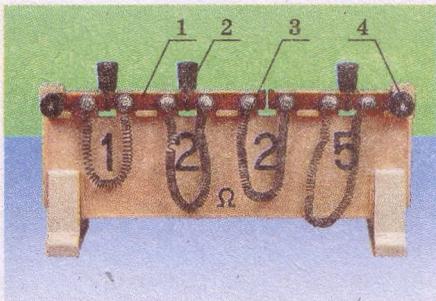


Рис. 2. Штепсельный реостат (магазин сопротивлений): 1 — медная пластина; 2 — штепсель; 3 — спираль; 4 — зажим

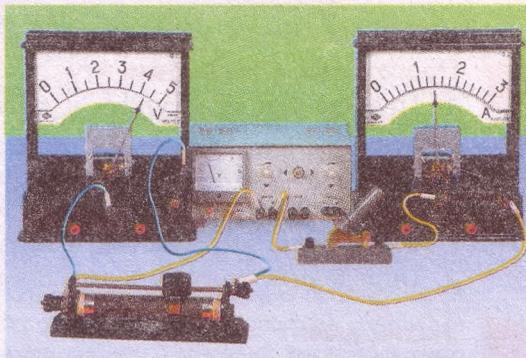


Рис. 3

4. Изолированный провод сопротивлением 25 Ом разрезали пополам и половины свили. Как и во сколько раз изменилось сопротивление провода? Поясните свой ответ.
5. Начертите схему электрической цепи, представленной на рис. 3. По показаниям электроизмерительных приборов вычислите сопротивление включенной части реостата. Как изменятся полученное вами значение и показания приборов, если ползунок реостата передвинуть вправо?
6. Какой длины должен быть нихромовый провод с поперечным сечением  $0,2 \text{ мм}^2$ , чтобы при прохождении в нем тока силой  $0,4 \text{ А}$  напряжение на его концах составляло  $4,4 \text{ В}$ ?
7. При токе  $15 \text{ А}$  напряжение на концах медного провода длиной  $10 \text{ м}$  составляет  $0,85 \text{ В}$ . Определите диаметр провода.
- 8\*. При прохождении электрического тока в алюминиевом проводе длиной  $100 \text{ м}$  напряжение на его концах составляет  $1 \text{ В}$ . Какова масса алюминиевого провода, если сила тока в нем равна  $15 \text{ А}$ ? Плотность алюминия  $2700 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ .

### Экспериментальное задание

Изготовьте из стального провода резистор, имеющий сопротивление  $0,2 \text{ Ом}$ . Опишите свои действия. Не забудьте указать диаметр и длину используемого провода.

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 4



**Тема.** Измерение сопротивления проводника с помощью амперметра и вольтметра.

**Цель:** научиться определять сопротивление проводника с помощью амперметра и вольтметра; убедиться на опыте, что сопротивление проводника не зависит от силы тока в нем и напряжения на его концах.

**Оборудование:** источник тока, резистор, ползунковый реостат, амперметр, вольтметр, ключ, соединительные провода.

## УКАЗАНИЯ К РАБОТЕ

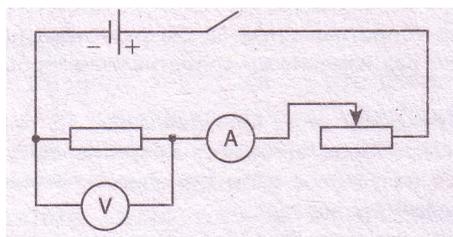
**Подготовка к эксперименту**

- Прежде чем приступить к выполнению работы, убедитесь, что вы знаете:
  - требования безопасности при работе с электрическими цепями;
  - правила, которые необходимо соблюдать, выполняя измерения с помощью амперметра и вольтметра.
- Определите цену деления шкал вольтметра и амперметра.

**Эксперимент**

*(Результаты измерений сразу заносите в таблицу.)*

- Соберите электрическую цепь по приведенной схеме:



- Замкните цепь и измерьте напряжение на концах резистора и силу тока в нем.
- Плавно передвигая ползунок реостата, увеличьте силу тока в цепи. Запишите показания вольтметра и амперметра.
- Передвиньте ползунок реостата в противоположную сторону и еще раз измерьте напряжение и силу тока.

**Обработка результатов эксперимента**

- Вычислите сопротивление резистора для каждого случая.
- Результаты вычислений занесите в таблицу.

Номер опыта	Сила тока $I$ , А	Напряжение $U$ , В	Сопротивление $R$ , Ом
1			

**Анализ эксперимента и его результатов**

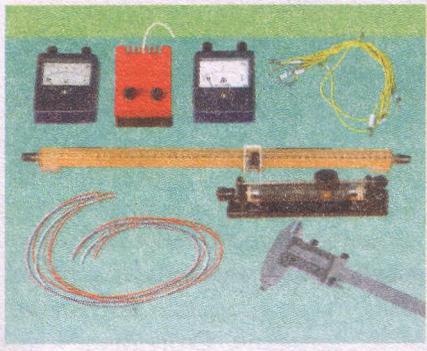
Проанализировав эксперимент и его результаты, сделайте вывод, в котором укажите:

- какую физическую величину и с помощью каких приборов вы научились измерять;
- зависит ли измеряемая величина от силы тока в резисторе и напряжения на его концах;
- факторы, повлиявшие на точность измерения.

**Творческое задание**

По полученным в ходе эксперимента данным постройте график, отображающий вольт-амперную характеристику резистора. По графику определите значение сопротивления резистора.

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 5



**Тема.** Изучение зависимости электрического сопротивления проводника от его длины, площади поперечного сечения, вещества, из которого он изготовлен.

**Цель:** выяснить, как зависит электрическое сопротивление проводника от его длины и площади поперечного сечения; доказать, что электрическое сопротивление проводника зависит от вещества, из которого он изготовлен.

**Оборудование:** источник тока, вольтметр, амперметр, реостат, изоляционная панель, три провода, изготовленные из одного и того же вещества, одинаковые по длине и диаметру; три провода, изготовленные из разных веществ, одинаковые по длине и диаметру; соединительные провода; штангенциркуль или микрометр.

### УКАЗАНИЯ К РАБОТЕ

#### Подготовка к эксперименту

1. Прежде чем приступить к выполнению работы, убедитесь, что вы знаете:
  - 1) требования безопасности при работе с электрическими цепями;
  - 2) правила, которые необходимо соблюдать, проводя измерения с помощью амперметра и вольтметра.
2. Определите цену деления шкал амперметра и вольтметра.

#### Эксперимент

1. Исследуйте зависимость сопротивления проводника от его длины. Для этого выполните такие действия (*результаты измерений и вычислений сразу заносите в табл. 1*):
  - 1) возьмите один из проводов, изготовленных из одного и того же вещества, одинаковых по длине и диаметру, и закрепите его с помощью клемм на изоляционной панели;
  - 2) соберите электрическую цепь по схеме, изображенной на с. 68, измерьте силу тока в проводе и напряжение на нем;
  - 3) уменьшив длину провода сначала в два, а потом в четыре раза, снова измерьте силу тока в проводе и напряжение на нем;
  - 4) для каждого случая вычислите сопротивление провода по формуле  $R = \frac{U}{I}$ ;
  - 5) сделайте вывод о характере зависимости сопротивления проводника от его длины.

Таблица 1

Номер опыта	Напряжение $U, В$	Сила тока $I, А$	Длина проводника $l$	Сопротивление $R, Ом$
1			$l$	
2			$l/2$	
3			$l/4$	

2. Исследуйте зависимость сопротивления проводника от площади его поперечного сечения (*результаты измерений и вычислений сразу заносите в табл. 2*). Используйте три провода, изготовленные из одного и того же вещества, одинаковые по длине и диаметру. Считайте, что, когда к клеммам подключен один провод, площадь поперечного сечения проводника равна  $S$ , когда к той же паре клемм подключены два провода, —  $2S$ , а когда три провода —  $3S$ .

Для каждого случая измерьте силу тока в проводнике, напряжение на нем и вычислите сопротивление проводника.

Сделайте вывод о характере зависимости сопротивления проводника от площади его поперечного сечения.

Таблица 2

Номер опыта	Напряжение $U, В$	Сила тока $I, А$	Площадь поперечного сечения проводника $S$	Сопротивление $R, Ом$
1			$S$	
2			$2S$	
3			$3S$	

3. Докажите, что сопротивление проводника зависит от вещества, из которого он изготовлен (*результаты измерений и вычислений сразу заносите в табл. 3*). Для эксперимента используйте три провода, изготовленные из разных веществ, одинаковые по длине и диаметру.

Таблица 3

Номер опыта	Напряжение $U, В$	Сила тока $I, А$	Сопротивление $R, Ом$
1			
2			
3			

### Анализ эксперимента и его результатов

Проанализировав эксперимент и его результаты, сделайте вывод, в котором укажите:

- 1) как зависит электрическое сопротивление проводника от его длины и площади поперечного сечения;
- 2) зависит ли сопротивление проводника от вещества, из которого он изготовлен;
- 3) какие факторы могли повлиять на точность полученных вами результатов.

**+** **Творческое задание**  
 Экспериментально определите удельное сопротивление вещества, из которого изготовлен один из проводов, использованных вами во время эксперимента. Объясните, почему полученное значение может отличаться от указанного в таблице удельных сопротивлений (см. с. 63).

## § 13. ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОЕ СОЕДИНЕНИЕ ПРОВОДНИКОВ

**?!?** Представьте себе плейер, не имеющий кнопки «Включение/выключение», то есть такой, который можно, например, выключить, только вынув из его корпуса аккумулятор. Очень неудобно, не так ли? Но отсутствие выключателя – это лишь неудобство в пользовании, а вот неправильное подключение выключателя к электрической цепи может привести к неприятности (плейер может выйти из строя). О том, как нужно подключать выключатели к устройствам и приборам и какие особенности имеет такое соединение, вы узнаете из этого параграфа.

### 1 Изучаем характерные особенности цепи, состоящей из последовательно соединенных проводников

Электрическая цепь, представленная на рис. 13.1, не имеет разветвлений: элементы цепи расположены последовательно друг за другом. Такое соединение проводников называют *последовательным*.

Обратите внимание: если один из последовательно соединенных проводников выйдет из строя, то остальные тоже не будут работать, так как *цепь окажется разомкнутой*.

Вы уже использовали последовательное соединение проводников, когда измеряли амперметром силу тока (см. лабораторную работу № 2), поэтому легко можете предугадать результаты опыта, представленного на рис. 13.2, и сделать вывод о том, что в случае последовательного соединения проводников общая сила тока в цепи и сила тока в каждом проводнике одинаковы:  $I = I_1 = I_2$ .

Прийти к такому выводу можно путем простых рассуждений. Поскольку цепь с последовательным соединением проводников не содержит разветвлений, то заряд,

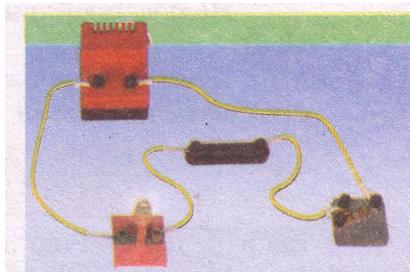
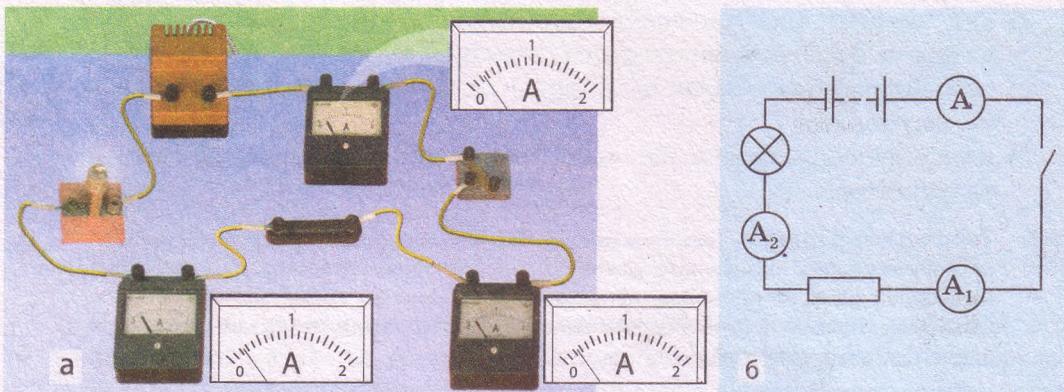


Рис. 13.1. Последовательное соединение нескольких проводников



**Рис. 13.2.** Измерение силы тока в разных участках электрической цепи, состоящей из последовательно соединенных проводников: *а* — общий вид электрической цепи; *б* — схема. Сила тока во всех проводниках одинакова

прошедший через поперечное сечение любого проводника за определенное время  $t$ , будет одинаковым:  $q = q_1 = q_2$ . Разделив это выражение на  $t$ , получаем:  $\frac{q}{t} = \frac{q_1}{t} = \frac{q_2}{t}$ . Следовательно,  $I = I_1 = I_2$ .

Чтобы выяснить, каким соотношением связаны общее напряжение  $U$  на двух последовательно соединенных проводниках и напряжения  $U_1$  и  $U_2$  на первом и втором проводниках соответственно, вспомним формулу для расчета напряжения:  $U = \frac{A}{q}$ .

Если электрическое поле выполняет работу  $A_1$  по перемещению заряда  $q$  в первом проводнике и  $A_2$  — во втором, то понятно, что для перемещения заряда через оба проводника должна быть выполнена работа  $A = A_1 + A_2$ . Разделив обе части равенства на  $q$ , получаем:  $\frac{A}{q} = \frac{A_1}{q} + \frac{A_2}{q}$ , или  $U = U_1 + U_2$ . Следовательно, общее напряжение  $U$  на двух последовательно соединенных проводниках равно сумме напряжения  $U_1$  на первом проводнике и напряжения  $U_2$  на втором проводнике.

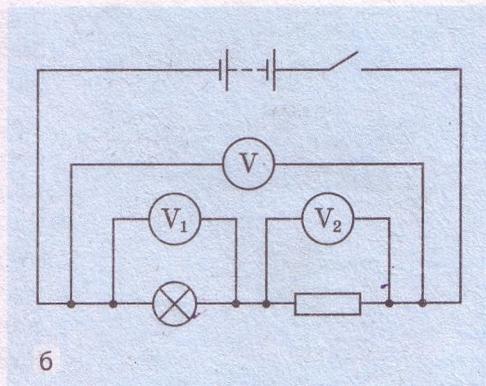
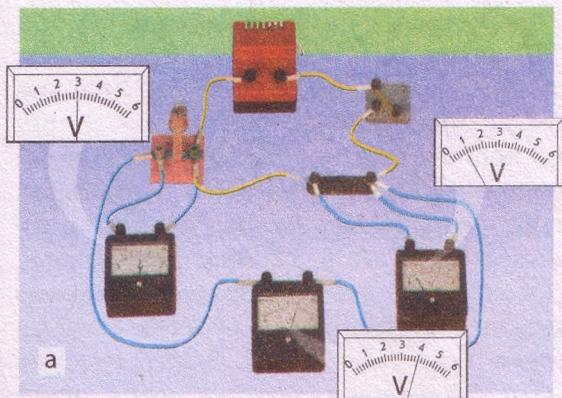
Полученный вывод легко проверить экспериментально (рис. 13.3).

Приведенные соотношения выполняются для любого количества последовательно соединенных проводников:

$$I = I_1 = I_2 = \dots = I_n; \quad U = U_1 + U_2 + \dots + U_n,$$

где  $n$  — количество проводников.

Чтобы лучше понять свойства последовательного соединения проводников, воспользуйтесь механической аналогией (рис. 13.4); соответствующие параллели проведите самостоятельно.



**Рис. 13.3.** Измерение напряжения на разных участках электрической цепи, состоящей из последовательно соединенных проводников: *а* — общий вид электрической цепи; *б* — схема. Общее напряжение на участке цепи, содержащем последовательно соединенные лампу и резистор, равно сумме напряжений на отдельных устройствах

## 2 Выводим формулу для расчета сопротивления

Для вычисления общего сопротивления участка цепи, состоящего из двух последовательно соединенных проводников, воспользуемся соотношением  $U = U_1 + U_2$ .

Согласно закону Ома сила тока во всем участке цепи составляет  $I = \frac{U}{R}$ ; отсюда  $U = IR$ .

Поскольку  $I = I_1 = I_2$ , то  $U_1 = IR_1$ ,  $U_2 = IR_2$ . Следовательно, имеем:  $IR = IR_1 + IR_2 = I(R_1 + R_2)$ . После сокращения на  $I$  получаем:  $R = R_1 + R_2$ .

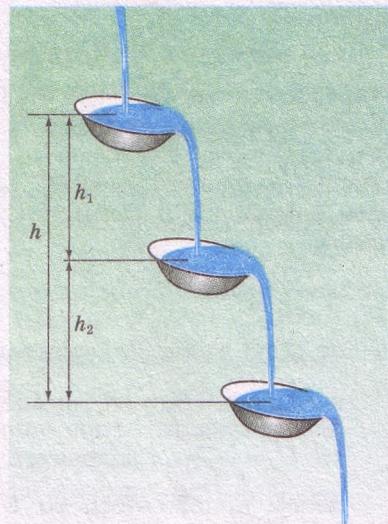
*Если цепь состоит из нескольких последовательно соединенных проводников, их общее сопротивление равно сумме сопротивлений отдельных проводников:*

$$R = R_1 + R_2 + \dots + R_n,$$

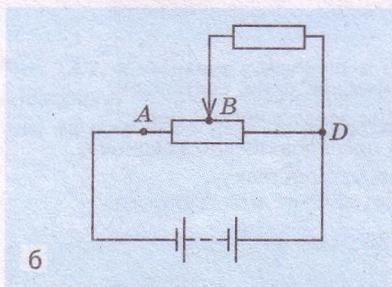
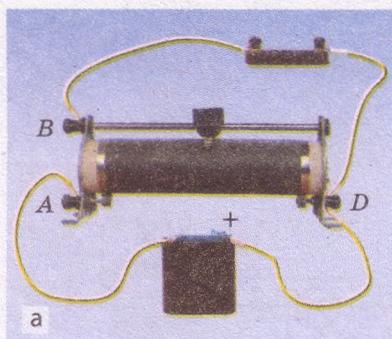
где  $n$  — количество проводников.

Анализируя последнюю формулу, можно сделать следующие выводы:

- общее сопротивление проводников, соединенных последовательно, больше сопротивления каждого из этих проводников;
- общее сопротивление  $R$  последовательно соединенных проводников, имеющих одинаковое сопротивление  $R'$ , равно:  $R = nR'$ , где  $n$  — количество проводников.



**Рис. 13.4.** Механическая модель последовательного соединения проводников



**Рис. 13.5.** Регулирование напряжения с помощью потенциометра: а — общий вид устройства; б — схема электрической цепи. Точками А, В, D обозначены клеммы

### 3 Знакомимся с потенциометром

Тот факт, что при последовательном соединении проводников напряжение на каждом из них меньше, чем общее напряжение, используют в устройствах для регулирования напряжения. Эти устройства называют *делителями напряжения* или *потенциометрами*. В § 12 уже говорилось, что в качестве делителя напряжения можно использовать ползунковый реостат с тремя клеммами (см. рис. 12.5). Электрическая цепь, которая содержит реостат, работающий в режиме делителя напряжения, представлена на рис. 13.5.

На клеммы А и D реостата подается напряжение  $U$  от источника тока (*напряжение на входе*). Клеммы В и D соединены с потребителем (резистором), напряжение  $U_1$  на котором необходимо регулировать. Это напряжение обычно называют *напряжением на выходе*.

Передвигая ползунок реостата вправо, изменяем сопротивление  $R_1$  активной части реостата (сопротивление участка BD) от  $R$  (сопротивление участка AD) до нуля. Уменьшение сопротивления реостата приводит к уменьшению выходного напряжения  $U_1$

от  $U$  до нуля. Действительно, поскольку напряжение между клеммами В и D равно  $U_1 = IR_1$ , а сила тока, проходящего через реостат, равна  $I = \frac{U}{R}$ , то  $U_1 = \frac{UR_1}{R}$ . Следовательно, когда  $R_1 = R$  (ползунок реостата в крайнем левом положении), то  $U_1 = U$ , то есть напряжение на выходе равно напряжению на входе; когда  $R_1 = 0$  (ползунок реостата в крайнем правом положении), то  $U_1 = 0$ , то есть напряжение на выходе тоже равно нулю.

### 4 Учимся решать задачи

**Задача.** Три резистора, имеющие сопротивления 2, 3 и 7 Ом, соединены последовательно. Каково сопротивление данного участка цепи? Вычислите напряжение на каждом резисторе и силу тока в этом участке цепи, если напряжение на участке равно 36 В?

Дано:

$$R_1 = 2 \text{ Ом}$$

$$R_2 = 3 \text{ Ом}$$

*Анализ физической проблемы*

Поскольку в условии задачи дано сопротивление каждого из трех последовательно соединенных резисторов, то можем рассчитать их общее сопротивление. Воспользовавшись законом Ома, вычислим силу тока в цепи. Зная, что сила тока

$$R_3 = 7 \text{ Ом}$$

$$U = 36 \text{ В}$$

$$R - ?$$

$$U_1 - ?$$

$$U_2 - ?$$

$$U_3 - ?$$

$$I - ?$$

в участке цепи, состоящем из последовательно соединенных проводников, везде одинакова, вычислим напряжение на каждом резисторе.

*Поиск математической модели, решение, анализ результатов*

$$R = R_1 + R_2 + R_3 = 2 \text{ Ом} + 3 \text{ Ом} + 7 \text{ Ом} = 12 \text{ Ом}.$$

$$\text{Согласно закону Ома: } I = \frac{U}{R} = \frac{36 \text{ В}}{12 \text{ Ом}} = 3 \text{ А}.$$

Поскольку  $I = I_1 = I_2 = I_3$ , то  $I_1 = 3 \text{ А}$ ;  $I_2 = 3 \text{ А}$ ;  $I_3 = 3 \text{ А}$ .

$$U_1 = I_1 R_1 = 3 \text{ А} \cdot 2 \text{ Ом} = 6 \text{ В}; \quad U_2 = I_2 R_2 = 3 \text{ А} \cdot 3 \text{ Ом} = 9 \text{ В};$$

$$U_3 = I_3 R_3 = 3 \text{ А} \cdot 7 \text{ Ом} = 21 \text{ В}.$$

Проанализируем результаты: общее напряжение на участке цепи  $U = 6 \text{ В} + 9 \text{ В} + 21 \text{ В} = 36 \text{ В}$ . Этот результат совпадает со значением напряжения в условии задачи, следовательно, задача решена правильно.

*Ответ:*  $R = 12 \text{ Ом}$ ;  $U_1 = 6 \text{ В}$ ;  $U_2 = 9 \text{ В}$ ;  $U_3 = 21 \text{ В}$ ;  $I = 3 \text{ А}$ .

### Подводим итоги

Электрическая цепь, состоящая из последовательно соединенных проводников, не имеет разветвлений. Проводники включаются в цепь последовательно, друг за другом. Выключение одного из потребителей приведет к размыканию цепи.

Если участок цепи состоит только из последовательно соединенных проводников ( $n$  — количество проводников), то выполняются следующие соотношения:

— сила тока во всем участке цепи и во всех проводниках одинакова:

$$I = I_r = I_n = \dots = I_n'$$

— общее напряжение на всем участке цепи равно сумме напряжений на отдельных проводниках:  $U = U_1 + U_2 + \dots + U_n$ ;

— общее сопротивление участка цепи больше сопротивления каждого проводника и вычисляется по формуле:  $R = R_1 + R_2 + \dots + R_n$ .

Делители напряжения (потенциометры) — устройства для регулирования напряжения на определенном участке цепи. В качестве делителя напряжения обычно используют трехконтактный ползунковый реостат.

### Контрольные вопросы

1. Какую особенность имеет цепь, состоящая из последовательно соединенных проводников?
2. Объясните, почему выключатель всегда соединяют с потребителем тока последовательно.
3. Какое существует соотношение между общей силой тока во всех последовательно соединенных проводниках и силой тока в каждом из них? Как его доказать?
4. Какое существует соотношение между общим напряжением на всех последовательно соединенных проводниках и напряжением на каждом из них? Как его доказать?
5. Как определить общее сопротивление цепи, состоящей из последовательно соединенных проводников?
6. Как изменится общее сопротивление участка цепи, если к нему последовательно подключить еще один проводник?
7. Опишите устройство и принцип действия делителя напряжения.



**Упражнение № 13**

1. Общее сопротивление двух ламп и реостата, соединенных последовательно, равно 65 Ом. Вычислите сопротивление реостата, если сопротивление каждой лампы 15 Ом.
2. Делитель напряжения состоит из двух резисторов (рис. 1). Сопротивление резистора  $R_1$  равно 15 Ом, резистора  $R_2$  — 10 Ом. На клеммы  $K_1$  и  $K_3$  подано напряжение 100 В. Вычислите напряжение между клеммами  $K_1$  и  $K_2$ .
3. Можно ли лампу для карманного фонарика, рассчитанную на силу тока 0,3 А, включить в осветительную сеть последовательно с лампой, которая рассчитана на напряжение 220 В и имеет сопротивление 1100 Ом? Поясните свой ответ.
4. Сопротивление одного из двух последовательно соединенных проводников 650 Ом. Определите сопротивление второго проводника, если сила тока в нем 80 мА, а общее напряжение на обоих проводниках равно 72 В.
5. Участок цепи (рис. 2) содержит три последовательно соединенных проводника сопротивлением:  $R_1 = 5$  Ом;  $R_2 = 8$  Ом;  $R_3 = 15$  Ом. Каково показание амперметра и чему равно напряжение между точками  $A$  и  $B$ , если показание вольтметра 1,6 В?

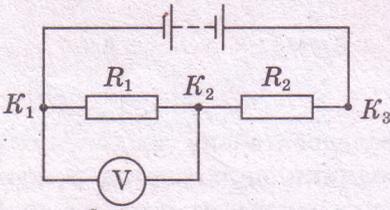


Рис. 1

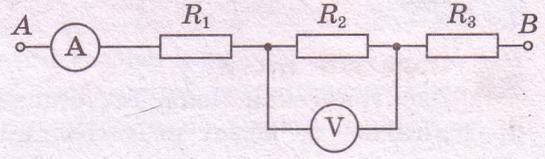


Рис. 2



**Экспериментальное задание**

Изготовьте устройство для проверки знаний (рис. 3). Для этого сделайте следующее.

1. На лист плотного картона наклейте в две колонки 10-16 прямоугольных полосок бумаги.
2. На бумажных полосках, расположенных в левой колонке, напишите вопросы.
3. На бумажных полосках, расположенных в правой колонке, напишите ответы, причем так, чтобы пара «вопрос — правильный ответ» не попадала на одну строку.
4. Рядом с каждым прямоугольником вставьте в картон кнопку с длинным острием.
5. На оборотной стороне картона с помощью проводов соедините кнопки так, чтобы образовались пары «вопрос — правильный ответ» (рис. 4), и соберите электрическую цепь.
6. Проверьте знания своих одноклассников, попросив их прикоснуться свободными концами проводов к клемме с вопросом и клемме с ответом. Если ответ правильный, то должна засветиться лампа.

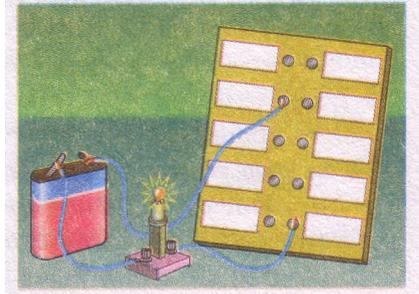


Рис. 3

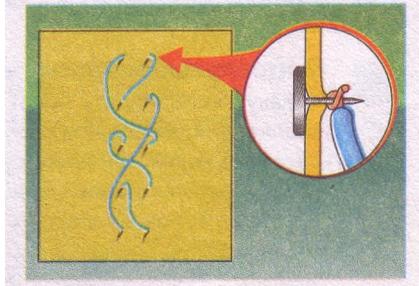


Рис. 4

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 6



**Тема.** Исследование электрической цепи с последовательным соединением проводников.

**Цель:** экспериментально проверить, что в случае последовательного соединения двух проводников выполняются соотношения:  $I=I_1=I_2$ ;  $U=U_1 + U_2$ ;  $R=R_1+R_2$ .

**Оборудование:** источник тока, вольтметр, амперметр, ключ, два резистора, соединительные провода.

### УКАЗАНИЯ К РАБОТЕ

#### II Подготовка к эксперименту

1. Прежде чем приступить к выполнению работы, убедитесь, что вы знаете требования безопасности при работе с электрическими цепями.
2. Начертите схему электрической цепи, состоящей из двух резисторов, ключа и источника тока, соединенных последовательно.
3. Составьте и запишите план проведения эксперимента. Если вы затрудняетесь это сделать, воспользуйтесь планом, приведенным ниже.

#### Эксперимент

**Опыт 1.** Сравнение силы тока в различных участках цепи, содержащей последовательное соединение проводников.

1. Соберите электрическую цепь по начерченной вами схеме.
2. Измерьте силу тока, включив амперметр сначала между источником тока и первым резистором ( $I_1$ ), потом между ключом и вторым резистором ( $I_2$ ), а затем между ключом и источником тока ( $I$ ). Начертите схемы соответствующих электрических цепей.
3. Результаты измерений занесите в табл. 1 и сделайте вывод.

Таблица 1

$I_1, A$	$I_2, A$	$I, A$	Вывод

**Опыт 2.** Сравнение общего напряжения на участке цепи, состоящем из последовательно соединенных резисторов, и суммы напряжений на отдельных резисторах.

1. В цепи, собранной для проведения опыта 1, измерьте напряжение сначала на первом резисторе ( $U_1$ ), потом на втором резисторе ( $U_2$ ), а затем на обоих резисторах ( $U$ ). Начертите схемы соответствующих электрических цепей.
2. Результаты измерений занесите в табл. 2, закончите заполнение таблицы, сделайте вывод.

Таблица 2

$U_1, \text{В}$	$U_2, \text{В}$	$U, \text{В}$	$(U_1 + U_2), \text{В}$	Вывод

**Обработка результатов эксперимента**

- Используя результаты опытов 1 и 2, вычислите сопротивление первого резистора ( $R_1$ ), второго резистора ( $R_2$ ) и сопротивление участка цепи, содержащего оба резистора ( $R$ ).
- Результаты вычислений занесите в табл. 3, закончите заполнение таблицы, сделайте вывод.

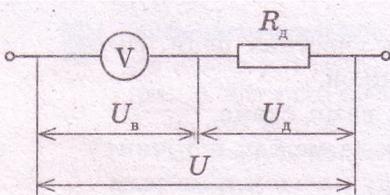
Таблица 3

$R_1, \text{Ом}$	$R_2, \text{Ом}$	$R, \text{Ом}$	$(R_1 + R_2), \text{Ом}$	Вывод

**Анализ эксперимента и его результатов**

Проанализировав эксперимент и его результаты, сделайте вывод, в котором укажите:

- какие соотношения для последовательно соединенных проводников вы проверяли и какие результаты получили;
- факторы, которые могли повлиять на точность полученных вами результатов.



**Творческое задание**

Прежде чем приступить к выполнению задания, внимательно прочтите теоретические сведения.

**Теоретические сведения**

Любой вольтметр рассчитан на измерение напряжения, не превышающего определенного предела. Но если к вольтметру последовательно подключить дополнительное сопротивление — резистор, то предел измерения вольтметра увеличится. Это произойдет потому, что измеряемое напряжение  $U$  делится на две части: одна часть ( $U_v$ ) приходится на вольтметр, а вторая ( $U_d$ ) — на резистор, обеспечивающий дополнительное сопротивление:  $U = U_v + U_d$  (см. рисунок). Значение дополнительного сопротивления  $R_d$  вычисляют по формуле  $R_d = R_v(n - 1)$ , где  $R_v$  — сопротивление вольтметра;  $n = \frac{U}{U_v}$  — коэффициент, показывающий, во сколько раз увеличивается предел измерения вольтметра, то есть во сколько раз возрастает цена деления его шкалы.

**Задание**

Решите задачу, результаты проверьте экспериментально.

Сопротивление школьного вольтметра равно 900 Ом, цена деления его шкалы — 0,2 В, предел измерения — 6 В. Резистор какого сопротивления необходимо последовательно подключить к вольтметру, чтобы увеличить предел его измерения до 30 В? Какой будет цена деления шкалы вольтметра в этом случае?

## § 14. ПАРАЛЛЕЛЬНОЕ СОЕДИНЕНИЕ ПРОВОДНИКОВ



На практике к электрической цепи часто приходится подключать сразу несколько потребителей. Так, цепь освещения школьного кабинета обязательно содержит несколько ламп, и при этом выход из строя одной лампы почти не влияет на работу остальных. Физики в таком случае говорят, что лампы соединены параллельно. О том, как рассчитать силу тока, напряжение и сопротивление при параллельном соединении проводников, вы узнаете из этого параграфа.

### 1 Изучаем цепь, состоящую из параллельно соединенных проводников

Рассмотрим электрическую цепь, которая содержит две параллельно соединенные лампы (рис. 14.1, а). Обратившись к схеме этой цепи (рис. 14.1, б), видим: во-первых, для прохождения тока в цепи есть два пути — две *ветви*, каждая из которых содержит одну лампу; во-вторых, обе ветви имеют общую пару точек — *A* и *B*. Такие точки называют *узловыми точками (узлами)\**. В узловых точках происходит разветвление цепи. *Разветвление является характерным признаком цепи с параллельным соединением проводников.*

Схема цепи может содержать не одну, а несколько пар узловых точек. При этом все проводники, подключенные к какой-либо паре узловых точек, считаются соединенными *параллельно* (рис. 14.2).

### 2 Выясняем, как рассчитать силу тока и напряжение в случае параллельного соединения проводников

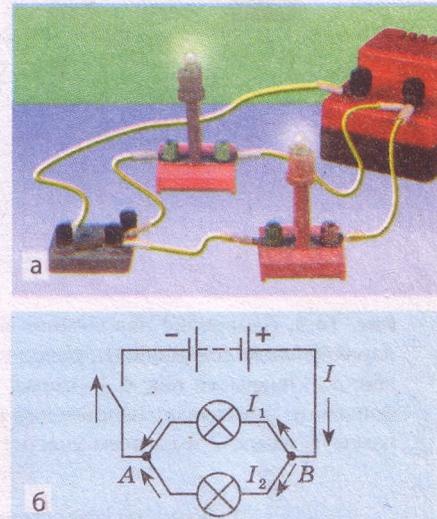
Чтобы определить напряжение на каждом из параллельно соединенных проводников, достаточно измерить напряжение между узловыми точками. Так, подключив вольтметр к паре узловых точек *A* и *B* (рис. 14.3), сразу измерим напряжение и на участке *AB*, и на каждой лампе.

*Общее напряжение на участке цепи и напряжение на каждом из параллельно соединенных проводников одинаково:*

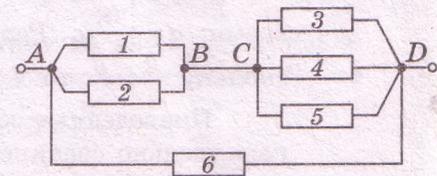
$$U = U_1 = U_2 = \dots = U_n,$$

где  $n$  — количество проводников.

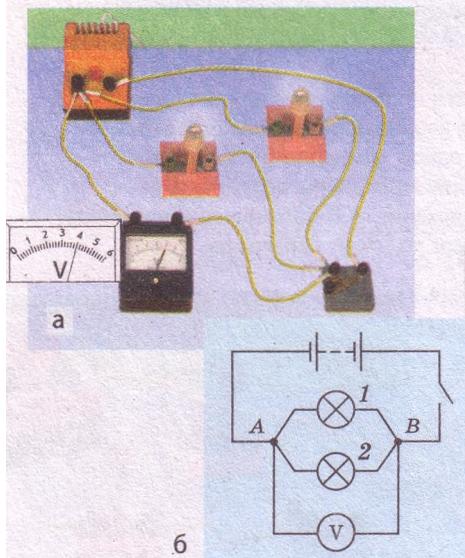
\* *Узловой точкой (узлом)* на электрической схеме цепи называют такую точку, в которой соединяются не менее чем три провода.



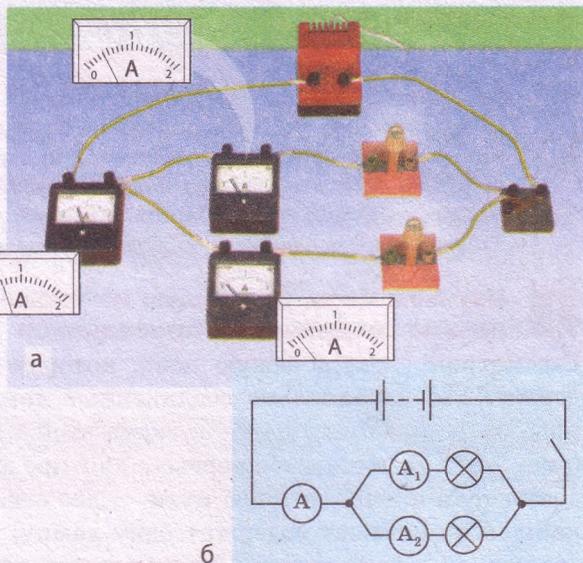
**Рис. 14.1.** Параллельное соединение нескольких потребителей: а — внешний вид; б — схема; стрелками показано направление тока



**Рис. 14.2.** Схема участка цепи, содержащего параллельное соединение проводников. Соединены параллельно: резисторы 1 и 2 (узлы *A* и *B*), резисторы 3, 4 и 5 (узлы *C* и *D*); резистор 6 подключен параллельно участку *AD* (узлы *A* и *D*)



**Рис. 14.3.** Измерение напряжения при параллельном соединении проводников: *a* — внешний вид; *б* — схема. Вольтметр показывает напряжение на лампе 1, лампе 2 и на всем участке *AB*



**Рис. 14.4.** Измерение силы тока при параллельном соединении проводников: сила тока в неразветвленной части цепи, измеряемая амперметром *A*, равна сумме сил токов, измеряемых амперметрами *A*<sub>1</sub> и *A*<sub>2</sub> в каждой ветви разветвления

Уже отмечалось, что при параллельном соединении проводников есть несколько путей для прохождения тока (см. рис. 14.1, б). Действительно, ток, дойдя до разветвления (узловая точка *B*), растекается по двум ветвям. Поскольку заряд в узловой точке не накапливается, то заряд  $q$ , «пришедший» в узел за определенное время  $t$ , равен сумме зарядов ( $q_1 + q_2$ ), «вышедших» из этого узла за то же время:  $q = q_1 + q_2$ . Разделим обе части равенства на  $t$ :  $\frac{q}{t} = \frac{q_1}{t} + \frac{q_2}{t}$ . Поскольку  $\frac{q}{t} = I$ , то  $I = I_1 + I_2$ .

Приведенные соотношения выполняются для любого количества параллельно соединенных проводников.

*При параллельном соединении проводников сила тока в неразветвленной части цепи равна сумме сил токов в ответвлениях (отдельных ветвях):*

$$I = I_1 + I_2 + \dots + I_n,$$

где  $n$  — количество проводников.

Последнее утверждение можно доказать экспериментально, подключив к электрической цепи, изображенной на рис. 14.1, три амперметра: один (*A*) в неразветвленную часть цепи, а два других (*A*<sub>1</sub> и *A*<sub>2</sub>) — в каждое ответвление (рис. 14.4).

Обратите внимание: если одна из параллельно соединенных ламп выйдет из строя, то остальные продолжают светиться, так как через их нити накала все равно будет проходить ток.

### 3 Выводим формулу для расчета общего сопротивления участка цепи с параллельным соединением проводников

Чтобы вычислить общее сопротивление  $R$  участка цепи  $AB$  (см. рис. 14.1), состоящего из параллельно соединенных ламп, воспользуемся соотношением  $I = I_1 + I_2$ . Обозначив сопротивления ламп  $R_1$  и  $R_2$  и воспользовавшись

законом Ома, можем переписать это соотношение в виде:  $\frac{U}{R} = \frac{U_1}{R_1} + \frac{U_2}{R_2}$ .

Поскольку при параллельном соединении проводников  $U = U_1 = U_2$ , получим:  $\frac{U}{R} = \frac{U}{R_1} + \frac{U}{R_2}$ .

После сокращения на  $U$  имеем:

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}.$$

В общем же случае сопротивление  $R$  участка цепи, состоящего из  $n$  параллельно соединенных проводников, можно вычислить, воспользовавшись формулой:

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_n}.$$

Анализируя последнюю формулу, можно сделать следующие выводы:

- общее сопротивление параллельно соединенных проводников меньше, чем сопротивление каждого из этих проводников;
- общее сопротивление  $R$  параллельно соединенных проводников,

имеющих одинаковое сопротивление  $R'$ , равно:  $R = \frac{R'}{n}$ , где  $n$  — количество проводников. Например, если цепь состоит из двух параллельно соединенных проводников, имеющих одинаковое сопротивление  $R'$ , то общее сопротивление  $R$  данного участка равно:  $R = \frac{R'}{2}$ .

### 4 Узнаём о некоторых важных фактах

Если вы внимательно прочли предыдущую часть параграфа, то легко сможете объяснить, почему различные бытовые устройства включают в электросеть параллельно. Действительно, только в случае такого подключения на каждом устройстве будет то напряжение, на которое оно рассчитано, и выключение одного потребителя не вызовет отключения остальных.

На рис. 14.5 схематически изображена часть электрической проводки в квартире. Горизонтальные линии — провода электросети. Эти скрытые в стенах провода охватывают всю квартиру. Обозначения проводов —  $\Phi$  и  $0$  — происходят от их названий: фазный и нулевой провода

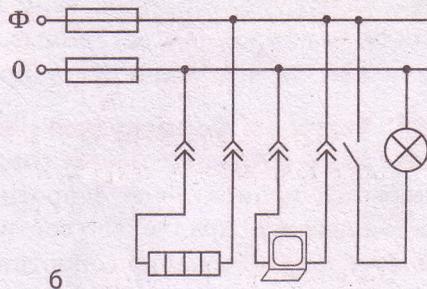
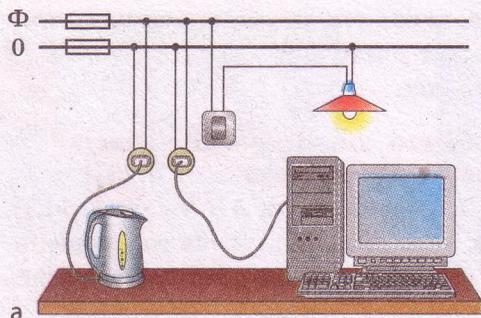


Рис. 14.5. Часть электрической проводки в квартире: а — внешний вид; б — схематическое изображение

соответственно. Напряжение между фазным и нулевым проводами составляет 220 В. К нулевому проводу подключены все потребители. Выключатель располагают на отрезке между фазным проводом и потребителем. Такое соединение обеспечивает наибольшую безопасность (попробуйте объяснить почему). Обратите внимание на то, что в квартирной электрической проводке все потребители или потенциальные потребители (розетки) соединены с проводами Ф и 0 параллельно.

**5 Учимся решать задачи**

**Задача 1.**

На рисунке приведена схема электрической цепи. Определите показания амперметров, если вольтметр показывает 12 В. Сопротивления резисторов указаны на рисунке.

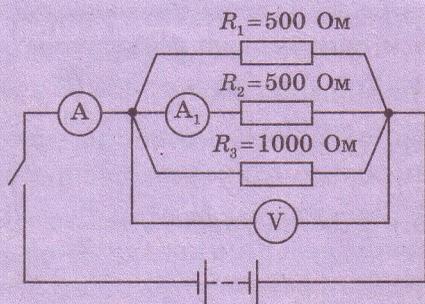
Дано:

$U = 12 \text{ В}$

$R_1 = 500 \text{ Ом}$

$R_2 = 500 \text{ Ом}$

$R_3 = 1000 \text{ Ом}$



*Анализ физической проблемы*

Приведенная схема электрической цепи имеет разветвления, значит, цепь содержит параллельное соединение проводников.

Амперметр А подключен перед разветвлением, а амперметр А<sub>1</sub> — в ответвлении,

$I = ?$

$I_1 = ?$

содержащее резистор 2, следовательно, нужно найти силу тока до разветвления и силу тока в резисторе 2. Значения искомых величин определим, воспользовавшись законом Ома и формулами для расчета силы тока и напряжения при параллельном соединении проводников.

*Поиск математической модели, решение, анализ результатов*

Поскольку в случае параллельного соединения проводников  $U = U_1 = U_2 = U_3$ , то  $U_1 = 12 \text{ В}$ ;  $U_2 = 12 \text{ В}$ ;  $U_3 = 12 \text{ В}$ .

Согласно закону Ома:  $I_1 = \frac{U_1}{R_1} = \frac{12 \text{ В}}{500 \text{ Ом}} = 0,024 \text{ А}$ ;

$$I_2 = \frac{U_2}{R_2} = \frac{12 \text{ В}}{500 \text{ Ом}} = 0,024 \text{ А}; \quad I_3 = \frac{U_3}{R_3} = \frac{12 \text{ В}}{1000 \text{ Ом}} = 0,012 \text{ А}.$$

Сила тока в неразветвленной части цепи:

$$I = I_1 + I_2 + I_3 = 0,012 \text{ А} + 0,024 \text{ А} + 0,012 \text{ А} = 0,048 \text{ А}.$$

Проанализируем результат. Общее сопротивление цепи:  $R = \frac{U}{I} = \frac{12 \text{ В}}{0,048 \text{ А}} = 250 \text{ Ом}$  — меньше, чем сопротивление каждого резистора, следовательно, результат правдоподобен.

*Ответ:* показание амперметра  $A$  — 48 мА; амперметра  $A_1$  — 24 мА.

### Задача 2. Четыре одинаковые лампы соединены так, как показано

на рисунке, и подключены к источнику постоянного напряжения. Определите силу тока в каждой лампе, если напряжение на источнике составляет 30 В, а сопротивление каждой лампы равно 6 Ом.

Дано:

$$U = 30 \text{ В}$$

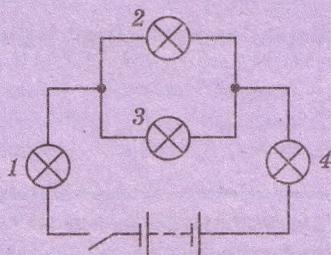
$$R_1 = R_2 = \\ = R_3 = R_4 = 6 \text{ Ом}$$

$$I_1 = ?$$

$$I_2 = ?$$

$$I_3 = ?$$

$$I_4 = ?$$



*Анализ физической проблемы*

Анализ представленной электрической схемы показывает, что данная электрическая цепь содержит смешанное соединение проводников: лампы 2 и 3 соединены параллельно, а лампы 1 и 4 соединены последовательно

с участком цепи, состоящим из ламп 2 и 3.

Воспользовавшись законом Ома и соотношениями для силы тока, напряжения и сопротивления при последовательном и параллельном соединениях проводников, определим значения искомых величин.

*Поиск математической модели, решение, анализ результатов*

$$\frac{1}{R_{2,3}} = \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} = \frac{1}{6 \text{ Ом}} + \frac{1}{6 \text{ Ом}} = \frac{2}{6 \text{ Ом}} = \frac{1}{3 \text{ Ом}} \Rightarrow R_{2,3} = 3 \text{ Ом}.$$

$$R = R_1 + R_{2,3} + R_4 = 6 \text{ Ом} + 3 \text{ Ом} + 6 \text{ Ом} = 15 \text{ Ом}.$$

$$\text{Согласно закону Ома: } I = \frac{U}{R} = \frac{30 \text{ В}}{15 \text{ Ом}} = 2 \text{ А}.$$

Поскольку  $I_1 = I_{2,3} = I_4 = I$ , то  $I_1 = 2 \text{ А}$ ;  $I_{2,3} = 2 \text{ А}$ ;  $I_4 = 2 \text{ А}$ .

$$U_{2,3} = I_{2,3} R_{2,3} = 2 \text{ А} \cdot 3 \text{ Ом} = 6 \text{ В}. \quad U_2 = U_3 = U_{2,3} \Rightarrow U_2 = 6 \text{ В}; \quad U_3 = 6 \text{ В}.$$

$$I_2 = \frac{U_2}{R_2} = \frac{6 \text{ В}}{6 \text{ Ом}} = 1 \text{ А}; \quad I_3 = \frac{U_3}{R_3} = \frac{6 \text{ В}}{6 \text{ Ом}} = 1 \text{ А}.$$

Проанализируем результат: с одной стороны, общая сила тока на участке, состоящем из ламп 2 и 3, равна 2 А, с другой стороны,  $I_{2,3} = I_2 + I_3 = 1\text{ А} + 1\text{ А} = 2\text{ А}$ . Результаты совпали, следовательно, задача решена правильно.

*Ответ:* сила тока в лампах 1 и 4 равна 2 А; в лампах 2 и 3 — 1 А.

### ! Подводим итоги

Участок цепи, состоящий из параллельно соединенных проводников, обязательно имеет разветвление. Проводники считаются соединенными параллельно, если они подключены к паре узловых точек.

Выключение одного из параллельно соединенных проводников практически не влияет на работу остальных.

Если участок цепи состоит из  $n$  проводников, соединенных только параллельно, то выполняются следующие соотношения:

— напряжение на каждом проводнике и на всем участке одинаково:

$$U = U_1 = U_2 = \dots = U_n;$$

— сила тока в неразветвленной части цепи равна сумме сил токов в ответвлениях:  $I = I_1 + I_2 + \dots + I_n$ ;

— общее сопротивление участка цепи можно вычислить, воспользовавшись формулой:

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_n}.$$

### ? Контрольные вопросы

1. Назовите характерный признак цепи, содержащей параллельное соединение проводников.
2. Сравните напряжение на всем участке цепи, содержащем параллельно соединенные проводники, и напряжения на каждом проводнике.
3. Каково соотношение между силой тока в неразветвленной части цепи и силой тока в каждой ветви разветвления?
4. С помощью какой формулы можно вычислить сопротивление участка цепи, состоящего из нескольких параллельно соединенных проводников?
5. Почему потребители электроэнергии в вашей квартире или доме соединены параллельно?

### ✎ Упражнение № 14

1. Электрическая цепь состоит из аккумуляторной батареи и трех электрических ламп, соединенных параллельно. Начертите схему подключения к этой цепи двух ключей так, чтобы один ключ управлял одновременно двумя лампами, а второй — только третьей лампой.
2. На рис. 1 представлена схема участка электрической цепи. Известно, что сопротивление Я, равно 100 Ом, сопротивление  $R_2$  — 150 Ом, показание амперметра А — 2,4 А. Определите напряжение на участке.
3. Две электрические лампы соединили параллельно и подключили к источнику тока, напряжение на котором равно 120 В. Определите силу тока в каждой лампе и в неразветвленной части цепи, если сопротивление одной лампы 200 Ом, а второй — 300 Ом.
4. Железный, медный и серебряный провода, равные по длине и имеющие одинаковую площадь поперечного сечения, соединили параллельно и подключили к источнику тока. В каком проводе сила тока будет наибольшей?

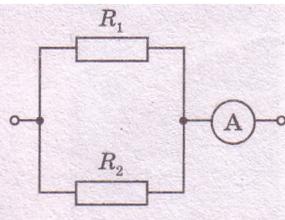


Рис. 1

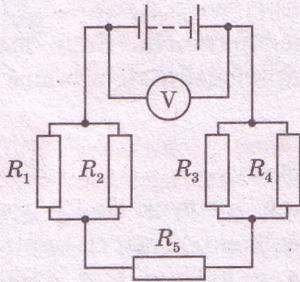


Рис. 2

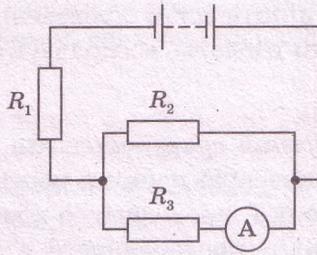


Рис. 3

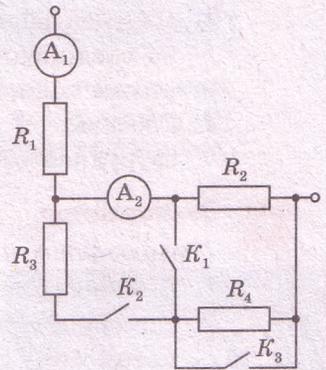


Рис. 4

- Определите общее сопротивление цепи (рис. 2) и общую силу тока в ней, если  $R_1 = 2 \text{ Ом}$ ,  $R_2 = 3 \text{ Ом}$ ,  $R_3 = R_4 = 4 \text{ Ом}$ ,  $R_5 = 0,8 \text{ Ом}$ . Показание вольтметра 4 В.
- Чему равно напряжение на полюсах источника тока, питающего цепь (рис. 3), если  $R_1 = 3 \text{ Ом}$ ,  $R_2 = 2 \text{ Ом}$ ,  $R_3 = 8 \text{ Ом}$ ? Показание амперметра 0,1 А.
- Сопротивление всех резисторов на участке электрической цепи (рис. 4) одинаково и равно 5 Ом. К участку цепи приложено постоянное напряжение. Какой ключ нужно замкнуть, чтобы показание прибора  $A_2$  было ниже показания прибора  $A_1$ ? Какое значение силы тока будет показывать прибор  $A_1$ , если замкнуть ключ  $K_1$ ? Известно, что показание прибора  $A_2$  равно 300 мА, если все ключи разомкнуты.

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 7



**Тема.** Исследование электрической цепи с параллельным соединением проводников.

**Цель:** экспериментально проверить, что сила тока в неразветвленной части цепи равна сумме сил токов в ответвлениях; доказать, что общее сопротивление проводников, соединенных параллельно, меньше сопротивления каждого из них.

**Оборудование:** источник тока; вольтметр; амперметр; ключ; две электрические лампы на подставке, соединительные провода.

### УКАЗАНИЯ К РАБОТЕ

#### Подготовка к эксперименту

- Прежде чем приступить к выполнению работы, убедитесь, что вы знаете требования безопасности при работе с электрическими цепями.

- Начертите схему электрической цепи, содержащей две параллельно соединенные лампы, которые через ключ соединены с источником тока.
- Составьте и запишите план проведения эксперимента. Если вы затрудняетесь это сделать, воспользуйтесь приведенным планом.

### Эксперимент

(Результаты измерений сразу заносите в таблицу.)

- Соберите электрическую цепь по начерченной вами схеме.
- Измерьте силу тока  $I$ , проходящего в неразветвленной части цепи, потом силу тока  $I_1$ , протекающего в спирали лампы 1, и силу тока  $I_2$ , протекающего в спирали лампы 2.
- Измерьте напряжение  $U$  на лампах.
- Начертите схемы соответствующих электрических цепей.

### Обработка результатов эксперимента

Воспользовавшись результатами измерений, вычислите сопротивление спирали лампы 1 ( $R_1$ ) и лампы 2 ( $R_2$ ), а также сопротивление участка цепи, содержащего обе лампы ( $R$ ). Результаты вычислений занесите в таблицу.

$I, A$	$I_1, A$	$I_2, A$	$U, B$	$R_1, Ом$	$R_2, Ом$	$R, Ом$

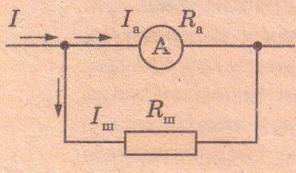
### Анализ эксперимента и его результатов

Проанализировав эксперимент и его результаты, сделайте вывод, в котором укажите:

- какие соотношения для параллельно соединенных проводников вы проверяли и какие результаты получили;
- факторы, которые могли повлиять на точность результатов.

### Творческое задание

Прежде чем приступить к выполнению задания, внимательно прочтите теоретические сведения.



**Теоретические сведения.** Для измерения силы тока большей, чем та, на которую рассчитан амперметр, можно воспользоваться этим же амперметром. Для этого параллельно амперметру нужно подключить резистор {шунт}.

При применении шунта сила тока, проходящего через амперметр ( $I_a$ ), равна:  $I_a = I - I_{ш}$ , где  $I$  — измеряемая сила тока;  $I_{ш}$  — сила тока, проходящего через шунт.

Сопротивление шунта  $R_{ш}$  вычисляют по формуле  $R_{ш} = \frac{R_a}{n-1}$ , где  $R_a$  — сопротивление амперметра;

$n = \frac{I}{I_a}$  — коэффициент, показывающий, во сколько раз возрастает значение верхнего предела измерения силы тока амперметром, то есть во сколько раз возрастает цена деления его шкалы.

**Задание.** Решите задачу, результаты проверьте экспериментально.

Сопротивление школьного амперметра равно 0,07 Ом, цена деления его шкалы 0,05 А, предел измерения — 2 А. до 10 А. Какой шунт нужно подключить к амперметру, чтобы увеличить предел измерения? Какой станет цена деления шкалы амперметра?

## § 15. РАБОТА И МОЩНОСТЬ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ТОКА

**?!**  Каждый из вас видел электросчетчик, некоторые даже снимали его показания. А как вы думаете, какую физическую величину измеряет этот прибор? Чтобы проверить свои предположения, познакомьтесь с содержанием данного параграфа.

### 1 Выясняем, значение какой физической величины определяют с помощью электросчетчика

На рис. 15.1 изображен *электросчетчик*. Запомним или запишем цифры, зафиксированные на датчике прибора (рис. 15.1, а), иначе говоря, *снимем показания счетчика*. Что означают эти цифры? Очевидно, что это числовое значение некоторой физической величины. А какой?

Для начала определим единицы этой величины. Рядом с цифровым табло указано: кВт·ч. Следовательно, физическая величина, значение которой показывает электросчетчик, измеряется в киловатт-часах. Известно, что  $1 \text{ кВт} = 1000 \text{ Вт}$  и  $1 \text{ ч} = 3600 \text{ с}$ , а  $1 \text{ Вт} = 1 \frac{\text{Дж}}{\text{с}}$ . Таким образом,

$$1 \text{ кВт} \cdot \text{ч} = 1000 \frac{\text{Дж}}{\text{с}} \cdot 3600 \text{ с} = 3\,600\,000 \text{ Дж}, \text{ или}$$

$1 \text{ кВт} \cdot \text{ч} = 3,6 \cdot 10^6 \text{ Дж}$ . А одна из физических величин, измеряющихся в джоулях, — это работа.

Следовательно, можно предположить, что электросчетчиком измеряют *работу тока*. Чтобы убедиться в этом, в цепь электросчетчика включим электрообогреватель. Спустя некоторое время снова снимем показание счетчика (рис. 15.1, б). Видим, что оно увеличилось. Электрический ток, проходя по спирали электрообогревателя, выполнил работу, которую мы зафиксировали, используя показания счетчика.

Таким образом, *электросчетчик — это прибор для прямого измерения работы тока*.

Стоимость единицы работы называют *тарифом*. Например, на 1 января 2009 г. тариф для определенной категории населения в Харькове составлял 24,36 к. за 1 кВт ч.

### 2 Вычисляем работу тока

Выясним, можно ли работу тока измерить другим способом, не используя электросчетчик.

Изучая § 10 учебника, вы выяснили, что электрическое напряжение  $U$  на концах участка электрической цепи определяется

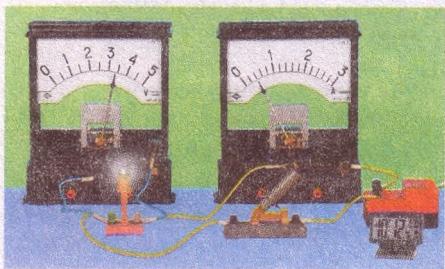


а



б

**Рис. 15.1.** Снятие показаний счетчика: а — начальное показание (382 кВт·ч); б — показание счетчика после некоторого времени работы электрообогревателя (385 кВт·ч). Количество использованной за данное время электроэнергии:  $385 - 382 = 3$  (кВт·ч)



**Рис. 15.2.** Для измерения работы тока можно воспользоваться хорошо известными вам измерительными приборами: амперметром, вольтметром и часами

$$U = \frac{A}{q}$$

по формуле  $U = \frac{A}{q}$  Следовательно, рабо-

ту  $A$  электрического тока по перемещению электрического заряда  $q$  на этом участке можно найти по формуле  $A = Uq$ . Выразив заряд  $q$  через силу тока  $I$  и время  $t$  его прохождения:  $q = It$ , — получим *формулу для вычисления работы электрического тока на данном участке цепи:*

$$A = UIt.$$

Следовательно, чтобы определить работу, которую выполняет ток в данном потребителе (на определенном участке электри-

ческой цепи), достаточно измерить силу тока в потребителе, напряжение на нем и время прохождения тока (рис. 15.2). Вы уже знаете, что такие измерения называют *косвенными*.

Обратите внимание, что из формулы для расчета работы электрического тока следует:  $1 \text{ Дж} = 1 \text{ В А с}$ , — это соотношение вам пригодится для проверки единиц при решении задач.

### 3 Вычисляем мощность тока

**Мощность электрического тока** — физическая величина, характеризующая скорость выполнения током работы и равная отношению работы  $A$  тока ко времени  $t$ , за которую эта работа выполнена:

$$P = \frac{A}{t},$$

где  $P$  — мощность электрического тока.

Поскольку  $A = UIt$ , то

$$P = UI.$$

*Единицей мощности в СИ является ватт ( $1 \text{ Вт} = 1 \frac{\text{Дж}}{\text{с}}$ ).*

Из формулы для расчета мощности электрического тока следует:  $1 \text{ Вт} = 1 \text{ В } 1 \text{ А} = 1 \text{ В А}$ .

$1 \text{ Вт}$  — это мощность тока силой  $1 \text{ А}$  на участке цепи с напряжением  $1 \text{ В}$ .

Ватт — сравнительно небольшая единица мощности. На практике чаще используют кратные единицы мощности: *киловатт* ( $1 \text{ кВт} = 10^3 \text{ Вт}$ ), *мегаватт* ( $1 \text{ МВт} = 10^6 \text{ Вт}$ ), *гигаватт* ( $1 \text{ ГВт} = 10^9 \text{ Вт}$ ).

### 4 Учимся различать номинальную и фактическую мощности потребителей

Обратившись к формуле для расчета мощности тока ( $P = UI$ ), увидим, что мощность тока можно определить косвенно, воспользовавшись амперметром и вольтметром.

Существуют также приборы для *прямого* измерения мощности электрического тока — *ваттметры*. Ваттметры подключают параллельно потребителю, мощность тока в котором нужно измерить.

Измеряя мощность тока в потребителе, мы определяем его *фактическую мощность*.

Мощность, указанную в паспорте электрического прибора (или непосредственно на приборе), называют *номинальной мощностью*. В паспорте электрического прибора обычно указывают не только его номинальную мощность, но и напряжение, на которое прибор рассчитан. Однако напряжение в сети может немного измениться, например, увеличиться, соответственно увеличится и сила тока. Увеличение силы тока и напряжения приведет к увеличению мощности тока в потребителе. То есть значения фактической и номинальной мощностей потребителя могут отличаться.

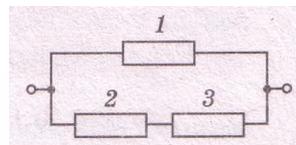
Если цепь состоит из нескольких потребителей, то, рассчитывая их фактическую мощность, нужно помнить, что *при любом соединении потребителей общая мощность тока во всей цепи равна сумме мощностей отдельных потребителей*.

Завершая знакомство с мощностью электрического тока, снова обратимся к рис. 15.1. На счетчике указаны значения еще двух физических величин: 220 В; 15 А. Первая из них показывает, в цепь с каким напряжением следует включать счетчик, вторая — максимально допустимую силу тока в цепи. Перемножив эти значения, получим *максимально допустимую мощность потребителей, которые можно подключить* через этот электросчетчик ( $UI-P$ ).

## 5 Учимся решать задачи

**Задача 1.** Участок электрической цепи состоит

из трех одинаковых резисторов (см. рисунок). Определите общую мощность всех резисторов, если сопротивление каждого из них равно 5 Ом, а напряжение на участке 10 В.



Дано:

$$R_1 = R_2 = R_3 = 5 \text{ Ом}$$

$$U = 10 \text{ В}$$

$P$  — ?

*Анализ физической проблемы*

Решить задачу можно двумя способами:

1) вычислить мощность каждого резистора, а затем общую мощность всех резисторов;

2) определить общую силу тока на участке и, зная общее напряжение, вычислить общую мощность всех резисторов.

*Поиск математической модели, решение, анализ результатов*

Способ 1

Поскольку участок цепи, содержащий резисторы 2 и 3, соединен с резистором 1 параллельно, то

$$U_1 = U_{2,3} = U = 10 \text{ В. По закону Ома: } I_1 = \frac{U_1}{R_1} = \frac{10 \text{ В}}{5 \text{ Ом}} = 2 \text{ А.}$$

Согласно формуле для расчета мощности:

$$P_1 = U_1 I_1 = 10 \text{ В} \cdot 2 \text{ А} = 20 \text{ Вт}.$$

Поскольку резисторы 2 и 3 соединены последовательно, то:

$$R_{2,3} = R_2 + R_3 = 5 \text{ Ом} + 5 \text{ Ом} = 10 \text{ Ом}; \quad I_2 = I_3 = I_{2,3} = \frac{U_{2,3}}{R_{2,3}} = \frac{10 \text{ В}}{10 \text{ Ом}} = 1 \text{ А}.$$

Используя закон Ома, найдем напряжение на резисторах 2 и 3, а затем вычислим их мощности:

$$U_2 = I_2 R_2 = 1 \text{ А} \cdot 5 \text{ Ом} = 5 \text{ В}, \quad P_2 = U_2 I_2 = 5 \text{ В} \cdot 1 \text{ А} = 5 \text{ Вт}.$$

$$U_3 = I_3 R_3 = 1 \text{ А} \cdot 5 \text{ Ом} = 5 \text{ В}, \quad P_3 = U_3 I_3 = 5 \text{ В} \cdot 1 \text{ А} = 5 \text{ Вт}.$$

Таким образом,  $P = P_1 + P_2 + P_3 = 20 \text{ Вт} + 5 \text{ Вт} + 5 \text{ Вт} = 30 \text{ Вт}$ .

### Способ 2

Сначала найдем общее сопротивление  $R$  участка цепи.

Поскольку резисторы 2 и 3 соединены последовательно, то

$$R_{2,3} = R_2 + R_3 = 5 \text{ Ом} + 5 \text{ Ом} = 10 \text{ Ом}.$$

Участок цепи, содержащий резисторы 2 и 3, соединен с резистором 1 параллельно, следовательно:

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_{2,3}} + \frac{1}{R_1} = \frac{1}{10 \text{ Ом}} + \frac{1}{5 \text{ Ом}} = \frac{3}{10 \text{ Ом}}; \quad \text{таким образом, } R = \frac{10}{3} \text{ Ом}.$$

По закону Ома:  $I = \frac{U}{R} = 10 \text{ В} : \frac{10}{3} \text{ Ом} = 3 \text{ А}$ .

Согласно формуле для расчета мощности:  $P = UI = 10 \text{ В} \cdot 3 \text{ А} = 30 \text{ Вт}$ .

Проанализируем результат: решая задачу различными способами, мы получили одинаковое значение мощности, значит, задача решена правильно.

*Ответ:* общая мощность всех резисторов равна 30 Вт.

**Задача 2.** Определите КПД двигателя электровоза, если, двигаясь равномерно со скоростью  $16 \frac{\text{м}}{\text{с}}$ , он развивает силу тяги 300 кН. Напряжение в электросети 3 кВ, сила тока, потребляемого двигателем, равна 2 кА.

Дано:

$$v = 16 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

$$F = 3 \cdot 10^5 \text{ Н}$$

$$U = 3 \cdot 10^3 \text{ В}$$

$$I = 2 \cdot 10^3 \text{ А}$$

$\eta$  — ?

*Анализ физической проблемы*

Для решения задачи необходимо выяснить, какую часть работы, которую выполняет ток, протекающий в обмотке электродвигателя, составляет полезная работа (механическая работа по перемещению электровоза). Используя формулы для расчета механической работы и работы тока, найдем искомую величину.

*Поиск математической модели, решение, анализ результатов*

КПД можно рассчитать по формуле:

$$\eta = \frac{A_{\text{полезн}}}{A_{\text{полн}}},$$

где  $A_{\text{полезн}}$  — полезная работа, выполняемая двигателем по перемещению электровоза на расстояние  $s$ ;  $A_{\text{полн}} = Fs$ .

Расстояние  $s$  найдем из формулы для расчета скорости:

$$v = \frac{s}{t}; \text{ отсюда } s = vt.$$

Таким образом:

$$A_{\text{полезн}} = Fvt.$$

Работа тока в двигателе электровоза:

$$A_{\text{полн}} = UIt.$$

Подставив выражения для  $A_{\text{полезн}}$  и  $A_{\text{полн}}$  в формулу для расчета КПД, получим:

$$\eta = \frac{Fvt}{UIt} = \frac{Fv}{UI}.$$

Определим значение искомой величины:

$$[\eta] = \frac{\text{Н} \cdot \frac{\text{м}}{\text{с}}}{\text{В} \cdot \text{А}} = \frac{\frac{\text{Дж}}{\text{с}}}{\text{В} \cdot \text{А}} = \frac{\text{Дж}}{\text{Дж}} = 1;$$

$$\{\eta\} = \frac{3 \cdot 10^5 \cdot 16}{3 \cdot 10^3 \cdot 2 \cdot 10^3} = 0,8; \quad \eta = 80\%.$$

Проанализируем результат: КПД равен 80% — для электрических двигателей результат реальный.

*Ответ:* КПД двигателя электровоза составляет 80%.

### Подводим итоги

На участке цепи электрический ток выполняет работу  $A$ , значение которой равно произведению напряжения  $U$ , силы тока  $I$  и времени  $t$  прохождения тока по цепи:  $A = UIt$ .

Единицей работы электрического тока в СИ является джоуль (Дж):  $1 \text{ Дж} = 1 \text{ В} \cdot \text{А} \cdot \text{с}$ . В электротехнике в качестве единицы работы тока используют киловатт-час (кВт·ч);  $1 \text{ кВт} \cdot \text{ч} = 3,6 \cdot 10^6 \text{ Дж}$ .

Приборы для прямого измерения работы тока называют счетчиками электрической энергии.

Физическая величина, характеризующая скорость выполнения током работы, называется мощностью электрического тока. Мощность электрического тока вычисляют по формуле  $P = UI$ . Единица мощности электрического тока в СИ — ватт (Вт):  $1 \text{ Вт} = 1 \frac{\text{Дж}}{\text{с}} = 1 \text{ В} \cdot \text{А}$ .

Мощность, на которую рассчитан электрический прибор, называют номинальной мощностью. Обычно номинальную мощность указывают в паспорте электрического прибора. Реальную мощность тока в приборе называют фактической мощностью.

### Контрольные вопросы

- По какой формуле вычисляют работу электрического тока?
- Назовите известные вам единицы работы электрического тока.
- Докажите, что  $1 \text{ кВт} \cdot \text{ч} = 3,6 \cdot 10^6 \text{ Дж}$ .
- Как измеряют работу электрического тока?
- Что называют мощностью электрического тока?
- По какой формуле можно вычислить мощность тока?
- Что называют номинальной мощностью электрического прибора?
- Что такое фактическая мощность прибора?



### Упражнение № 15

1. Воспользовавшись показаниями счетчика (рис. 1), вычислите израсходованную электроэнергию и определите ее стоимость по тарифу 24,36 к. за 1 кВт·ч.
2. Докажите, что 1 Дж=1 В·А·с.
3. Используя показания приборов, изображенных на рис. 2, вычислите работу, которую выполнит электрический ток за 15 мин работы электродвигателя.



Рис. 1

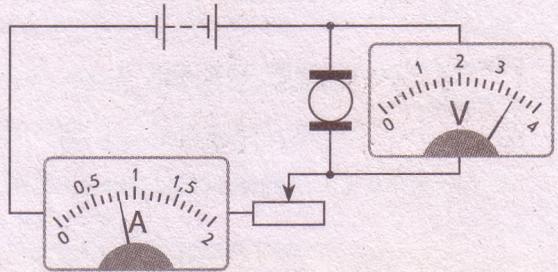


Рис. 2

4. Два проводника сопротивлениями 10 и 25 Ом включены в сеть, напряжение в которой равно 100 В. Какую работу выполнит электрический ток в каждом проводнике за 5 мин, если их соединить: а) параллельно? б) последовательно?
5. Две лампы мощностью 90 и 40 Вт включены параллельно в сеть напряжением 220 В. Вычислите силу тока, протекающего через каждую лампу, и сопротивление каждой лампы. Лампы работают при номинальном напряжении.
6. Определите силу тока, потребляемого электродвигателем подъемного крана, если груз массой 1 т кран поднимает на высоту 19 м за 50 с. КПД электродвигателя равен 80%, напряжение на клеммах – 380 В.
- 7\*. Лампа мощностью 50 Вт рассчитана на напряжение 127 В. Какое дополнительное сопротивление необходимо подключить к лампе, чтобы ее можно было включить в сеть напряжением 220 В?
- 8\*. Две электроплитки, спирали которых имеют одинаковые сопротивления, сначала включили в сеть последовательно, а затем параллельно. В каком случае электроплитки потребляли большую мощность и во сколько раз?



### Экспериментальное задание

1. Узнайте у родителей, сколько стоит 1 кВт ч электроэнергии. По паспортам и инструкциям выясните мощность различных потребителей электроэнергии, которые имеются у вас дома. Вычислите стоимость электроэнергии, потребляемой каждым устройством в течение 20 мин работы. Заполните таблицу.

№ п/п	Название устройства	Мощность P, Вт	Работа тока A		Стоимость, грн
			Дж	кВт·ч	

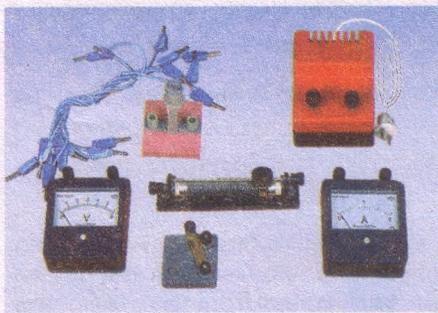
2. В течение недели наблюдайте за потреблением электроэнергии в вашем доме. Для этого нужно каждый день, в одно и то же время, записывать показания счетчика электроэнергии и вычислять, сколько электроэнергии потребила ваша семья за сутки.

По результатам измерений и вычислений постройте график потребления электроэнергии в течение недели.

Ответьте на следующие вопросы.

- 1) В какой день недели затраты электроэнергии были наибольшими? Почему?
- 2) Включались ли потребители электроэнергии без необходимости?
- 3) Как можно экономить затраты электроэнергии в вашей семье?

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 8



**Тема.** Измерение мощности потребителя электрического тока.

**Цель:** научиться определять номинальную и фактическую мощности электрической лампы.

**Оборудование:** источник тока, амперметр, вольтметр, лампа на подставке, ключ, ползунковый реостат, соединительные провода.

### УКАЗАНИЯ К РАБОТЕ

#### II Подготовка к эксперименту

1. Прежде чем приступить к выполнению работы, убедитесь, что вы знаете:
  - 1) требования безопасности при работе с электрическими цепями;
  - 2) формулу для вычисления мощности потребителя электрического тока.
2. Определите цену деления шкалы каждого измерительного прибора.
3. Начертите схему электрической цепи, состоящей из последовательно соединенных источника тока, ключа, лампы, амперметра, ползункового реостата, а также вольтметра, подключенного параллельно лампе.

#### Эксперимент

*(Результаты измерений сразу заносите в таблицу.)*

1. Соберите электрическую цепь по начерченной вами схеме.
2. Измерьте несколько раз силу тока в лампе и напряжение на ней, каждый раз меняя положение ползунка реостата.

#### Обработка результатов эксперимента

1. Для каждого опыта вычислите фактическую мощность лампы.
2. Рассмотрите цоколь лампы и узнайте ее номинальную мощность.
3. Результаты занесите в таблицу.

Номер опыта	Сила тока $I$ , А	Напряжение $U$ , В	Мощность лампы, Вт	
			фактическая $P_{\text{ф}}$	номинальная $P_{\text{н}}$

#### Анализ эксперимента и его результатов

Проанализировав эксперимент и его результаты, сделайте вывод, в котором укажите, что именно и каким образом вы определяли. Объясните причину возможного расхождения значений номинальной и фактической мощностей лампы. В каком случае и почему это расхождение было наибольшим?

**Творческое задание**

Проверьте на опыте, когда мощность двух ламп будет большей — в случае их параллельного соединения или последовательного. Начертите схемы соответствующих электрических цепей.

**§ 16. ТЕПЛОВОЕ ДЕЙСТВИЕ ТОКА. ЗАКОН ДЖОУЛЯ — ЛЕНЦА**

Из собственного опыта вам хорошо известно, что при прохождении электрического тока спираль лампы накаливания нагревается настолько, что начинает излучать видимый свет. Благодаря действию электрического тока нагреваются утюг и электрическая плита, а вот нагревание работающих вентилятора и пылесоса незначительно. Не становятся слишком горячими {конечно, если все обстоит благополучно} и подводящие провода. От чего же зависит тепловое действие тока?

**Рассуждаем о тепловом действии тока**

Ранее уже шла речь о том, что прохождение тока всегда сопровождается выделением теплоты. Этот факт нетрудно объяснить.

Когда в проводнике течет ток, свободные заряженные частицы, двигаясь направленно под действием электрического поля, сталкиваются с другими частицами (электроны в металлах сталкиваются с ионами, расположенными в узлах кристаллической решетки, ионы в электролитах — с другими ионами, атомами или молекулами) и передают им часть своей энергии. В результате средняя скорость хаотического (теплого) движения частиц вещества увеличивается — проводник нагревается. По закону

сохранения энергии кинетическая энергия, приобретенная свободными заряженными частицами в результате действия электрического поля, превращается во внутреннюю энергию проводника.

Очевидно, что, чем чаще сталкиваются частицы, то есть чем больше сопротивление проводника, тем больше энергии передается проводнику и тем больше он нагревается. Можно, таким образом, предположить, что *количество теплоты, выделяющееся при прохождении тока в проводнике, пропорционально сопротивлению проводника.*

Кроме того, с увеличением в проводнике, силы тока количество выделяемой теплоты тоже увеличивается. Ведь чем больше частиц проходит через поперечное сечение проводника в единицу времени, тем больше столкновений частиц происходит.

**Открываем закон Джоуля — Ленца**

Тепловое действие тока изучали опытным путем английский ученый Дж. Джоуль (рис. 16.1)



**Рис. 16.1.** Джеймс Прескотт Джоуль (1818–1889) — английский физик, один из основателей современной теории тепловых явлений. В 1841 г. установил зависимость количества теплоты, выделяющейся в проводнике с током, от силы тока и сопротивления проводника

и российский ученый Э. Х. Ленц (рис. 16.2). Независимо друг от друга они пришли к одному и тому же выводу, со временем получившему название **закон Джоуля—Ленца**.

Количество теплоты, выделяющееся при прохождении тока в проводнике, прямо пропорционально квадрату силы тока, сопротивлению проводника и времени прохождения тока:

$$Q = I^2 R t .$$

На рис. 16.3 изображена схема опыта, доказывающего закон Джоуля — Ленца. Попробуйте описать этот опыт самостоятельно.

Закон Джоуля — Ленца был установлен экспериментально. Теперь же, зная формулу для расчета работы тока ( $A=UIt$ ), можно вывести этот закон с помощью простых математических выкладок.

Если на участке цепи, в котором течет ток, не выполняется механическая работа и не происходят химические реакции, то результатом работы электрического тока будет только нагревание проводника. Нагретый проводник путем теплопередачи отдает полученную энергию окружающим телам. Следовательно, в данном случае согласно закону сохранения энергии количество выделенной теплоты  $Q$  будет равно работе  $A$  тока:  $Q = A$ .

Поскольку  $A=UIt$ , а  $U = IR$ , имеем:

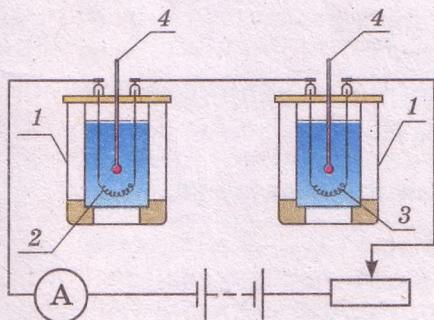
$$Q = UIt = IRIt = I^2 R t .$$

### 3 Обращаем внимание на некоторые особенности вычисления количества теплоты

Для получения математического выражения закона Джоуля—Ленца мы воспользовались некоторыми предположениями, но, как выяснилось из дальнейших исследований, *количество теплоты, выделяющееся при прохождении тока в участке цепи, всегда можно вычислить по формуле  $Q = I^2 R t$ .*



**Рис. 16.2.** Эмилий Христианович Ленц (1804–1865) — российский физик, профессор Петербургского университета. Независимо от Дж. Джоуля в 1842 г. установил закон теплового действия электрического тока



**Рис. 16.3.** Схема опыта, доказывающего закон Джоуля—Ленца: 1 — калориметры с одинаковым количеством воды; 2, 3 — электрические нагреватели (сопротивление нагревателя 2 больше, чем сопротивление нагревателя 3); 4 — термометры

Возникает вопрос: что делать, если сила тока неизвестна, а известно напряжение на концах участка цепи? Казалось бы, можно воспользоваться законом Ома. Действительно:  $Q = I^2 R t$ , а  $I = \frac{U}{R}$ . Тогда  $Q = \left(\frac{U}{R}\right)^2 R t = \frac{U^2}{R} R t$ . После сокращения на  $R$  получим:

$$Q = \frac{U^2 t}{R}.$$

Однако эту формулу, впрочем, как и формулу  $Q = U I t$ , можно использовать только в том случае, когда вся электрическая энергия расходуется на нагревание.

Если же на участке цепи есть потребители энергии, в которых выполняется механическая работа или происходят химические реакции, формулы  $Q = \frac{U^2 t}{R}$  и  $Q = U I t$  использовать нельзя. В таких случаях применяют сложные математические расчеты, учитывающие всю совокупность происходящих явлений.

#### 4 Учимся решать задачи

**Задача.** Какой длины нужно взять нихромовую проволоку, чтобы

изготовить нагреватель, которым можно за 5 мин довести до кипения 1,5 кг воды, взятой при температуре 20 °С? Площадь поперечного сечения проволоки 0,1 мм<sup>2</sup>. Напряжение в сети равно 220 В, КПД кипятильника составляет 90%.

Дано:

$$\tau = 300 \text{ с}$$

$$m = 1,5 \text{ кг}$$

$$t_1 = 20 \text{ °С}$$

$$t_2 = 100 \text{ °С}$$

$$S = 0,1 \text{ мм}^2$$

$$U = 220 \text{ В}$$

$$\eta = 0,9$$

$$\rho = 1,1 \frac{\text{Ом} \cdot \text{мм}^2}{\text{м}}$$

$$c = 4200 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{°С}}$$

$$l = ?$$

#### Анализ физической проблемы

При прохождении в нагревателе электрического тока выделяется некоторое количество теплоты  $Q_{\text{полн}}$ . Часть ее ( $Q_{\text{полезн}}$ ) расходуется на нагревание воды. Следовательно,  $\eta Q_{\text{полн}} = Q_{\text{полезн}}$ .

Выразив  $Q_{\text{полн}}$  и  $Q_{\text{полезн}}$  через данные в условии задачи величины, найдем искомую величину. Значения удельного сопротивления  $\rho$  нихрома и удельной теплоемкости  $c$  воды найдем в соответствующих таблицах.

#### Поиск математической модели, решение

$$\eta Q_{\text{полн}} = Q_{\text{полезн}}. \quad (1)$$

$$Q_{\text{полезн}} = cm(t_2 - t_1); \quad (2)$$

$$Q_{\text{полн}} = \frac{U^2 \tau}{R}. \quad (3)$$

Сопротивление проволоки найдем из соотношения

$$R = \frac{\rho l}{S}.$$

Подставим выражение для  $R$  в формулу (3):

$$Q_{\text{полн}} = \frac{U^2 \tau}{\frac{\rho l}{S}} = \frac{U^2 \tau S}{\rho l}. \quad (4)$$

Решая совместно уравнения (1)–(4), получим:

$$\frac{\eta U^2 \tau S}{\rho l} = cm(t_2 - t_1). \text{ Отсюда } l = \frac{\eta U^2 \tau S}{cm(t_2 - t_1)\rho}.$$

Определим значение искомой величины:

$$[l] = \frac{\text{В}^2 \cdot \text{с} \cdot \text{мм}^2}{\frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{С}} \cdot \text{кг} \cdot ^\circ\text{С} \cdot \frac{\text{Ом} \cdot \text{мм}^2}{\text{м}}} = \frac{\text{В}^2 \cdot \text{с} \cdot \text{м}}{\text{Дж} \cdot \text{Ом}} = \frac{\text{В}^2 \cdot \text{с} \cdot \text{м}}{\text{В} \cdot \text{А} \cdot \text{с} \cdot \frac{\text{В}}{\text{А}}} = \text{м};$$

$$\{l\} = \frac{0,9 \cdot 220 \cdot 220 \cdot 300 \cdot 0,1}{4200 \cdot 1,5 \cdot 80 \cdot 1,1} = 2,36; \quad l = 2,36 \text{ м}.$$

Ответ: нужно взять нихромовую проволоку длиной 2,36 м.

### Подводим итоги

Прохождение тока в проводнике сопровождается выделением теплоты. Количество теплоты, выделяющееся при прохождении тока в проводнике, прямо пропорционально квадрату силы тока, сопротивлению проводника и времени прохождения тока:  $Q = I^2 R t$  (закон Джоуля — Ленца).

Существуют еще две формулы для расчета количества теплоты:

$Q = \frac{U^2 t}{R}$  и  $Q = U I t$ , — однако их можно использовать только в том случае, когда вся электрическая энергия расходуется на нагревание.

### Контрольные вопросы

1. Почему нагреваются проводники, в которых течет электрический ток? 2. Сформулируйте закон Джоуля—Ленца. Почему он имеет такое название? 3. Как математически записывается закон Джоуля—Ленца? 4. Какие формулы для расчета количества теплоты, выделяющегося при прохождении тока в проводнике, вы знаете? Всегда ли можно их использовать?

### Упражнение № 16

1. Почему электрические провода, по которым подадут напряжение к электрической лампе накаливания, не нагреваются, а нить накала лампы нагревается и ярко светится?
2. Сколько теплоты выделится за 10 мин в электрической плитке, включенной в сеть, если сопротивление нагревательного элемента плитки 30 Ом, а сила тока в нем 4 А?
3. Ява проводника сопротивлениями 10 и 20 Ом включены в сеть напряжением 100 В. Какое количество теплоты выделится за 5 с в каждом проводнике, если их соединить параллельно?
4. Сколько времени будет нагреваться 1,5 л воды от 20 до 100°С в электрическом чайнике мощностью 600-Вт, если КПД чайника 80%?
5. Электрокипяльник за 5 мин нагревает 0,2 кг воды от 14°С до кипения при условии, что по его обмотке протекает ток силой 2 А. Определите, на какое напряжение рассчитан электрокипяльник. Потерями энергии пренебречь.
- 6\*. Какой длины нихромовый провод нужно взять, чтобы изготовить электрический камин, работающий при напряжении 120 В и выделяющий 1 МДж теплоты в час? Диаметр провода 0,5 мм.

## § 17. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ НАГРЕВАТЕЛЬНЫЕ УСТРОЙСТВА. ПРЕДОХРАНИТЕЛИ



Статистические данные говорят о том, что среди причин возникновения пожара второе место после неосторожного обращения с огнем занимает возгорание проводки в результате короткого замыкания. О том, что такое короткое замыкание и как обезопасить себя от воспламенения проводов, если замыкание все же произошло, вы узнаете из этого параграфа.



### Изучаем электронагревательные устройства

Электрические нагревательные устройства широко применяют в сельском хозяйстве (рис. 17.1), промышленности, на транспорте, в быту (см. рис. 17.2). Несмотря на внешнее многообразие, все электронагреватели имеют общие черты.

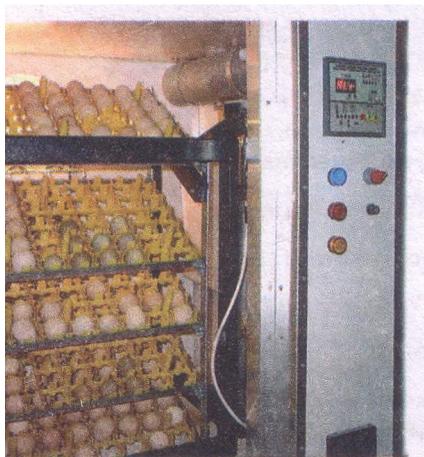


Рис. 17.1. Работа инкубаторов основана на тепловом действии тока

Во-первых, работа всех электрических нагревателей основана на *тепловом действии тока*: в таких устройствах энергия электрического тока превращается во внутреннюю энергию нагревателя, который в свою очередь отдает энергию окружающей среде путем теплопередачи (рис. 17.2).

Во-вторых, основной частью любого электронагревателя является *нагревательный элемент* — проводник, нагревающийся при прохождении тока (рис. 17.3). Нагревательные элементы должны выдерживать очень высокую температуру, поэтому их *изготавливают из тугоплавких материалов, то есть из материалов, имеющих высокую температуру плавления* (рис. 17.4). Чтобы избежать поражения током, нагревательный элемент *изолируют от корпуса нагревательного устройства*.

По закону Джоуля — Ленца количество теплоты  $Q$ , выделяющееся в нагревательном элементе, равно  $Q = I^2Rt$ , следовательно, изменяя силу тока в нагревательном элементе, можно *регулировать температуру нагревателя* (рис. 17.5).

Сила тока в подводящих проводах и нагревательном элементе одинакова. При этом подводящие провода нагреваются намного меньше, чем нагревательный элемент. А это значит, что их сопротивление во много раз меньше сопротивления элемента. Как правило, *нагревательные элементы изготавливают*



Рис. 17.2. Чтобы увеличить теплоотдачу, поверхность обогревателя делают ребристой, а нагревательную поверхность электроплиты изготавливают из темных металлов

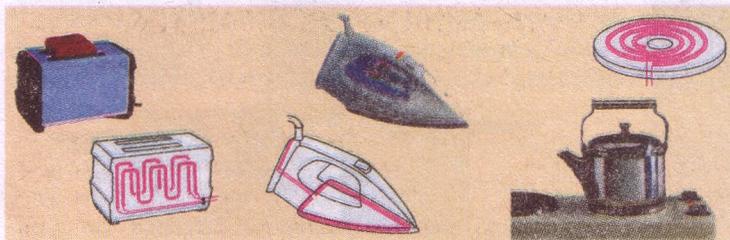


Рис. 17.3. Основная часть любого электрического нагревательного устройства — нагревательный элемент

из веществ с большим удельным сопротивлением, а подводющие провода — из веществ с малым удельным сопротивлением.

## 2 Выясняем причины резкого увеличения силы тока в цепи

Сопротивление подводющих проводов достаточно мало, однако при значительном увеличении силы тока они сильно нагреваются, и это может стать причиной пожара.

Выясним, почему может резко увеличиться сила тока в электрической проводке обычной квартиры.

Для этого вспомним закон Ома:  $I = \frac{U}{R}$ . Поскольку

напряжение в сети постоянно, увеличение силы тока возможно только при условии уменьшения общего сопротивления цепи. Как известно, потребители в квартире соединены параллельно, поэтому если включить сразу несколько мощных потребителей, то общее сопротивление цепи существенно уменьшится, соответственно сила тока в цепи значительно увеличится.

Резко увеличивается сила тока в цепи и в случае *короткого замыкания* — соединения концов участка цепи проводником, сопротивление которого очень мало по сравнению с сопротивлением этого участка. Так, короткое замыкание может возникнуть при нарушении изоляции проводов или при ремонте элементов электрической цепи, находящихся под напряжением (напомним, что это смертельно опасно!).

## 3 Применяем предохранители

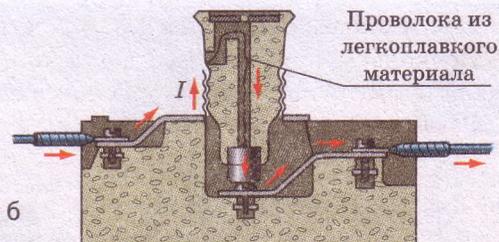
Чтобы избежать пожара в случае короткого замыкания или перегрузки электрической цепи, а также предупредить повреждение потребителей электроэнергии при опасном увеличении силы тока, используют *предохранители*. Предохранители — это устройства, размыкающие цепь, если сила тока в ней превысит допустимое для этой цепи значение (рис. 17.6-17.8).



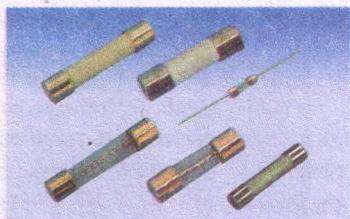
Рис. 17.4. Нагревательный элемент электрической лампы накаливания изготавливают из вольфрама, температура плавления которого 3387°C. Нагреваясь до температуры выше 2000°C, тонкая вольфрамовая нить начинает ярко светиться



Рис. 17.5. Поворачивая тумблер утюга, мы настраиваем его на определенный температурный режим



**Рис. 17.6.** Плавкий предохранитель, используемый в квартирной проводке: а — внешний вид; б — схематическое изображение. Ток, идущий к потребителю (направление тока показано стрелками), проходит через проволоку, изготовленную из легкоплавкого металла, например свинца. В случае чрезмерного увеличения силы тока проволока нагревается и расплавляется — электрическая цепь размыкается



**Рис. 17.7.** Плавкие предохранители, которые используются в радиотехнике. Вдоль оси стеклянной трубочки с металлическими наконечниками натянута тонкая проволока из легкоплавкого материала



**Рис. 17.8.** Автоматические предохранители. Рабочая часть автоматического предохранителя — биметаллическая пластина. Если сила тока превысит норму, биметаллическая пластина выгибается, в результате чего цепь размыкается. После охлаждения предохранитель можно вернуть в рабочее состояние

Внимание! *Очень опасно пользоваться неисправными предохранителями и самодельными предохранительными устройствами. Если сила тока превысит норму, а цепь своевременно не разомкнется, то возникнет пожар.*

**4 Учимся решать задачи**

**Задача.** Автоматический предохранитель в квартирном электросчетчике рассчитан на силу тока 10 А. Сработает ли предохранитель, если одновременно включить лампу мощностью 200 Вт, стиральную машину мощностью 800 Вт, электрический чайник мощностью 1200 Вт?

Дано:

$$I = 10 \text{ А}$$

$$P_1 = 200 \text{ Вт}$$

$$P_2 = 800 \text{ Вт}$$

$$P_3 = 1200 \text{ Вт}$$

$$U = 220 \text{ В}$$

$$P_{\text{макс}} \text{ — ? } P_{\text{общ}} \text{ — ?}$$

*Анализ физической проблемы*

Для решения задачи нужно определить общую мощность  $P_{\text{общ}}$  включенных потребителей. Если  $P_{\text{общ}}$  потребителей меньше максимально возможной мощности тока  $P_{\text{макс}}$ , на которую рассчитан предохранитель, то предохранитель не сработает, если больше — он разомкнет цепь. Мощность тока  $P_{\text{макс}}$  найдем, зная напряжение в сети (220 В) и максимальную силу тока, на которую рассчитан предохранитель.

**Поиск математической модели, решение, анализ результатов**

Поскольку при любом соединении потребителей их общая мощность равна сумме мощностей отдельных потребителей, то  $P_{\text{общ}} = P_1 + P_2 + P_3$ .

Согласно формуле для расчета мощности:  $P_{\text{макс}} = UI_{\text{макс}}$ .

Определим значения искомых величин:

$$[P] = V \cdot A = \text{Вт}; \quad \{P_{\text{макс}}\} = 220 \cdot 10 = 2200; \quad P_{\text{макс}} = 2200 \text{ Вт}.$$

$$P_{\text{общ}} = 200 + 800 + 1200 = 2200 \text{ (Вт)}.$$

Проанализируем результаты. Сравнив значения полученных мощностей, видим, что нагрузка в цепи достигла максимально возможного значения. А поскольку еще существуют потери мощности на подводящих проводах, можно утверждать, что предохранитель сработает и цепь разомкнется.

**Ответ:** предохранитель разомкнет цепь.

**Подводим итоги**

Работа разнообразных электронагревательных устройств основана на тепловом действии тока. Во время работы электронагревательных устройств некоторое количество теплоты выделяется и в подводящих проводах. Значительное нагревание проводов может стать причиной пожара, поэтому, если существует опасность чрезмерного увеличения силы тока, к электрической цепи подключают предохранители. Предохранитель представляет собой устройство, размыкающее цепь, если сила тока в цепи превысит допустимое для этой цепи значение.

**Контрольные вопросы**

1. Назовите электрические устройства, работа которых основана на тепловом действии тока.
2. Какие преобразования энергии происходят в электронагревателе в случае включения его в цепь?
3. Какими свойствами должен обладать металл, из которого изготавливают нагревательный элемент?
4. Почему нагревательный элемент должен быть изолирован от корпуса нагревательного прибора?
5. Что может стать причиной резкого увеличения силы тока в цепи? К чему это может привести?
6. Что такое короткое замыкание?
7. С какой целью используют предохранители?
8. Объясните принцип действия плавкого предохранителя.

**Упражнение № 17**

1. Для подключения сварочного аппарата, потребляющего ток силой 100 А, молодой рабочий решил воспользоваться осветительным шнуром. Почему вы, зная физику, никогда этого не сделаете?
2. Какими свойствами должно обладать вещество, из которого изготавливают проволоку для плавкого предохранителя?
3. Почему для предупреждения возгорания электропроводки особое внимание нужно уделять качественному соединению проводов друг с другом и с приборами, включенными в сеть?
4. Какова максимально допустимая мощность тока в устройстве, если его плавкий предохранитель рассчитан на максимальный ток 6 А при напряжении 220 В?

**Экспериментальное задание**

По паспортам и инструкциям к различным потребителям тока в вашей квартире выясните их мощность. Узнайте у родителей, на какую силу тока рассчитаны предохранители, установленные в электросчетчике. Определите, сколько потребителей и какие именно можно включить одновременно в одном ответвлении проводки.

## § 18. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ТОК В МЕТАЛЛАХ



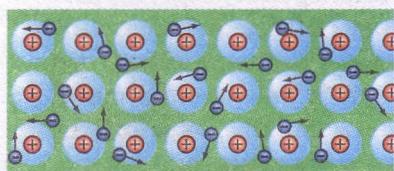
Электрический ток могут проводить жидкости и твердые вещества, а при определенных условиях и газы. Изучение электрического тока в различных средах мы начнем с тока в металлах. Во-первых, потому, что все без исключения металлы хорошо проводят электрический ток, а во-вторых, именно с проводимостью металлов связано широкое применение электроэнергии в жизни человека.



### Выясняем природу электрического тока в металлах

Из курса химии вам известно, что валентные электроны в металлах легко покидают свой атом и становятся свободными. В результате в узлах кристаллической решетки металла остаются положительные ионы.

Если электрическое поле отсутствует, свободные электроны внутри проводника движутся хаотически — их движение напоминает движение молекул газа. Поэтому свободные электроны в металлах называют *электронным газом* (рис. 18.1).



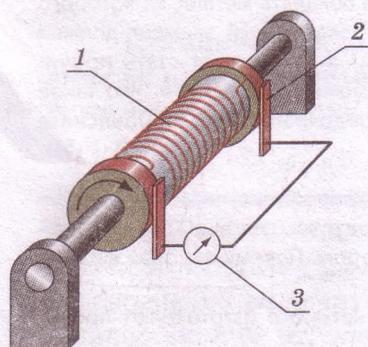
**Рис. 18.1.** Свободные электроны в металлах при отсутствии электрического поля движутся хаотически

Если же в проводнике создано электрическое поле, то электроны, продолжая двигаться хаотически, начинают смещаться в сторону положительного полюса источника тока. Движение электронов становится направленным — в металле возникает электрический ток.

**Электрический ток в металлах** представляет собой направленное движение свободных электронов.

Впервые природа тока в металлах была экспериментально установлена российскими учеными *Л. И. Мандельштамом* и *Н. Д. Папалекси* (1913 г.) и независимо от них — американскими физиками *Р. Толменом* и *Т. Стюартом* (1916 г.).

При постановке опытов ученые рассуждали примерно так. Если металлический проводник привести в быстрое движение, а затем резко остановить, то имеющиеся в нем свободные заряженные частицы будут двигаться по инерции (аналогично тому, как в случае резкой остановки транспорта в нем продолжают движение незакрепленные предметы). В результате в проводнике возникнет кратковременный ток, который можно зафиксировать гальванометром (рис. 18.2). По направлению отклонения стрелки гальванометра можно выяснить знак заряда частиц,



**Рис. 18.2.** Схема опыта по изучению природы электрического тока в металлах: 1 — катушка с металлическим проводом; 2 — скользящие контакты; 3 — чувствительный гальванометр. Катушку быстро вращают, а затем резко останавливают. В результате в цепи возникает электрический ток, который регистрируется гальванометром

движение которых послужило причиной возникновения тока, а по отношению заряда частиц к их массе — установить, какие именно частицы создают ток.

## 2 Убеждаемся, что сопротивление металлов зависит от температуры

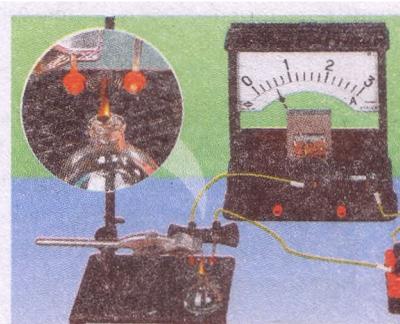
В опыте, о котором упоминалось в п. 1, после остановки проводника направленное движение частиц быстро прекращается. И это понятно, ведь проводник оказывает току сопротивление. Сопротивление металлического проводника зависит не только от его геометрических параметров и вещества, из которого он изготовлен, но и от температуры. Убедимся в этом с помощью опыта.

Соединим стальную спираль с источником тока и начнем подогреть ее в пламени спиртовки (рис. 18.3). Напряжение будем поддерживать постоянным. Опыт показывает, что по мере нагревания спирали сила тока в ней уменьшается, следовательно, сопротивление спирали возрастает. Проведем этот же опыт с другими спиралями — такими же по размеру, что и стальная спираль, но изготовленными из других веществ, и убедимся, что при увеличении температуры сопротивление этих спиралей тоже увеличивается, однако его изменение каждый раз будет другим.

Зная, как зависит сопротивление металлического проводника от температуры, можно, измерив сопротивление проводника, определить его температуру. Этот факт положен в основу работы так называемых *термометров сопротивления*. Датчик — чаще всего платиновый провод — размещают в среде, температуру которой необходимо измерить. Сопротивление провода измеряется специальным прибором, и по известному сопротивлению определяют температуру среды. На практике шкалу данного прибора, как правило, градуируют в единицах температуры.

## 3 Знакомимся с явлением сверхпроводимости

В 1911 г. нидерландский ученый *Г. Камерлинг-Оннес* (рис. 18.4), исследуя свойства ртути при температурах, близких к абсолютному нулю ( $-273\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), заметил странное явление: при снижении температуры ртути до  $4,1\text{ K}$  ( $-269\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) ее удельное сопротивление резко падало до нуля. Похожее наблюдалось



**Рис. 18.3.** Опыт, демонстрирующий зависимость сопротивления металлов от температуры. Во время нагревания спирали сила тока в ней уменьшается, следовательно, сопротивление спирали возрастает



**Рис. 18.4.** Гейке Камерлинг-Оннес (1853–1926) — нидерландский физик, лауреат Нобелевской премии (1913 г.). Открыл явление сверхпроводимости металлов



**Рис. 18.5.** Графики изменения удельного сопротивления некоторых металлов при температурах, близких к абсолютному нулю. С приближением к нулевой отметке удельное сопротивление этих металлов скачком падает до нуля — металл переходит в сверхпроводящее состояние



**Рис. 18.6.** Джон Бардин, Леон Купер, Джон Роберт Шриффер — лауреаты Нобелевской премии по физике (1972 г.) за разработку квантовой теории сверхпроводимости

с оловом, свинцом и другими металлами. Это явление получило название *сверхпроводимости* (рис. 18.5). Сверхпроводимость невозможно объяснить с точки зрения электронной проводимости металлов. В 1957 г. группой американских ученых (рис. 18.6) и независимо от них советским ученым *Н. Н. Боголюбовым* (1902-1992) была разработана квантовая теория сверхпроводимости.

### Подводим итоги

Электрический ток в металлах представляет собой направленное движение свободных электронов.

В отсутствие электрического поля свободные электроны в металлах двигаются хаотически. Если же в металлическом проводнике создать электрическое поле, то свободные электроны, не прекращая своего хаотического движения, начинают двигаться направленно.

Сопротивление металлических проводников зависит от температуры. Этот факт положен в основу работы термометров сопротивления.

При уменьшении температуры некоторых металлов до температур, близких к абсолютному нулю ( $-273\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), их сопротивление резко падает до нуля. Это явление называют сверхпроводимостью.

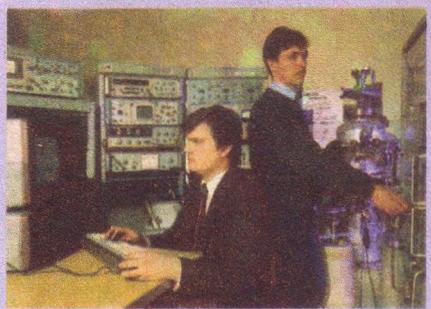
### Контрольные вопросы

1. Опишите характер движения электронов в металлах при отсутствии электрического поля; при наличии электрического поля.
2. Что представляет собой электрический ток в металлах?
3. Опишите суть опыта по выявлению природы электрического тока в металлах.
4. Какова причина сопротивления металлов?
5. Зависит ли сопротивление металлов от температуры? Если зависит, то как?
6. В чем заключается явление сверхпроводимости?

### Упражнение №18

1. Определите направление кратковременного электрического тока, возникающего после остановки катушки (см. рис. 18.2).

- 2\*. Металлическая нить накала электрической лампы постепенно утончается из-за испарения металла с ее поверхности; наконец в самом тонком месте нить перегорает. Объясните, почему лампа перегорает чаще всего именно в тот момент, когда ее включают.



### ФИЗИКА И ТЕХНИКА В УКРАИНЕ

Институт металлофизики НАН Украины (Киев)

Современную жизнь невозможно представить без применения металлов. К сожалению, природа не создала «идеального» металла. Так, одни из них (например, титан) имеют большую прочность, небольшую плотность, но слишком дороги, другие (например, алюминий) имеют малое электрическое сопротивление, но вместе с тем недостаточно прочны. Поэтому на протяжении столетий ученые стараются улучшить свойства конкретных металлов, сохраняя их «хорошие» качества и уменьшая «плохие».

Квантовая физика XX ст. предоставила возможность целенаправленно изменять свойства металлов. Процесс основан на изучении микроструктуры металлов с помощью различных методов. Институт металлофизики имеет для этого один из наибольших arsenалов современных приборов. Поэтому изобретение в конце XX ст. *наноматериалов* ученые института встретили всесторонне вооруженными (кто забыл, что такое наноматериалы, обратитесь к Энциклопедическим страницам в учебнике для 7-го класса).

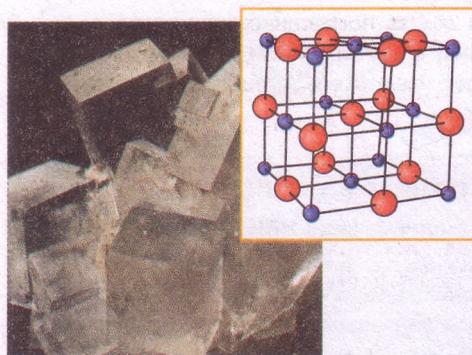
Научные разработки Института металлофизики направлены на создание материалов с уникальными свойствами, которые используются в новейших металлических конструкциях для авиационной и автомобильной промышленности, космической техники, изделий медицинского назначения и т. д.

## § 19. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ТОК В ЖИДКОСТЯХ

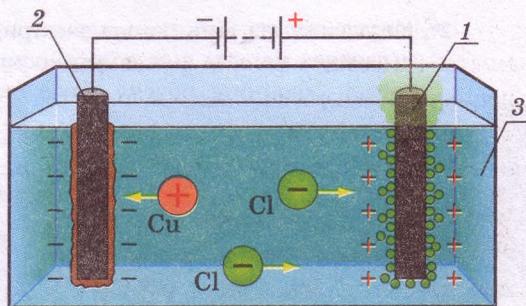
**?!**  Дистиллированная вода — диэлектрик, так как в ней почти нет свободных заряженных частиц; диэлектриком является и поваренная соль. Однако если крупинку поваренной соли бросить в дистиллированную воду, то полученный раствор будет хорошо проводить ток. Почему? Откуда в растворе взялись свободные частицы, имеющие электрический заряд?

### 1 Знакомимся с электролитами

Молекулы многих веществ представляют собой положительные и отрицательные ионы, соединенные в одно целое силой электрического притяжения. Так, макромолекула поваренной соли ( $\text{NaCl}$ ) состоит из положительных ионов Натрия ( $\text{Na}^+$ ) и отрицательных ионов Хлора ( $\text{Cl}^-$ ) (рис. 19.1), макромолекула купрум сульфата ( $\text{CuSO}_4$ ) — из положительных ионов Купрума ( $\text{Cu}^{2+}$ ) и отрицательных ионов сульфата ( $\text{SO}_4^{2-}$ ). Если такие вещества растворить в воде, то притяжение между ионами станет намного слабее и молекулы веществ могут распасться на отдельные ионы.



**Рис. 19.1.** Макромолекула поваренной соли ( $\text{NaCl}$ ) состоит из положительных ионов Натрия ( $\text{Na}^+$ ) и отрицательных ионов Хлора ( $\text{Cl}^-$ )



**Рис. 19.2.** Схема исследования электрического тока в электролитах: 1 — анод; 2 — катод; 3 — ванна с раствором электролита ( $\text{CuCl}_2$ ). После замыкания цепи положительные ионы (катионы) движутся к катоду, отрицательные ионы (анионы) — к аноду

Из курса химии вы уже знаете, что распад молекул некоторых веществ на ионы под действием молекул растворителя называют *электролитической диссоциацией* (от латин. *dissociatio* — разъединение, разделение).

В результате электролитической диссоциации в растворе появляются свободные заряженные частицы — положительные и отрицательные ионы, и раствор начинает проводить ток.

Опыты показывают, что расщепление молекул на ионы может быть вызвано не только растворителем. Некоторые соли и оксиды металлов могут распадаться на отдельные ионы при значительном увеличении температуры. Поэтому расплавы таких веществ тоже проводят электрический ток.

Растворы и расплавы веществ, проводящие электрический ток, относят к *электролитам*.

2

## Выясняем природу электрического тока в электролитах

Возьмем два угольных электрода и соединим их с полюсами источника тока (см. рис. 19.2). Напомним, что электрод, соединенный с положительным полюсом источника тока, называют *анодом*, а электрод, соединенный с отрицательным полюсом, — *катодом*. Опустим электроды в сосуд с электролитом, например, с водным раствором купрум хлорида ( $\text{CuCl}_2$ ), и замкнем цепь. В растворе появится электрическое поле, под действием которого свободные положительные ионы Купрума ( $\text{Cu}_2^+$ ) направятся к катоду, а свободные отрицательные ионы Хлора ( $\text{Cl}^-$ ) — к аноду. Таким образом, в растворе возникнет направленное движение свободных заряженных частиц — электрический ток.

**Электрический ток в электролитах** представляет собой направленное движение свободных ионов.

При прохождении тока через электролит положительные ионы движутся к отрицательному электроду — катоду, поэтому их называют *катионами*; отрицательные ионы движутся к положительному электроду — аноду, и их соответственно называют *анионами*.

Следует обратить внимание на то, что ионный механизм проводимости имеют не только растворы и расплавы, но и некоторые твердые вещества, например натрий хлорид ( $\text{NaCl}$ ), калий хлорид ( $\text{KCl}$ ), сере́нтум нитрат ( $\text{AgNO}_3$ ) и др. Поэтому *электролитами называют твердые и жидкие вещества, имеющие ионную проводимость.*

### 3 Даем определение электролиза

Прохождение электрического тока через электролит (в отличие от прохождения тока через металл) характеризуется тем, что происходит перенос химических составляющих электролита и те выделяются на электродах — откладываются в виде твердого слоя или выделяются в газообразном состоянии.

Например, если через водный раствор купрум хлорида в течение нескольких минут пропускать ток, то поверхность катода покроется тонким слоем меди (рис. 19.3), а возле анода выделится газообразный хлор. Наличие хлора можно обнаружить по характерному запаху или по обесцвечиванию цветной ткани (если предварительно обернуть ею анод).

Все это происходит потому, что при замыкании цепи свободные положительные ионы Купрума ( $\text{Cu}^{2+}$ ) направляются к катоду, а свободные отрицательные ионы Хлора ( $\text{Cl}^-$ ) — к аноду. Достигнув катода, катион Купрума «берет» с его поверхности электроны, которых ему недостает, то есть происходит *химическая реакция восстановления*. В результате этой реакции катион Купрума превращается в нейтральный атом; на поверхности катода оседает медь. В то же время анионы Хлора, достигнув поверхности анода, наоборот, «отдают» ему избыточные электроны — происходит *химическая реакция окисления*; на аноде выделяется хлор.

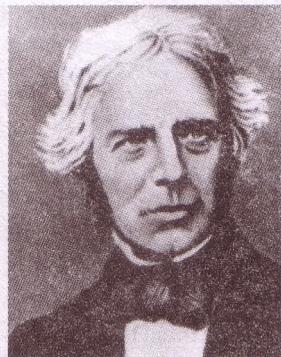
*Процесс выделения веществ на электродах, который связан с окислительно-восстановительными реакциями, происходящими на электродах во время прохождения тока через электролит, называют электролизом.*

### 4 Открываем закон Фарадея

Первым явление электролиза подробно изучил английский физик *М. Фарадей* (рис. 19.4). Точно измеряя массу веществ, выделяющихся на электродах при прохождении электрического тока через раствор электролита, он сформулировал



**Рис. 19.3.** Через несколько минут после начала прохождения тока через раствор купрум хлорида поверхность катода покрывает тонкий слой меди



**Рис. 19.4.** Майкл Фарадей (1791–1867) — английский физик, основатель учения об электромагнитном поле. Открыл химическое действие электрического тока, установил законы электролиза, сделал много других выдающихся открытий

закон, который позже был назван **законом электролиза**, или **первым законом Фарадея**:

Масса  $m$  вещества, выделяющегося на электроде во время электролиза, пропорциональна силе тока  $I$  и времени  $t$  его прохождения:

$$m = kIt,$$

где  $k$  — коэффициент пропорциональности, который называется *электрохимическим эквивалентом вещества* (см. таблицу).

*Электрохимический эквивалент вещества численно равен массе этого вещества, которая выделяется на электроде за 1 с при прохождении через электролит тока силой 1 А* ( $[k] = \frac{\text{мг}}{\text{А} \cdot \text{с}} = \frac{\text{мг}}{\text{Кл}}$ ).

*Электрохимические эквиваленты  $k$ ,  $\frac{\text{мг}}{\text{Кл}}$*

Алюминий ( $\text{Al}^{3+}$ )	0,09	Никель ( $\text{Ni}^{2+}$ )	0,30
Водород ( $\text{H}^+$ )	0,01	Серебро ( $\text{Ag}^+$ )	1,12
Кислород ( $\text{O}^{2-}$ )	0,08	Хром ( $\text{Cr}^{3+}$ )	0,18
Медь ( $\text{Cu}^{2+}$ )	0,33	Хлор ( $\text{Cl}^-$ )	0,37
Натрий ( $\text{Na}^+$ )	0,24	Цинк ( $\text{Zn}^{2+}$ )	0,34

### 5 Учимся решать задачи

**Задача.** Для определения электрохимического эквивалента меди через раствор купрум сульфата в течение 30 мин пропускали ток силой 0,5 А. Какое значение электрохимического эквивалента получили, если масса катода до начала опыта была 75,20 г, а после опыта — 75,47 г?

Дано:

$$t = 1800 \text{ с}$$

$$I = 0,5 \text{ А}$$

$$m_1 = 75\,200 \text{ мг}$$

$$m_2 = 75\,470 \text{ мг}$$

$k$  — ?

*Анализ физической проблемы*

Для решения задачи воспользуемся законом электролиза. Массу меди, выделившейся на катоде, найдем как разность масс катода после и до опыта. Поскольку в таблицах электрохимический эквивалент дан в миллиграммах на кулон, то массу удобно представить в миллиграммах.

*Поиск математической модели, решение, анализ результатов*

Согласно первому закону Фарадея имеем:  $m = kIt$ , следовательно,  $k = \frac{m}{It}$ ; при этом  $m = m_2 - m_1$ . Получаем:

$$k = \frac{m_2 - m_1}{It}.$$

Определим значение искомой величины:

$$[k] = \frac{\text{мг}}{\text{А} \cdot \text{с}} = \frac{\text{мг}}{\text{Кл}}; \quad \{k\} = \frac{75\,470 - 75\,200}{0,5 \cdot 1800} = \frac{270}{900} = 0,30;$$

$$k = 0,30 \frac{\text{мг}}{\text{Кл}}.$$

Проанализируем результат. Сравнив полученное значение электрохимического эквивалента меди с табличным ( $k = 0,33 \frac{\text{мг}}{\text{Кл}}$ ), видим, что результаты практически совпали. Погрешность возникла из-за неточности измерения массы. Следовательно, задача решена правильно.

*Ответ:* полученное в результате опыта значение электрохимического эквивалента меди равно  $0,30 \frac{\text{мг}}{\text{Кл}}$ .

### Подводим итоги

Распад молекул электролитов на ионы под действием растворителя называют электролитической диссоциацией. В результате диссоциации в растворе появляются свободные заряженные частицы — положительные и отрицательные ионы. Электролиты — это твердые и жидкие вещества, имеющие ионный характер проводимости.

Электрический ток в электролитах — это направленное движение свободных ионов. При прохождении электрического тока через электролит химические составляющие электролита осаждаются на электродах или выделяются в газообразном состоянии. Процесс выделения веществ на электродах, который связан с окислительно-восстановительными реакциями, происходящими на электродах во время прохождения тока через электролит, называют электролизом. В ходе электролиза выполняется первый закон Фарадея (закон электролиза): масса  $m$  вещества, выделяющегося на электроде, пропорциональна силе тока  $I$  и времени  $t$  его прохождения через электролит:  $m = kIt$ . Коэффициент пропорциональности  $k$  называют электрохимическим эквивалентом вещества.

### Контрольные вопросы

1. В чем заключается явление электролитической диссоциации? Приведите примеры.
2. Что такое электролит?
3. Что представляет собой электрический ток в растворах и расплавах электролитов?
4. Опишите процесс электролиза.
5. Сформулируйте первый закон Фарадея.
6. Каков физический смысл электрохимического эквивалента вещества?

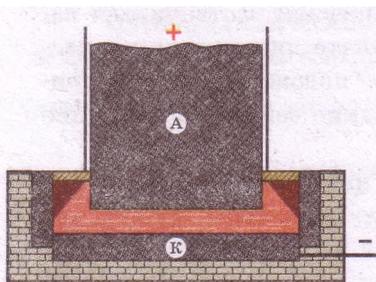
### Упражнение № 19

1. Воспользовавшись законом электролиза, выведите единицу электрохимического эквивалента в СИ.
2. Дистиллированная вода не является проводником. Почему же водопроводная, речная и морская вода хорошо проводят электрический ток?
3. Почему раствор соли в воде хорошо проводит электрический ток, а раствор сахара в воде — плохо?
4. За какое время в результате электролиза, при котором электролитом выступает раствор аргентум нитрата, на катоде выделится 25 г серебра? Сила тока постоянна — 0,5 А.
5. Через раствор аргентум нитрата в течение 2 ч пропускали электрический ток. Определите массу серебра, образовавшегося при электролизе на катоде, если напряжение на электродах было 2 В, а сопротивление раствора — 0,4 Ом.
6. Во время электролиза, при котором электролитом был раствор сульфатной кислоты, за 50 мин выделилось 3 г водорода. Сопротивление электролита 0,4 Ом. Определите мощность тока, затраченную на нагревание электролита.

## § 20. ПРИМЕНЕНИЕ ЭЛЕКТРОЛИЗА



Существует легенда, что в конце XVIII в. король Англии прислал в подарок русской императрице Екатерине II... алюминиевую кружку. Представьте, императрица была поражена таким ценным подарком! Дело в том, что в то время алюминий встречался чрезвычайно редко и стоил в несколько раз дороже золота. Со временем благодаря применению электролиза алюминий стал общедоступным и сравнительно недорогим. О том, как с помощью электролиза получают металлы и где еще применяют электролиз, пойдет речь в этом параграфе.



**Рис. 20.1.** Производство алюминия (схема промышленной установки). Ванна наполнена алюминий оксидом, растворенным в расплавленном криолите. Дно и стенки ванны, выложенные графитом, служат катодом; алюминий собирается на дне ванны. Угольные блоки служат анодом, и на них выделяется кислород

### 1 Применяем электролиз для получения металлов

Электролиз широко используют в промышленности. С помощью электролиза из солей и оксидов получают многие металлы: медь, никель, алюминий и др. Например, чтобы получить алюминий, в качестве электролита используют алюминий оксид ( $Al_2O_3$ ), растворенный в расплавленном криолите ( $Na_3AlF_6$ ) при температуре  $950\text{ }^\circ\text{C}$ . Раствор помещают в специальные электролитические ванны; катодом обычно служат дно и стенки ванны, выложенные графитом, а анодом — погруженные в электролит угольные блоки (рис. 20.1). В процессе пропускания тока через электролит на катоде выделяется алюминий.

### 2 Получаем чистые металлы

Металлы, полученные путем электролиза (или другим способом), обычно содержат некоторое количество примесей, поскольку сырье

не может быть «идеальным». Так, в расплаве всегда содержатся соли и оксиды других металлов, которые тоже могут выделяться на катоде. Для очистки металлов от примесей можно снова использовать электролиз.

*Способ очистки металлов с помощью электролиза называют рафинированием.* Так очищают медь, алюминий, свинец, серебро и некоторые другие металлы.

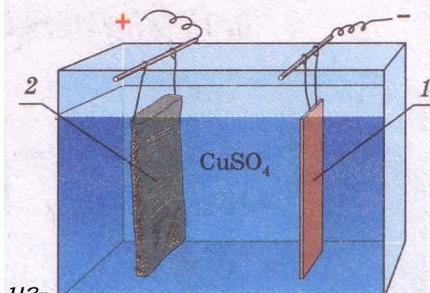
Приведем пример. В ванну с водным раствором купрум сульфата ( $CuSO_4$ ) опускают два электрода. Анодом служит толстая пластинка неочищенной меди, а катодом — тонкая пластинка чистой меди (рис. 20.2). В растворе купрум сульфат распадается (диссоциирует) на сульфат-анионы ( $SO_4^{2-}$ ) и катионы Купрума ( $Сu^{2+}$ ). Сульфат-анионы движутся к аноду и постепенно растворяют его. А катионы Купрума направляются к катоду и оседают на нем. Таким образом, при пропускании тока чистая медь будет переноситься с анода на катод, а примеси осядут на дно или будут находиться в растворе.

### 3 Знакомимся с гальваностегией

С помощью электролиза можно наносить тонкий слой металла на поверхность другого металла — производить серебрение, золочение, никелирование, хромирование и т. д. Такой слой может защищать металл от коррозии, увеличивать его прочность или просто быть украшением изделия.

*Электролитический способ покрытия изделия тонким слоем металла называют гальваностегией.*

Изделие, которое хотят покрыть тонким слоем металла, опускают в ванну с раствором электролита, в состав которого входит нужный металл. Покрываемое изделие выступает катодом, а пластинка металла, которым покрывают изделие, — анодом. Во время пропускания тока металл оседает на изделии (катоде), а анодная пластинка постепенно растворяется (рис. 20.3).

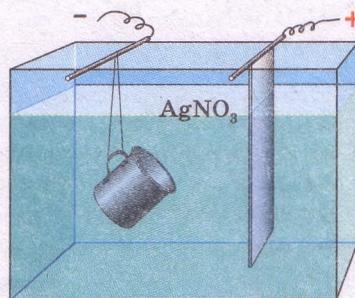


**Рис. 20.2.** Рафинирование меди: тонкая пластинка чистой меди является катодом (1), толстая пластинка неочищенной меди — анодом (2); ванна наполнена водным раствором купрум сульфата

### 4 Гальванопластика — это получение

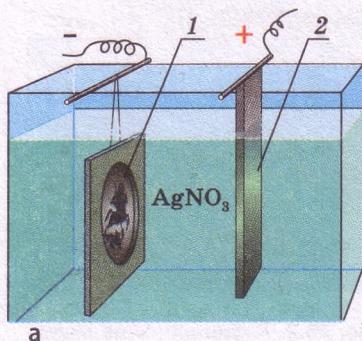
*с помощью электролиза точных копий рельефных изделий.*

Предположим, что необходимо получить точную копию изделия сложной формы (монеты, медали, скульптурного барельефа и т. п.). Сначала из воска или другого пластического материала делают слепок рельефного предмета. Чтобы поверхность слепка проводила ток, ее покрывают тонким слоем графита. Затем слепок помещают в ванну с электролитом. Слепок будет служить катодом, а пластинка металла — анодом. Во время прохождения тока через раствор на слепке наращивается довольно толстый слой металла, заполняющий все неровности слепка. После прекращения электролиза восковой слепок отделяют от слоя металла и в результате получают точную копию изделия (рис. 20.4).



**Рис. 20.3.** Гальваническое серебрение. Предмет, который покрывают серебром (кружка), является катодом, серебряная пластинка — анодом; ванна наполнена раствором аргентум нитрата

Конечно, применение электролиза в современной технике не ограничивается рассмотренными примерами. С помощью электролиза можно отполировать поверхность анода; электролиз лежит в основе зарядки и разрядки кислотных и щелочных аккумуляторов и т. д. Однако происходящие при этом химические и физические процессы довольно сложны, и их подробное изучение выходит за рамки школьного курса физики.



**Рис. 20.4.** Получение рельефных копий с помощью электролиза: а — схема устройства: восковой слепок, покрытый тонким слоем графита, выступает катодом (1), серебряная пластинка — анодом (2); ванна наполнена раствором аргентум нитрата; б — полученная копия

**5 Учимся решать задачи**

**Задача.** При никелировании на каждый 1 дм<sup>2</sup> поверхности никелируемого изделия подают силу тока 0,4 А. За какое время на изделие будет нанесен слой никеля толщиной 0,2 мм? Плотность никеля  $9 \frac{\text{г}}{\text{см}^3}$ .

Дано:

$$S = 100 \text{ см}^2$$

$$I = 0,4 \text{ А}$$

$$d = 0,02 \text{ см}$$

$$\rho = 9 \frac{\text{г}}{\text{см}^3}$$

$$k = 0,30 \frac{\text{мг}}{\text{Кл}} =$$

$$= 0,0003 \frac{\text{г}}{\text{Кл}}$$

$t$  — ?

*Анализ физической проблемы*

Время, необходимое для электролиза, можно вычислить, воспользовавшись первым законом Фарадея; массу вещества, выделившегося на электроде, выразим через плотность и объем. Электрохимический эквивалент никеля найдем в соответствующей таблице. Решая задачу, плотность удобно представить в граммах на кубический сантиметр, толщину слоя — в сантиметрах, площадь поверхности — в квадратных сантиметрах, а электрохимический эквивалент — в граммах на кулон.

*Поиск математической модели, решение*

Согласно первому закону Фарадея:  $m = kIt$ .

Отсюда

$$t = \frac{m}{kI}. \quad (*)$$

Так как  $\rho = \frac{m}{V}$ , и  $V = Sd$ , то  $m = \rho Sd$ .

Подставив выражение для  $m$  в формулу (\*), получим:

$$t = \frac{\rho Sd}{kI}.$$

Определим значение искомой величины:

$$[t] = \frac{\frac{\text{г}}{\text{см}^3} \cdot \text{см}^2 \cdot \text{см}}{\frac{\text{г}}{\text{Кл}} \cdot \text{А}} = \frac{\text{г} \cdot \text{Кл}}{\text{г} \cdot \text{А}} = \frac{\text{А} \cdot \text{с}}{\text{А}} = \text{с};$$

$$\{t\} = \frac{9 \cdot 100 \cdot 0,02}{0,0003 \cdot 0,4} = 15\,000;$$

$$t = 15\,000 \text{ с} = 4 \text{ ч } 10 \text{ мин.}$$

*Ответ:* процесс никелирования будет продолжаться 4 ч 10 мин.

### Подводим итоги

Электролиз широко используют в промышленности. С помощью электролиза из солей и оксидов получают многие металлы (медь, никель, алюминий и др.), а также очищают их. Способ очистки металлов с помощью электролиза называют рафинированием.

Путем электролиза можно наносить тонкий слой металла на поверхность изделия (производить серебрение, золочение, никелирование, хромирование и т. д.) и изготавливать точные копии рельефных изделий. Электролитический способ покрытия изделия тонким слоем металла называется гальваностегией, а получение с помощью электролиза точных копий рельефных изделий — гальванопластикой.

### Контрольные вопросы

1. Приведите примеры применения электролиза.
2. Опишите процесс получения алюминия с помощью электролиза.
3. Как можно очистить металлы от примесей?
4. Для чего поверхность металлов покрывают тонким слоем другого металла?
5. Что такое гальваностегия? гальванопластика?

### Упражнение № 20

1. На рис. 1 приведено схематическое изображение электрической установки, составным элементом которой является сосуд с водным раствором аргентум нитрата. По данным рисунка определите время, необходимое для образования на электроде слоя серебра массой 2,52 г. Какая энергия будет при этом затрачена, если напряжение на электродах равно 11 В?
2. На рис. 2 приведено схематическое изображение электрической цепи, в состав которой входит сосуд с водным раствором цинк сульфата. По данным рисунка вычислите толщину слоя цинка, образовавшегося на катоде в результате электролиза. Плотность цинка  $7,1 \text{ г/см}^3$ .
3. Для серебрения ложек через раствор аргентум нитрата пропускали ток силой 1,8 А. Катодом служили 12 ложек, каждая из которых имела площадь поверхности  $50 \text{ см}^2$ . Сколько времени длился электролиз, если на ложках осел слой серебра толщиной 58 мкм? Плотность серебра  $10,5 \text{ г/см}^3$ .

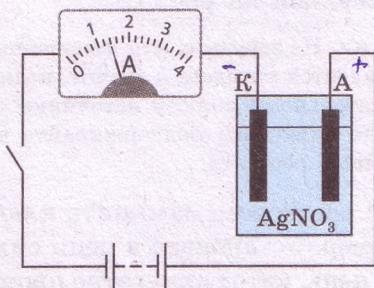


Рис. 1

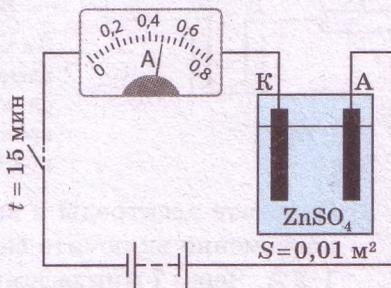
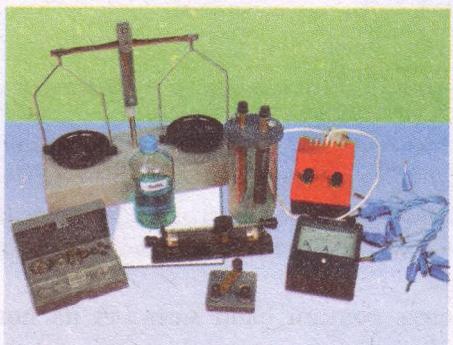


Рис. 2

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 9



**Тема.** Исследование явления электролиза.

**Цель:** экспериментально доказать, что масса вещества, которая выделяется на электроде в процессе электролиза, прямо пропорциональна заряду, который прошел через электролит.

**Оборудование:** электролитическая ванна; водный раствор купрум сульфата ( $\text{CuSO}_4$ ); электроды; источник постоянного тока; секундомер; амперметр; весы с разновесами; реостат; фильтровальная бумага; ключ; соединительные провода.

## УКАЗАНИЯ К РАБОТЕ

### II Подготовка к эксперименту

Прежде чем приступить к выполнению работы, убедитесь, что вы знаете:

- 1) требования безопасности при работе с электрическими цепями;
- 2) правила пользования рычажными весами;
- 3) зависимость массы вещества, выделяющегося на электроде, от силы тока в растворе и времени прохождения тока.

### ▶ Эксперимент

*Результаты измерений сразу заносите в таблицу.*

Выясните, как зависит масса меди, выделяющейся на электроде, от заряда, прошедшего через электролит. Для этого выполните следующие действия.

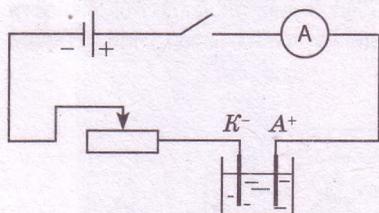


Рис. 1

- 1) С помощью весов определите массу  $m_1$  электрода, который во время опыта будет служить катодом.
- 2) Составьте электрическую цепь по схеме, изображенной на рис. 1.

**Замечание.** Не забудьте, что взвешенный вами электрод является катодом, а значит, подключается к отрицательному полюсу источника тока. Во время опыта силу тока поддерживайте неизменной с помощью реостата.

- 3) Опустите электроды в ванну с раствором, замкните ключ и одновременно включите секундомер. Установите в цепи силу тока 1-2 А. Через 7 мин разомкните цепь, катод аккуратно промокните фильтровальной бумагой, а затем определите массу  $m_2$  катода.

- 4) Повторите действия, описанные в пункте 3, еще три раза, каждый раз подключая взвешенный электрод к отрицательному полюсу источника тока.

### Обработка результатов эксперимента

Результаты вычислений сразу заносите в таблицу.

- По формуле  $m = m_2 - m_1$  вычислите массу  $m$  меди, выделившейся на катоде, за 7 мин, 14 мин, 21 мин, 28 мин.
- По формуле  $q = It$  вычислите заряд  $q$ , прошедший за указанные промежутки времени через электролит.

Номер опыта	Масса катода до опытов $m_1$ , мг	Масса катода после каждого опыта $m_2$ , мг	Масса меди, выделившейся на катоде, $m$ , мг	Время $t$		Сила тока $I$ , А	Заряд $q$ , Кл
				мин	с		
1				7			
2				14			
3				21			
4				28			

### Анализ эксперимента и его результатов

Проанализируйте эксперимент и его результаты. Сделайте вывод, в котором укажите, как зависит масса вещества, выделившегося на электроде, от заряда, прошедшего через электролит. Укажите факторы, которые могли повлиять на точность результатов.

#### Творческое задание

Постройте график зависимости массы меди, выделившейся на катоде, от заряда, прошедшего через электролит. Воспользовавшись графиком, определите электрохимический эквивалент меди. Сравните полученный результат с табличным, объясните причину расхождения.

## § 21. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ТОК В ГАЗАХ



Прочитав название параграфа, кто-то из вас удивится: в начале раздела мы отметили, что газы являются диэлектриками, а это значит, что в них нет свободных заряженных частиц. Тогда, о каком электрическом токе в газах может идти речь? Замечание вполне резонное, но речь шла о том, что газы являются диэлектриками *при нормальных условиях*. Однако есть условия, при которых газы могут становиться проводниками. О том, когда это происходит и что представляет собой электрический ток в газах, вы узнаете из материала этого параграфа.

1

## Проводим эксперимент

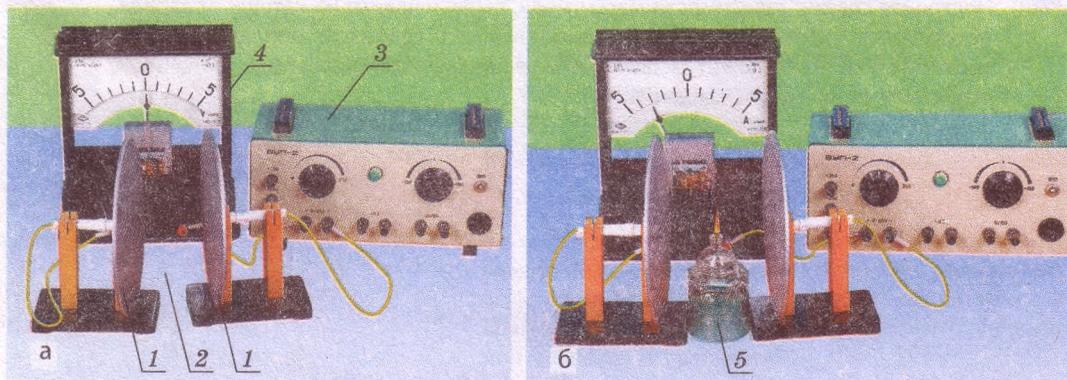
Соберем электрическую цепь из *мощного* источника тока, гальванометра и двух металлических пластин, разделенных воздушным промежутком (рис. 21.1, а). Замкнув цепь, увидим, что стрелка гальванометра не отклоняется. А это означает, что в цепи нет электрического тока или ток такой слабый, что даже чувствительный гальванометр его не регистрирует. Таким образом, можно сделать вывод: *при нормальных условиях в воздухе нет свободных заряженных частиц и он не проводит электрический ток*.

Поместим между металлическими пластинами зажженную спиртовку — стрелка гальванометра отклонится (рис. 21.1, б). Это значит, что в воздухе появились свободные заряженные частицы и он начал проводить электрический ток. Выясним, что это за частицы, откуда и как они появились.

2

## Знакомимся с механизмом проводимости газов

В отличие от металлов и электролитов газы состоят из электронейтральных атомов и молекул и в нормальных условиях не содержат свободных носителей тока. Поэтому при нормальных условиях воздух является изолятором.



**Рис. 21.1.** Эксперимент по изучению проводимости газов: 1 — металлические пластины; 2 — воздушный промежуток; 3 — мощный источник тока; 4 — гальванометр; 5 — спиртовка. При нормальных условиях воздух не проводит электрический ток (а); если в воздушный промежуток поместить зажженную спиртовку, воздух станет проводником (б)

Пламя спиртовки (см. рис. 21.1, б) нагревает воздух, и кинетическая энергия теплового движения атомов и молекул воздуха увеличивается настолько, что в случае их столкновений от молекулы или атома может оторваться электрон и стать свободным. Потеряв электрон, молекула (или атом) становится положительным ионом (рис. 21.2).

Совершая тепловое движение, электрон может столкнуться с нейтральной молекулой или атомом и «прилипнуть» к ним — образуется свободный отрицательный ион (рис. 21.3).

Процесс образования свободных электронов, положительных и отрицательных ионов из молекул (атомов) газа называют **ионизацией**.

Если *ионизированный* газ поместить в электрическое поле, то под действием поля положительные ионы будут двигаться в направлении пластины, соединенной с отрицательным полюсом источника тока, а электроны и отрицательные ионы — в направлении пластины, соединенной с его положительным полюсом. В пространстве между пластинами возникнет направленное движение свободных заряженных частиц — электрический ток.

**Электрический ток в газах** представляет собой направленное движение свободных электронов, положительных и отрицательных ионов.

Следует обратить внимание на тот факт, что газ может стать ионизированным не только в результате повышения его температуры, но и вследствие влияния других факторов. Например, верхние слои атмосферы Земли ионизируются под действием космических лучей; сильное ионизирующее влияние на газ оказывают рентгеновские лучи и т. д.

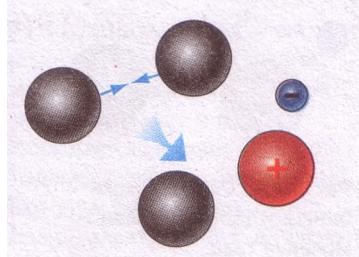
### 3 Даем определение самостоятельного газового разряда

Электрический ток в газах иначе называют **электрическим разрядом** или **газовым разрядом**.

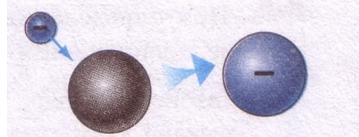
Газовый разряд, который происходит только при наличии внешнего ионизатора, называют **несамостоятельным газовым разрядом**.

Выясним, почему после прекращения действия ионизатора прекращается газовый разряд.

Во-первых, во время теплового движения электронов и положительных ионов может произойти **рекомбинация** — воссоединением их в нейтральную молекулу (атом) (рис. 21.4). Вследствие рекомбинации количество свободных заряженных частиц в воздушном промежутке между пластинами уменьшается.



**Рис. 21.2.** Схема ионизации молекулы газа. Потеряв в результате столкновения электрон, молекула становится положительным ионом



**Рис. 21.3.** Схема образования отрицательных ионов в газе: электрон «прилипает» к нейтральной молекуле

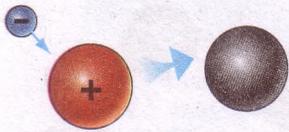


Рис. 21.4. Схема рекомбинации (восстановления) молекул газа

Во-вторых, положительный ион, достигнув отрицательного электрода (катода), «забирает» у него электрон и становится нейтральной молекулой (атомом); отрицательный ион, достигнув положительного электрода (анода), отдает ему лишний электрон и тоже становится нейтральной молекулой (атомом). Нейтральные молекулы (атомы) снова возвращаются в газ; свободные электроны притягиваются к аноду и поглощаются им.

Таким образом, после прекращения действия ионизатора количество свободных заряженных частиц в газе быстро уменьшается и газ перестает быть проводником электричества.

## 4

### Узнаем об ионизации электронным ударом

При определенных условиях газ может проводить электрический ток и после прекращения действия ионизатора.

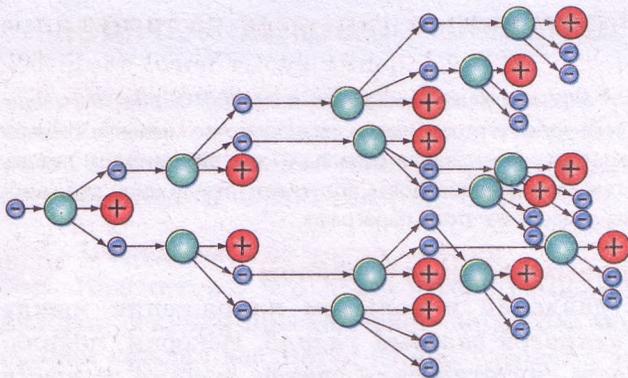
Газовый разряд, происходящий без действия внешнего ионизатора, называют **самостоятельным газовым разрядом**.

Рассмотрим, как происходит самостоятельный газовый разряд. В нормальных условиях газ является диэлектриком, при этом в нем всегда присутствует ничтожное количество свободных электронов. Рассмотрим поведение одного такого электрона, который под действием электрического поля движется в направлении от катода к аноду.

Во время движения скорость электрона постепенно увеличивается. Однако это увеличение не может происходить бесконечно, поскольку электрон сталкивается с частицами газа (атомами, молекулами, ионами). Если на промежутке между столкновениями электрон успеет приобрести довольно большую скорость, а следовательно, достаточную кинетическую энергию, то, столкнувшись с нейтральным атомом или молекулой, он может выбить из них электрон, другими словами, может их *ионизировать*. Таким образом, в результате ионизации атома или молекулы образуются положительный ион и еще один свободный электрон. Последовательность таких столкновений приводит к созданию *электронной лавины* (рис. 21.5). Описанный процесс называют *ударной ионизацией* или *ионизацией электронным ударом*.

Свободные электроны, возникшие вследствие ударной ионизации, направляются к аноду и в конце концов поглощаются им. Однако газовый разряд не прекратится, если в нем будут появляться новые свободные электроны. Одним из источников свободных электронов может быть поверхность катода. Дело в том, что образовавшиеся вследствие ударной ионизации положительные ионы направляются к катоду и выбивают из него новые электроны. Другими словами, вследствие бомбардировки катода положительными ионами происходит *эмиссия (испускание)* электронов с поверхности катода.

Таким образом, самостоятельный газовый разряд поддерживается за счет эмиссии электронов с поверхности катода и ударной ионизации.



**Рис. 21.5.** Схема развития электронной лавины. Свободный электрон, ускоренный электрическим полем, ионизирует молекулу или атом и освобождает еще один электрон. Разогнавшись, два электрона освобождают еще два. К аноду летят уже четыре электрона и т. д. Число свободных электронов увеличивается лавинообразно до тех пор, пока они не достигнут анода

## 5 Выясняем, при каких условиях возможна ионизация электронным ударом

Чтобы свободный электрон смог при столкновении выбить новый электрон из нейтрального атома или молекулы, он должен приобрести достаточно большую энергию. Произойти это может в двух случаях: если электрон будет долго разгоняться или если будет быстро разгоняться.

При атмосферном давлении электрон очень часто испытывает столкновения, поэтому *электрическое поле*, в котором он движется, *должно быть достаточно сильным*, чтобы за короткий промежуток времени между столкновениями электрон смог приобрести необходимую для ионизации энергию.

Если же *газ достаточно разрежен*, то время между столкновениями значительно увеличивается и электрон может достичь энергии, необходимой для ионизации молекулы, в более слабом поле.

## ! Подводим итоги

При нормальных условиях газ практически не содержит свободных заряженных частиц, поэтому не проводит электрический ток. Чтобы газ начал проводить ток, его необходимо ионизировать. Ионизацией газа называют процесс образования свободных электронов, положительных и отрицательных ионов из электрически нейтральных атомов и молекул.

Электрический ток в газах представляет собой направленное движение свободных электронов, положительных и отрицательных ионов.

Газовый разряд, происходящий только при наличии внешнего ионизатора, называют *несамостоятельным газовым разрядом*. Разряд в газе, происходящий без действия внешнего ионизатора, называют *самостоятельным газовым разрядом* — он возможен благодаря ионизации электронным ударом и эмиссии электронов из катода.

## ? Контрольные вопросы

1. Почему при нормальных условиях газ не проводит электрический ток? 2. Какой газ называют ионизированным? 3. Что такое ионизация? 4. Опишите механизм ионизации газа. 5. Какой разряд в газе называют самостоятельным? 6. Почему после прекращения действия ионизатора самостоятельный газовый разряд быстро прекращается? Дайте определение самостоятельного газового разряда. 8. Опишите механизм ударной ионизации. 9. Как еще, кроме ионизации электронным ударом, восполняется число свободных электронов в случае самостоятельного газового разряда?

## § 22. ВИДЫ САМОСТОЯТЕЛЬНЫХ ГАЗОВЫХ РАЗРЯДОВ



Удивительные (а иногда и опасные) явления: молния, полярное сияние, пугающие неосведомленного человека «огни святого Эльма», разноцветное свечение газовых трубок, ослепительный свет во время сварки металла – все это примеры разных видов самостоятельных газовых разрядов. Когда возникает тот или иной вид самостоятельного разряда, вы узнаете из этого параграфа.



### Знакомимся с искровым газовым разрядом

При атмосферном давлении и большом напряжении между электродами возникает *искровой газовый разряд*. Искорки, появляющиеся, когда вы снимаете синтетический свитер; молния во время грозы; искра, проскакивающая между заряженными кондукторами

электрофорной машины (рис. 22.1), — все это примеры искрового разряда.

Искровой разряд выглядит как яркие разветвляющиеся зигзагообразные полоски (рис. 22.2). Он длится всего несколько десятков микросекунд и обычно сопровождается характерными звуковыми эффектами (потрескивание, треск, гром и т. п.). Дело в том, что температура газа, а следовательно, и давление в области разряда резко повышаются, в результате чего воздух быстро расширяется и возникают звуковые волны.

В технике искровой разряд используют в свечах зажигания бензиновых двигателей (рис. 22.3), для обработки особо прочных металлов и т. д.

Пример грандиозного искрового разряда в природе — молния.

Благодаря научным исследованиям было установлено, что во время грозы происходит перераспределение зарядов в грозовой туче, и в результате разные части тучи заряжаются зарядами противоположных знаков. Напряжение между двумя тучами, обращенными друг к другу разноименно заряженными частями, или напряжение между тучей и Землей достигает нескольких сотен миллионов вольт. Благодаря ударной ионизации, а далее — ионизации излучением, которое сопровождает разряд, в электрическом поле между тучами появляются лавины свободных ионов и электронов, то есть возникает кратковременный самостоятельный газо-

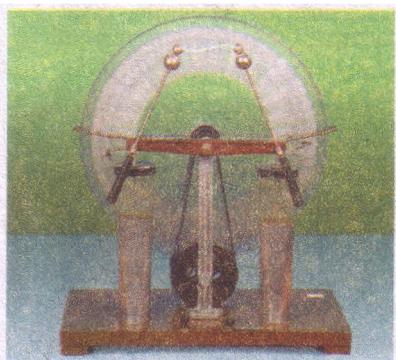


Рис. 22.1. Искровой разряд между заряженными кондукторами электрофорной машины

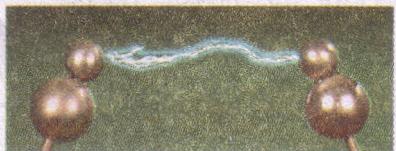


Рис. 22.2. Вид искрового разряда



Рис. 22.3. Электрическое напряжение между электродами свечи зажигания составляет 12–15 тыс. вольт

вый разряд — молния. Сила тока в канале молнии достигает сотен тысяч ампер.

Электрические свойства молнии первыми начали изучать независимо друг от друга российский ученый *М. В. Ломоносов* (рис. 22.4) и американский исследователь *Б. Франклин* (рис. 22.5).

## 2 Защищаемся от удара молнии

Подсчитано, что в атмосфере земного шара каждую секунду проскакивает около 100 молний, причем каждая двадцатая из них ударяет в землю, принося немалый вред. Удар молнии может вызвать лесные пожары, вывести из строя линии электропередачи и даже привести к гибели людей.

Чтобы не стать жертвой удара молнии, нужно помнить, что молния чаще ударяет в относительно высокие предметы, поэтому необходимо соблюдать следующие **правила**.

- Оказавшись во время грозы в поле, нельзя бежать, — наоборот, нужно лечь, чтобы не возвышаться над местностью.
- Во время грозы в лесу нельзя прятаться под высокими деревьями, а в поле — под одиночным деревом, копной сена и т. п.
- Во время грозы нельзя купаться в открытых водоемах, а находясь высоко в горах, лучше прятаться в пещере или под глубоким уступом,
- Во время грозы нельзя запускать воздушного змея: мокрая веревка становится проводником электричества, и молния может ударить в змея. При этом заряды пройдут через руку и тело человека в землю. Кстати, именно так во время эксперимента погиб друг и коллега *М. В. Ломоносова* российский ученый *Г. Рихман* (рис. 22.6).

## 3 Знакомимся с коронным газовым разрядом

Перед грозой или во время грозы рядом с острыми выступами предметов иногда можно наблюдать слабое фиолетовое свечение в виде короны, окружающей острие. Исследования показывают, что причина этого явления — самостоятельный газовый разряд, который называют **коронным** (рис. 22.7). Выясним, почему и как возникает коронный газовый разряд.

На поверхности Земли под действием электрического поля грозовой тучи накапливаются (индуцируются) заряды, по знаку противоположные заряду тучи. Особенно плотно такие заряды расположены



**Рис. 22.4.** Михаил Васильевич Ломоносов (1711–1765) — выдающийся российский ученый; один из основателей физической химии; поэт, художник, историк



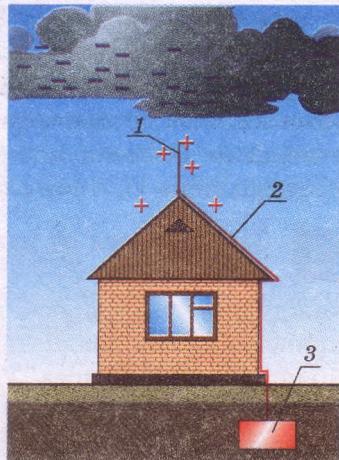
**Рис. 22.5.** Бенджамин Франклин (1706–1790) — американский ученый, выдающийся государственный деятель. Один из первых исследователей атмосферного электричества; предложил конструкцию молниеотвода



**Рис. 22.6.** Трагическая гибель Георга Вильгельма Рихмана 6 августа 1753 г. (гравюра)



**Рис. 22.7.** «Огни святого Эльма» (коронный разряд рядом с острыми концами корабельных мачт) много столетий вызывали ужас мореплавателей, которые не могли правильно объяснить их природу



**Рис. 22.8.** Молниеотвод (громоотвод): 1 — заостренный металлический стержень; 2 — проводник — толстый соединительный провод; 3 — металлический предмет, закопанный глубоко в землю

на острых частях предметов (см, рис. 22.7, 22.8). В результате электрическое поле возле острия оказывается настолько сильным, что заряд стекает с заостренного предмета, ионизируя окружающий воздух. Поле является довольно сильным только вокруг острия, поэтому коронные разряды наблюдаются лишь возле острых частей предметов.

На возникновении коронного разряда основано действие *молниеотвода*. Молниеотвод представляет собой заостренный металлический стержень, соединенный толстым проводником с металлическим предметом (рис. 22.8). Стержень устанавливают выше самой высокой точки здания, которое хотят защитить, а металлический предмет закапывают глубоко в землю (на уровне грунтовых вод). Во время грозы на конце молниеотвода возникает коронный разряд. В результате заряд не накапливается на здании, а стекает с острия молниеотвода.

4

#### Наблюдаем дуговой газовый разряд

В 1802 г. российский физик *Василий Владимирович Петров* (1761–1834) провел такой опыт. Он подключил два угольных электрода к полюсам большой электрической батареи, соединил электроды друг с другом, а затем немного их раздвинул. Между кончиками электродов ученый наблюдал яркое дугообразное пламя, а сами кончики накалялись, излучая ослепительный белый свет. Так был получен еще один вид самостоятельного газового разряда — *дуговой газовый разряд (электрическая дуга)* (рис. 22.9). Какова же причина его возникновения?

После соединения электродов друг с другом электрическая цепь замыкается и по ней начинает течь достаточно сильный электрический ток. В месте соединения сопротивление цепи наибольшее, следовательно, именно здесь, согласно закону Джоуля — Ленца, выделяется наибольшее количество теплоты. Концы электродов накаляются до 3000–4000 °С, и с поверхности катода начинают «испаряться» электроны.

Именно поэтому, даже если электроды развести, через газовый промежуток между ними будет идти ток, так как в промежутке окажется достаточное количество свободных заряженных частиц (свободные электроны, «испарившиеся» с катода, а также свободные электроны и ионы, появившиеся в результате ионизации газа из-за высокой температуры). В дальнейшем высокая температура катода и анода поддерживается бомбардировкой электродов положительными и отрицательными ионами и электронами, ускоренными электрическим полем.

Высокая температура ионизированного газа при дуговом разряде, а также излучение света, сопровождающее такой разряд, обеспечили широкое применение электрической дуги в науке, технике, промышленности. Электрическая дуга «работает» как мощный источник света в прожекторах. В металлургии широко применяют электропечи, в которых используют дуговой разряд; жаром электрической дуги сваривают металлы и т. п. (рис. 22.10).

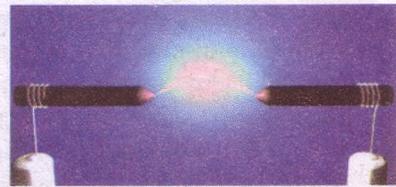


Рис. 22.9. Дуговой газовый разряд

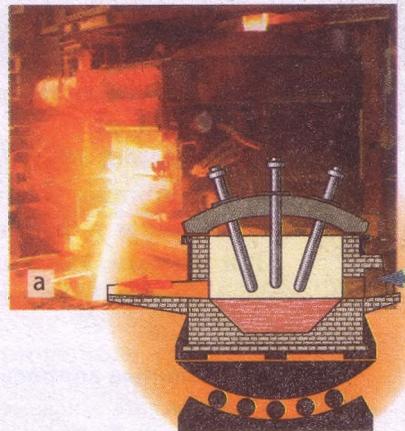


Рис. 22.10. Применение дугового газового разряда для плавки (а) и сварки (б) металлов

5

### Выясняем условия возникновения тлеющего газового разряда

При *низком давлении*, составляющем десятые и сотые доли миллиметра ртутного столба, можно наблюдать свечение разреженного газа — *тлеющий разряд*. Дело в том, что при таком низком давлении расстояние между молекулами настолько велико, что даже в слабом электрическом поле электроны успевают за время между ударами приобрести кинетическую энергию, достаточную для ударной ионизации.

Тлеющий разряд используют в лампах дневного света (люминесцентных трубках), квантовых источниках света — газовых лазерах. Тлеющий разряд применяют в цветных рекламных трубках: цвет свечения при тлеющем разряде определяется природой газа и, следовательно, может быть разным.

### Подводим итоги

В зависимости от давления и температуры газа, способов его ионизации, напряжения и характера свечения, сопровождающего газовый разряд, различают четыре основных вида самостоятельных газовых разрядов.

При атмосферном давлении и большом напряжении между электродами возникает искровой газовый разряд, представляющий собой яркие разветвляющиеся зигзагообразные полосы. Примером гигантского искрового разряда является молния. Удар молнии может привести к смерти, поэтому во время грозы необходимо строго соблюдать правила безопасности.

Самостоятельный газовый разряд, образующийся в сильном электрическом поле вблизи острых выступов предметов, называют коронным газовым разрядом.

При высокой температуре между электродами, разведенными на небольшое расстояние, возникает газовый разряд, сопровождающийся очень ярким свечением в форме дуги, — дуговой газовый разряд.

При низком давлении (десятые и сотые доли миллиметра ртутного столба) можно наблюдать свечение разреженного газа вследствие тлеющего разряда.

### Контрольные вопросы

1. Перечислите основные виды самостоятельных газовых разрядов.
2. Приведите примеры искрового газового разряда. При каких условиях он возникает?
3. Что такое молния? Когда и почему она возникает?
4. Назовите основные правила безопасности, которые нужно соблюдать во время грозы.
5. Что представляет собой коронный разряд?
6. Какие особенности дугового разряда обеспечили его широкое применение?
7. Где применяют электрическую дугу?
8. При каких условиях возникает тлеющий разряд? Где его используют?



### ФИЗИКА И ТЕХНИКА В УКРАИНЕ

#### Институт электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины (Киев)

Практически ежедневно мы сталкиваемся с дуговым газовым разрядом или результатами его действия. Это и маленькие «солнца», пылающие в руках рабочих на стройплощадках, и обычные петли, приваренные к входной двери. Именно благодаря сварке дуговой разряд

нашел такое широкое применение. Бесспорный мировой авторитет Украины в этой области обеспечили работы ученых Института электросварки им. Е. О. Патона.

Во многих постсоветских странах сооружены монументы с танком Т-34 — лучшим танком Второй мировой войны. Такое признание он получил во многом благодаря новейшей по тем временам технологии сварки брони, разработанной основателем и первым директором института академиком *Евгением Оскаровичем Патонам*.

На фото — известный цельносварный мост Патона в Киеве. Этот мост Американское сварочное общество признало выдающейся сварной конструкцией XX в.

Президент НАНУ академик *Борис Евгеньевич Патон*, который сейчас возглавляет институт, достойно продолжил дело своего отца. Под его руководством разработаны не только «обычные» способы сварки для промышленности, — новейшие технологии применяются в космосе и даже для сварки живых тканей.

## § 23. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ТОК В ПОЛУПРОВОДНИКАХ

?!

Когда вы смотрите телевизор, сидите на микрокалькуляторе, работаете за компьютером или разговариваете по мобильному телефону, то вряд ли задумываетесь, как они устроены. Все эти обычные в наше время устройства не были бы созданы, если бы ученые не исследовали, а техники не научились использовать *полупроводники* (рис. 23.1). Из этого параграфа вы узнаете об особенностях проводимости полупроводников.



**Рис. 23.1.** Действие многих современных электрических устройств основано на использовании полупроводников

### 1 Вспоминаем, что такое полупроводники

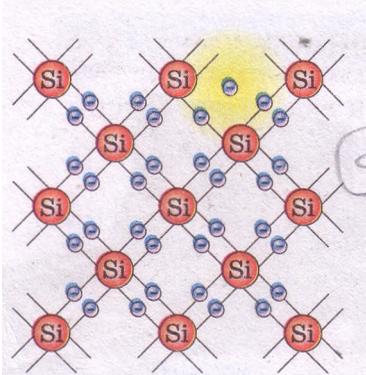
Полупроводники, как это и следует из их названия, по своей проводимости занимают промежуточное место между проводниками и диэлектриками. Если значение удельного электрического сопротивления проводников составляет около  $10^{-8}$  Ом м, а диэлектриков — от  $10^{12}$  до  $10^{20}$  Ом м, то полупроводников — от  $10^4$  до  $10^7$  Ом м. С точки зрения микроструктуры вещества это значит, что концентрация свободных заряженных частиц в полупроводниках намного меньше, чем в проводниках, и намного больше, чем в диэлектриках. Например, очень распространенный в технике полупроводник германий при комнатной температуре имеет около  $10^{20}$  свободных заряженных частиц в  $1 \text{ м}^3$  вещества. Казалось бы, огромное количество. Но это в 10 млрд раз меньше, чем в металлах.

В процессе изучения проводимости полупроводников было установлено, что у них зависимость проводимости от внешних факторов значительно отличается от той, что наблюдается у металлов.

Во-первых, с повышением температуры сопротивление металлов увеличивается, а сопротивление полупроводников, наоборот, уменьшается. Во-вторых, сопротивление металлов практически не зависит от освещенности, тогда как сопротивление полупроводников с увеличением освещенности падает. В-третьих, при наличии примесей металлы хуже проводят ток, а введение примесей в полупроводники, наоборот, резко уменьшает сопротивление последних. Существуют и другие, не менее важные и интересные отличия, но о них вы узнаете позже.

### 2 Знакомимся с особенностями внутреннего строения полупроводников

Выясним, какие частицы являются носителями заряда в полупроводниках, при каких условиях концентрация этих частиц увеличивается и откуда они появляются. Для начала рассмотрим строение чистых (без примесей) полупроводников на примере кремния.



**Рис. 23.2.** Схематическое изображение ковалентной связи кремния

В Периодической системе химических элементов Д. И. Менделеева видим, что Силиций — это химический элемент, расположенный в IV группе. А это значит, что Силиций имеет четыре валентных электрона, которые «отвечают» за связь между соседними атомами. В твердом состоянии для кремния характерна кристаллическая решетка, в которой каждый атом имеет четырех ближайших «соседей».

Атом Силиция как будто «дает займы» атомам-соседям по одному валентному электрону. Соседи в свою очередь «дают займы» ему свои валентные электроны «для общего пользования». Таким образом, между каждыми двумя атомами Силиция всегда существует электронная пара, на

данный момент общая для обоих атомов. Такую связь, как вам известно из курса химии, называют *ковалентной* (рис. 23.2).

3

### **Объясняем механизм собственной проводимости полупроводников**

В полупроводниковом кристалле среди валентных электронов обязательно есть электроны, кинетическая энергия которых настолько велика, что они могут покинуть связь и стать свободными.

Если полупроводниковый кристалл поместить в электрическое поле, то свободные электроны начнут двигаться к положительному полюсу источника тока и в полупроводнике возникнет электрический ток.

С увеличением температуры средняя кинетическая энергия электронов увеличивается и в результате все больше электронов становятся свободными. Поэтому, несмотря на то что вследствие колебательного движения ионы больше мешают движению свободных электронов, сопротивление полупроводника уменьшается.

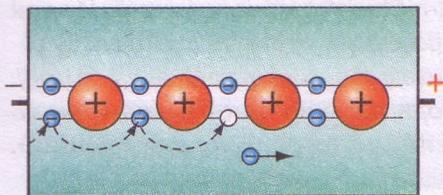
Проводимость полупроводников, обусловленную наличием в них свободных электронов, называют *электронной проводимостью*, а свободные электроны — *электронами проводимости*.

Когда электрон покидает ковалентную связь одного из атомов, точнее одной пары атомов, то эта связь в паре остается незанятой — свободной. Эту свободную связь принято называть *дыркой*. Естественно, что *дырке приписывают положительный заряд*.

На вакантное место может «перепрыгнуть» электрон из соседней связи, и там в свою очередь образуется дырка. В результате последовательности таких «прыжков» дырка будто перемещается по кристаллу. (На самом же деле (рис. 23.3) перемещаются — в обратном направлении! — связанные валентные электроны.)

Проводимость полупроводников, обусловленную «перемещением» дырок, называют *дырочной проводимостью*.

В чистом полупроводнике электрический ток создается одинаковым количеством свободных электронов и дырок. Такую проводимость называют *собственной проводимостью полупроводников*.



**Рис. 23.3.** Механизм дырочной проводимости в полупроводниках. Красные кружочки — ионы кристаллической решетки; синие кружочки — связанные электроны; белый кружочек — вакантное место (дырка). Под действием электрического поля связанный электрон перемещается в направлении положительного полюса источника тока — на вакантное место возле соседнего атома. Это выглядит так, будто дырка перемещается в направлении отрицательного полюса

#### 4 Изучаем примесную проводимость полупроводников

Мы рассмотрели электрический ток в чистых полупроводниках, в которых количество свободных электронов и дырок одинаково. Однако если в чистый полупроводник добавить небольшое количество примеси, то картина несколько изменится.

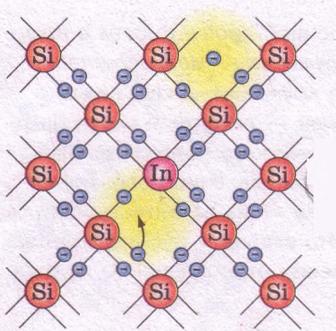
Например, если в чистый расплавленный кремний добавить немного мышьяка, то после кристаллизации образуется обычная кристаллическая решетка кремния, однако в ее некоторых узлах вместо атомов Силиция будут находиться атомы Арсена (рис. 23.4). Арсен, как известно, пятивалентный элемент. Четыре валентных электрона атома Арсена образуют парные электронные связи с соседними атомами Силиция. Пятому же валентному электрону связи не хватает, при этом он будет так слабо связан с атомом Арсена, что легко станет свободным. В результате *каждый атом примеси* даст один свободный электрон, а вакантное место (дырка) при этом не образуется. Примеси, атомы которых легко отдают электроны, называются *донорными примесями* (от латин. *donare* — дарить, жертвовать).

Напомним, что кроме свободных электронов, появившихся благодаря наличию примесей, в полупроводниках есть электроны и дырки, наличие которых вызвано собственной проводимостью полупроводников. Следовательно, в полупроводниках с донорными примесями количество свободных электронов значительно больше, чем количество дырок. Таким образом, основными носителями зарядов в таких полупроводниках являются отрицательно заряженные частицы. Поэтому полупроводники с донорными примесями называют полупроводниками *n-типа* (от латин. *negativus* — отрицательный).

Если в кремний добавить небольшое количество трехвалентного элемента, например, Индия, то характер проводимости полупроводника изменится. Поскольку атом Индия имеет три валентных электрона, то он может образовать ковалентную связь только с тремя соседними атомами Силиция (рис. 23.5). Для образования связи с четвертым атомом электрона



**Рис. 23.4.** Схема строения кристалла кремния с введенными атомами Арсена. Пятый валентный электрон Арсена не принимает участия в ковалентной связи и становится свободным



**Рис. 23.5.** Схема строения кристалла кремния с введенными атомами Индия. Каждый атом Индия создает одну дырку

не хватит, и этот отсутствующий электрон Индия «позаимствует» у соседних атомов Силиция. В результате каждый атом Индия создаст одну Дырку. Примеси такого рода называются *акцепторными примесями* (от латин. *acceptor* — принимающий).

В полупроводниках с акцепторными примесями основные носители заряда — дырки. Полупроводники с преимущественно дырочной проводимостью называют полупроводниками *p-типа* (от латин. *positivus* — положительный).

Поскольку при наличии примесей количество свободных заряженных частиц увеличивается (каждый атом примеси дает свободный электрон или дырку), то проводимость полупроводников с примесями намного выше, чем проводимость чистых полупроводников.

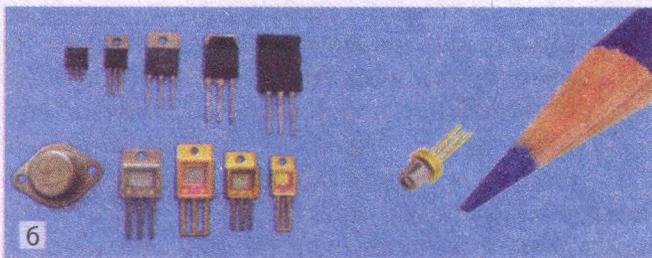
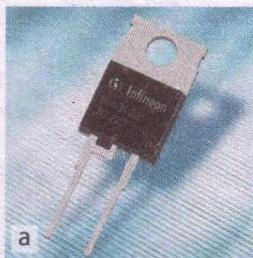
## 5 Применяем полупроводники

Широкое применение полупроводников обусловлено несколькими факторами.

*Во-первых*, свойствами *p-n-перехода* — места контакта двух полупроводников — *p*- и *n*-типа. Именно в этом месте наблюдается ряд интересных явлений, например через него электрический ток хорошо проходит в одном направлении и практически не проходит в противоположном. Это явление получило название *односторонней проводимости*.

Свойства *p-n-перехода* используют для изготовления полупроводниковых диодов и транзисторов, без которых не обходится ни одно современное электронное устройство (рис. 23.6), а также в солнечных батареях — приборах для непосредственного преобразования энергии излучения Солнца в электрическую энергию.

Следует отметить, что применение полупроводников в технике почти на 99 % обусловлено именно свойствами *p-n-перехода* и что подробнее с этими свойствами вы познакомитесь в ходе дальнейшего изучения физики.



**Рис. 23.6.** Любое современное электронное устройство содержит миниатюрные полупроводниковые диоды (а), транзисторы (б)

*Во-вторых*, сопротивление полупроводников уменьшается с увеличением температуры, и наоборот. Эту зависимость используют в специальных приборах — *терморезисторах*, или *термисторах*, применяемых для измерения температуры, поддержания постоянной температуры в автоматических устройствах (рис. 23.7).

*В-третьих*, сопротивление полупроводников изменяется в зависимости от освещенности. Это свойство используют в полупроводниковых приборах, которые называются *фоторезисторами*. Их применяют для измерения освещенности, контроля качества поверхности и т. д. (рис. 23.8).

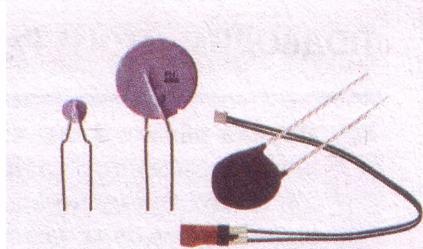


Рис. 23.7. Внешний вид некоторых терморезисторов



Рис. 23.8. Некоторые фоторезисторы, применяемые на практике

### Подводим итоги

словлена движением свободных электронов (электронная проводимость) и движением дырок (дырочная проводимость). В чистых полупроводниках электрический ток создает одинаковое количество свободных электронов и дырок. Такую проводимость называют собственной проводимостью полупроводников.

При наличии примесей проводимость полупроводников резко увеличивается. В случае введения в полупроводник примеси с большей валентностью (донорной примеси) свободных электронов становится во много раз больше, чем дырок. Такие полупроводники называют полупроводниками *n*-типа.

В случае введения в полупроводник примеси с меньшей валентностью (акцепторной примеси) дырок становится больше, чем свободных электронов. Полупроводники с преимущественно дырочной проводимостью называют полупроводниками *p*-типа.

Полупроводники широко используют в технике, например, для изготовления полупроводниковых диодов и транзисторов, фотозащитных элементов, термисторов, фоторезисторов и т. д.

### Контрольные вопросы

1. Чем полупроводники отличаются от металлов?
2. Какую связь называют ковалентной?
3. Как в чистых полупроводниках появляются свободные электроны?
4. Объясните механизм дырочной проводимости. Чем обусловлена собственная проводимость полупроводников?
5. Почему сопротивление полупроводников сильно зависит от наличия примесей?
6. Какая примесь называется донорной?
7. Назовите основные носители зарядов в полупроводниках *n*-типа.
8. Есть ли в полупроводниках *n*-типа дырки?
9. Какую примесь нужно ввести, чтобы получить полупроводник *p*-типа?
10. Какими факторами обусловлено широкое применение полупроводников?
11. Где применяют полупроводники?

## ПОДВОДИМ ИТОГИ РАЗДЕЛА 2 «ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ТОК»

1. Изучая раздел 2, вы узнали, что *электрический ток* — это *направленное движение частиц, имеющих электрический заряд*, и убедились, что для существования электрического тока в цепи необходимо выполнение *двух условий*.

### УСЛОВИЯ СУЩЕСТВОВАНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ТОКА

Наличие свободных частиц, имеющих электрический заряд

Наличие электрического поля

2. Вы выяснили, что узнать о наличии электрического тока можно *по его действиям*, а электрическое поле создается *источниками тока*.
- Действия электрического тока основаны на преобразовании энергии электрического поля в другие виды энергии.

### ДЕЙСТВИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ТОКА

Тепловое

Магнитное

Химическое

Световое

- \* Внутри источника тока осуществляется работа по разделению электрических зарядов, происходит преобразование различных видов энергии в энергию электрического поля.

### ИСТОЧНИКИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ТОКА

Механические

Химические

Тепловые

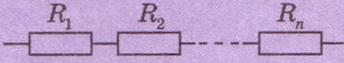
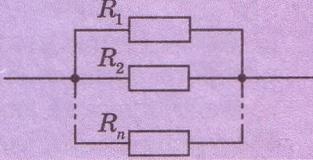
Световые

3. Вы изучили физические величины, которые используют для характеристики участка цепи, и проследили связь между ними.

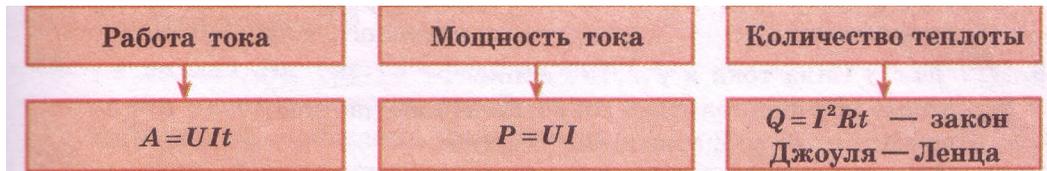
Физическая величина	Символ для обозначения	Единица	Формула для определения	Прибор для измерения
Сила тока	$I$	А (ампер)	$I = \frac{q}{t}$	Амперметр
Напряжение	$U$	В (вольт)	$U = \frac{A}{q}$	Вольтметр
Сопротивление	$R$	Ом (ом)	$R = \rho \frac{l}{S}$	Омметр

### ЗАКОН ОМА ДЛЯ УЧАСТКА ЦЕПИ: $I = U/R$

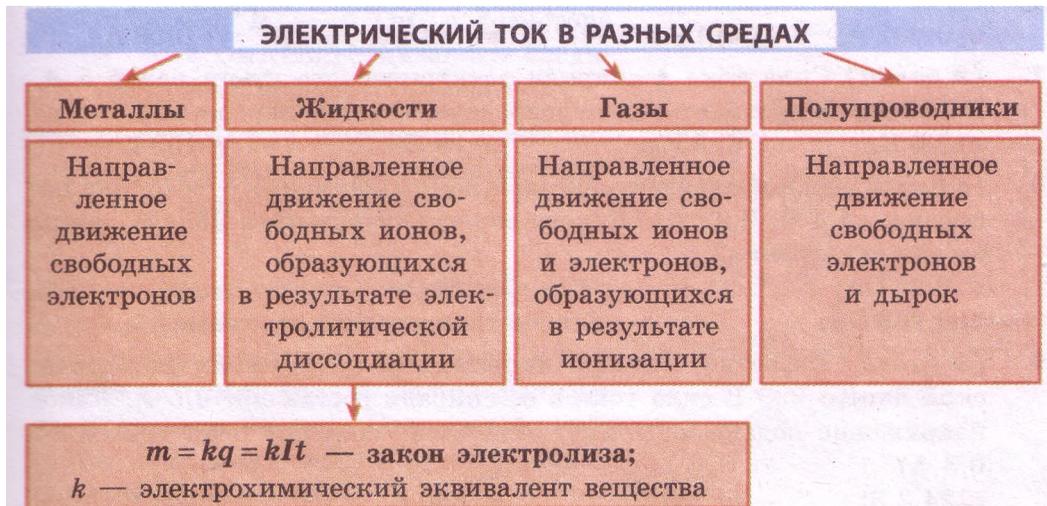
4. Вы научились составлять электрические цепи, познакомились с различными видами соединений потребителей в электрическую цепь и установили закономерности последовательного и параллельного соединений.

Физическая величина	Вид соединения проводников	
	Последовательное	Параллельное
		
Сила тока	$I = I_1 = I_2 = \dots = I_n$	$I = I_1 + I_2 + \dots + I_n$
Напряжение	$U = U_1 + U_2 + \dots + U_n$	$U = U_1 = U_2 = \dots = U_n$
Сопротивление	$R = R_1 + R_2 + \dots + R_n$	$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_n}$

5. Вы вспомнили, что изменение энергии всегда сопровождается выполнением работы, и узнали о формулах для определения работы и мощности тока, а также для расчета количества теплоты, всегда выделяющейся во время прохождения тока.



6. Вы узнали, что все вещества делятся на проводники, полупроводники, диэлектрики; рассмотрели природу электрического тока в разных средах.



## ЗАДАНИЯ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ К РАЗДЕЛУ 2 «ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ТОК»

### Часть I. Сила тока. Напряжение. Сопротивление.

#### Последовательное и параллельное соединения проводников

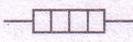
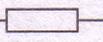
Задания 1-11 содержат только один правильный ответ.

- (1 балл) Потребителем электрической энергии, условное обозначение которого приведено на рис. 1, является:
 

а) электрическая лампа;	в) резистор;
б) электрический звонок;	г) реостат.



Рис. 1
- (1 балл) На электрической схеме резистор обозначается так:
 

а) 	б) 	в) 	г) 
--	--	--	---
- (1 балл) В гальваническом элементе происходит преобразование:
  - механической энергии в химическую;
  - химической энергии в электрическую;
  - электрической энергии во внутреннюю;
  - внутренней энергии в электрическую.
- (1 балл) Вольтметр — это прибор, который служит для измерения:
 

а) силы тока;	в) сопротивления;
б) напряжения;	г) удельного сопротивления.
- (1 балл) Сила тока в участке цепи:
  - прямо пропорциональна сопротивлению участка;
  - не зависит от сопротивления участка;
  - обратно пропорциональна напряжению на концах участка;
  - прямо пропорциональна напряжению на концах участка.
- (2 балла) Сопротивление вольтметра 12 кОм. Ток какой силы проходит через вольтметр, если прибор показывает напряжение 12 В?
 

а) 0,001 А;	б) 1 А;	в) 144 А;	г) 1000 А.
-------------	---------	-----------	------------
- (2 балла) Сила тока в спирали электрического утюга равна 5 А. Какой заряд проходит через поперечное сечение спирали за 0,5 мин?
 

а) 2,5 Кл;	б) 6 Кл;	в) 10 Кл;	г) 150 Кл.
------------	----------	-----------	------------
- (2 балла) На цоколе электрической лампы карманного фонарика написано: «4,4 В, 0,22 А». Каково сопротивление нити накала лампы во время свечения?
 

а) 0,05 Ом;	в) 20 Ом;
б) 0,968 Ом;	г) определить невозможно.
- (2 балла) Известно, что при напряжении на зажимах электрической лампы 220 В сила тока в ее спирали составляет 0,5 А. Какое напряжение подано на лампу, если по ее спирали течет ток силой 0,3 А?
 

а) 24,2 В;	б) 132 В;	в) 330 В;	г) 440 В.
------------	-----------	-----------	-----------

10. (2 балла) Нихромовый провод длиной 20 см имеет площадь поперечного сечения  $2 \text{ мм}^2$ . Вычислите сопротивление провода.
- а)  $0,11 \text{ Ом}$ ;                      в)  $22 \text{ Ом}$ ;  
 б)  $11 \text{ Ом}$ ;                        г)  $1100 \text{ Ом}$ .

11. (3 балла) Три резистора подключены к электрической цепи, как показано на рис. 2. Какова общая сила тока в цепи, если сила тока в первом резисторе  $1 \text{ А}$ , во втором —  $1 \text{ А}$ , в третьем —  $1,5 \text{ А}$ ?
- а)  $1 \text{ А}$ ;                                в)  $2,5 \text{ А}$ ;  
 б)  $1,5 \text{ А}$ ;                          г)  $3,5 \text{ А}$ .

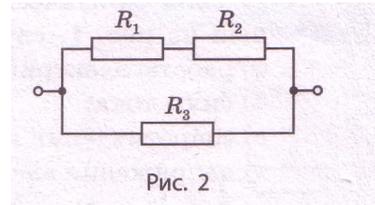


Рис. 2

12. (3 балла) Резисторы сопротивлениями  $3 \text{ Ом}$  и  $6 \text{ Ом}$  соединены параллельно и подключены к источнику тока, напряжение на зажимах которого  $12 \text{ В}$ . Какова сила тока в цепи?
13. (3 балла) Резисторы, имеющие сопротивления  $3 \text{ Ом}$  и  $6 \text{ Ом}$ , соединены последовательно. Каково напряжение на обоих резисторах, если напряжение на первом равно  $1,2 \text{ В}$ ?
14. (4 балла) Какой силы ток проходит через реостат, если его обмотка изготовлена из никелинового провода длиной  $50 \text{ м}$  и площадью поперечного сечения  $0,5 \text{ мм}^2$ ? Напряжение на зажимах реостата равно  $168 \text{ В}$ .

15. (4 балла) На рис. 3 представлена схема участка электрической цепи. Определите показание вольтметра, а также общее напряжение на всем участке цепи, если амперметр показывает силу тока  $1,5 \text{ А}$ . Сопротивление резистора  $R_1$  равно  $3 \text{ Ом}$ , резистора  $R_2$  —  $6 \text{ Ом}$ , а резистора  $R_3$  —  $2 \text{ Ом}$ . Сопротивлением соединительных проводов пренебречь.

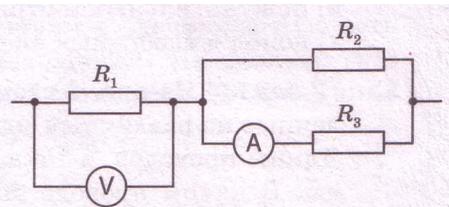


Рис. 3

16. (4 балла) Как изменятся показания приборов (рис. 4), если ползунок реостата переместить влево?

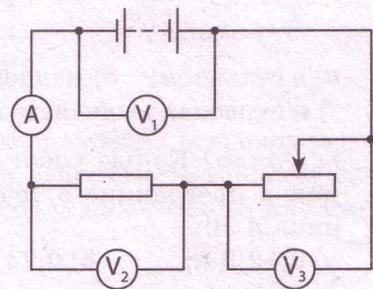


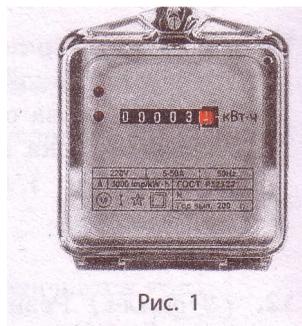
Рис. 4

Сверьте ваши ответы с приведенными в конце учебника. Отметьте задания, которые вы выполнили правильно, и подг-тайте сумму баллов. Затем эту сумму разделите на три. Полученное число будет соответствовать уровню ваших учебных достижений.

## Часть Н. Работа и мощность тока. Закон Джоуля—Ленца. Электрический ток в разных средах

Задания 1-10 содержат только один правильный ответ.

1. (1 балл) Физический прибор, представленный на рис. 1, служит для измерения:
- работы электрического тока;
  - силы тока;
  - сопротивления проводника;
  - напряжения электрического тока.



2. (1 балл) Свободные заряженные частицы в газах могут существовать в результате:
- электролитической диссоциации;
  - хаотического движения молекул газа;
  - действия внешнего ионизатора;
  - рекомбинации молекул газа.
3. (1 балл) В электросварке применяется:
- тлеющий разряд;
  - искровой разряд;
  - коронный разряд;
  - дуговой разряд.
4. (1 балл) Электрический ток в полупроводниках — это направленное движение:
- свободных электронов;
  - дырок и свободных электронов;
  - положительных и отрицательных ионов;
  - ионов и свободных электронов.
5. (2 балла) На рис. 2 схематически изображены три провода, изготовленные из различных материалов и подключенные к источнику тока. Длины проводов, а также площади их поперечных сечений одинаковы. В каком проводе выделяется наибольшее количество теплоты?

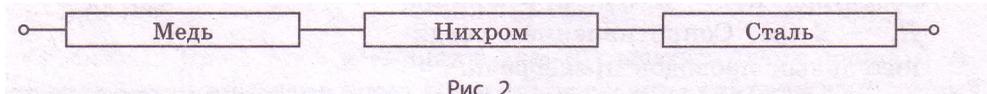


Рис. 2

- в стальном;
  - в медном;
  - в нихромовом;
  - в проводах выделяется одинаковое количество теплоты.
6. (2 балла) Какую работу выполнит ток силой  $0,3 \text{ А}$  при прохождении в проводнике в течение  $10 \text{ с}$ ? Напряжение на концах проводника  $4 \text{ В}$ .
- $0,12 \text{ Дж}$ ;
  - $0,74 \text{ Дж}$ ;
  - $3,6 \text{ Дж}$ ;
  - $12 \text{ Дж}$ .
7. (2 балла) Сила тока в нагревательном элементе электрического утюга составляет  $5 \text{ А}$ , сопротивление элемента —  $40 \text{ Ом}$ . Какое количество теплоты выделяется в нагревательном элементе за  $5 \text{ мин}$ ?
- $2 \text{ Дж}$ ;
  - $200 \text{ Дж}$ ;
  - $300 \text{ кДж}$ ;
  - $500 \text{ кДж}$ .

8. (2 балла) Какова сила тока в спирали электрической лампы (рис. 3) во время свечения?  
 а) около 0,45 А; б) 2,2 А; в) 22кА; г) определить невозможно.

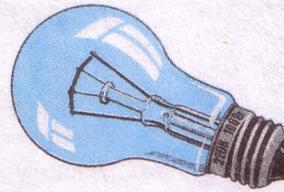


Рис. 3

9. (2 балла) В процессе серебрения изделия за 1 ч на катоде выделилось 2 г серебра. Какой приблизительно была сила тока во время серебрения?  
 а) 0,3 А; б) 0,4 А; в) 0,5 А; г) 0,6 А.

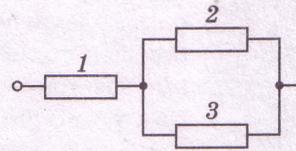


Рис. 4

10. (3 балла) Три резистора соединены в электрическую цепь, как показано на рис. 4. Сколько теплоты выделится в цепи за 2 с, если сила тока в первом резисторе равна 1 А, а сопротивление каждого резистора 2 Ом?  
 а) 1 Дж; б) 2 Дж; в) 6 Дж; г) 12 Дж.

11. (3 балла) Резисторы сопротивлениями 3 и 6 Ом соединены параллельно и подключены к источнику тока, напряжение на зажимах которого равно 12 В. Определите мощность электрического тока в каждом резисторе и на всем участке.

12. (4 балла) Транспортёр поднимает груз массой 300 кг на высоту 16 м за 2 мин. Определите силу тока в электродвигателе транспортёра, если напряжение сети 380 В, а КПД транспортёра — 60%.

13. (4 балла) В электрический чайник, сопротивление спирали которого 110 Ом, налили 2 л воды. Чайник включили в электрическую сеть напряжением 220 В и через 0,5 мин выключили. На сколько градусов увеличилась температура воды в чайнике, если КПД чайника 70%? Удельная теплоемкость воды  $4200 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}}$ .

14. (4 балла) Три резистора соединены так, как показано на рис. 5, и подключены к батарее гальванических элементов. Напряжение на зажимах батареи составляет 4 В, сопротивление каждого резистора равно 12 Ом. Определите мощность, потребляемую каждым резистором.

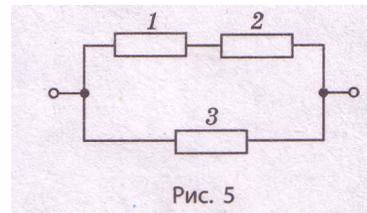


Рис. 5

15. (4 балла) Никелирование металлической пластины осуществлялось при силе тока 0,15 А и продолжалось 2 ч. Определите толщину слоя никеля, покрывшего пластину, если площадь поверхности пластины 96 см<sup>2</sup>. Плотность никеля  $8500 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ .

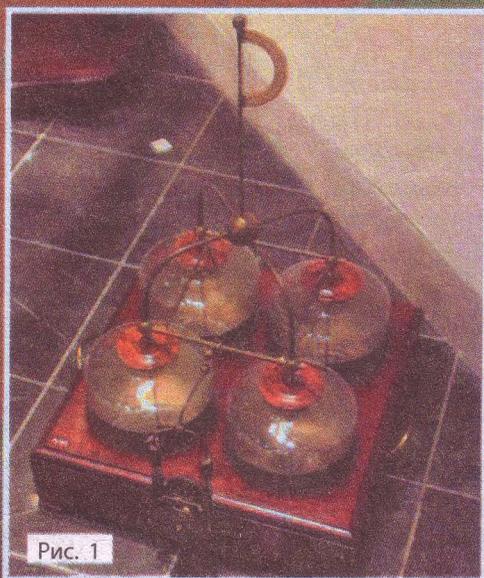
Сверьте ваши ответы с приведенными в конце учебника. Отметьте задания, которые вы выполнили правильно, и подсчитайте сумму баллов. Затем эту сумму разделите на три. Полученное число будет соответствовать уровню ваших учебных достижений.

## ОТ ЛЕЙДЕНСКИХ БАНКОК К СУПЕРКОНДЕНСАТОРАМ

На XVIII–XIX вв. приходится ряд изобретений, которые дошли до наших дней (разумеется, определенным образом модернизированными).

Например, изучая влияние электрического поля на разные объекты, английский ученый *Майкл Фарадей* сконструировал клетку в виде куба с ребром 4 м, покрыл ее стенки материалом, являющимся хорошим проводником, и изолировал клетку от земли. По мнению ученого, такая конструкция должна была стать надежной защитой от влияния электрического поля. Чтобы проверить эффективность устройства, ученый взял сверхчувствительный электроскоп и вошел с ним в клетку. Ассистенты, находившиеся снаружи, создавали мощные электрические разряды, однако электроскоп не зарегистрировал наличие электрического заряда в клетке. Устройство получило название *клетка Фарадея* и сейчас применяется для защиты от действия электромагнитных полей. Клеткой Фарадея «наоборот» пользуется большинство из нас, разогревая еду в микроволновой печи. Металлический корпус печи и сетка, нанесенная на стекло дверцы, «не выпускают» электромагнитные волны наружу.

Электрический заряд и связанная с ним энергия имеют один очень большой недостаток — их тяжело накапливать. Так, автомобильный аккумулятор весит более десяти килограммов, причем это тяжелое устройство работает на полную мощность всего несколько секунд — когда нужно завести двигатель. Другие потребности электросистемы автомобиля удовлетворяет генератор (о нем вы узнаете из раздела 3 учебника), а для питания ламп на парковке достаточно маленькой батарейки. Зачем же возить лишние килограммы? Таким вопросом задались и инженеры. Сегодня они уже изобрели способ существенно уменьшить размеры аккумулятора, применив современный аналог *лейденской банки* (рис. 1) — *суперконденсатор* (рис. 2), энергия которого используется только при запуске двигателя. Сравнив размеры и вес суперконденсатора и автомобильного аккумулятора, вы согласитесь, что разница впечатляющая.



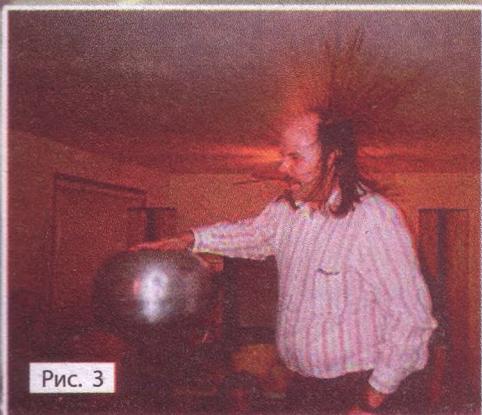


Рис. 3

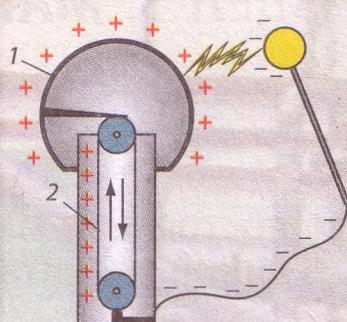


Рис. 4

Лейденская банка, созданная в середине XVIII в. в городе Лейден (Голландия), является наиболее давним накопителем электрической энергии. Лейденская банка представляет собой стеклянную банку, обклеенную изнутри и снаружи металлической фольгой. Соединение с внутренней оболочкой осуществляется с помощью металлического стержня, укрепленного внутри банки. Чтобы зарядить лейденскую банку, нужно коснуться стержня заряженным телом (при этом банку следует держать в руке — так внешняя оболочка банки соединяется с землей). Проведя эту операцию несколько раз, в банке можно накопить значительный заряд (рис. 3).

Принцип действия лейденской банки лег в основу конструкции, которая по имени изобретателя получила название *генератор Ван де Граафа* (рис. 4). Этот прибор работает следующим образом. Внутри изолированного шара (7), изготовленного из проводника, введена лента (2) транспортера, находящаяся в постоянном движении. Двигаясь, лента заряжается и передает заряд на шар. Генератор Ван де Граафа является «сердцем» некоторых современных ускорителей, использующихся для изучения микромира (рис. 5) (подробнее о них вы узнаете из раздела 4 учебника).



Рис. 5

# РАЗДЕЛ 3. МАГНИТНОЕ ПОЛЕ

## § 24. ПОСТОЯННЫЕ МАГНИТЫ. МАГНИТНОЕ ПОЛЕ. ЛИНИИ МАГНИТНОГО ПОЛЯ

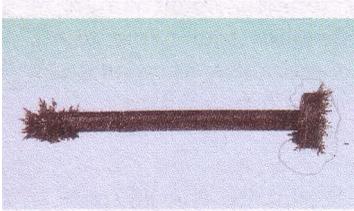
?!

Еще в глубокой древности было замечено, что некоторые железные руды притягивают к себе железные тела. Древние греки называли куски таких руд магнитными камнями, вероятно, по названию города Магнезия, из которого привозили такую руду. Сейчас их называют *природными магнитами*. Существуют также *искусственные магниты*. Из этого параграфа вы узнаете о некоторых свойствах магнитов.

1

### Изучаем свойства постоянных магнитов

Тела, длительное время сохраняющие магнитные свойства, называют **постоянными магнитами**.



**Рис. 24.1.** Железные опилки сильнее всего притягиваются к полюсам магнита



**Рис. 24.2.** Стрелка компаса — постоянный магнит, один полюс которого указывает на север, а второй — на юг

Свойства постоянных магнитов первым досконально исследовал английский физик В. Гильберт (см. рис. 3.1). Приведем основные из них.

#### Основные свойства постоянных магнитов

1. *Магнитное действие магнита различно на разных участках его поверхности.* Чтобы подтвердить это, погрузим намагниченный стальной болт (постоянный магнит) в железные опилки. К концам болта притянется много опилок, а к середине — почти ничего. Те участки поверхности магнита, где магнитное действие проявляется наиболее сильно, называют *полюсами магнита* (рис. 24.1).

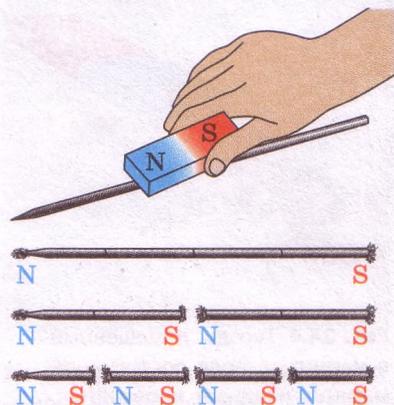
2. *Магнит имеет северный и южный полюса.* Если полосовой магнит установить на острие, он примет определенное положение: один его полюс будет указывать *на север* Земли, а второй — *на юг* (рис. 24.2). Отсюда и названия полюсов магнита. Северный полюс обозначают буквой N, южный — буквой S (от голл. *noord* — север, *zuiden* (нем. *Stideri*) — юг).

3. *Одноименные полюса магнитов отталкиваются, а разноименные — притягиваются.* Если к магниту поднести компас, то северный полюс стрелки компаса притянется к южному полюсу магнита (или наоборот).

4. *Невозможно получить магнит только с одним полюсом.* Например, если намагниченную с помощью постоянного магнита спицу перекусить кусачками на несколько частей, то каждая часть будет иметь два полюса: северный и южный (рис. 24.3).

5. *Магниты оказывают заметное магнитное действие лишь на тела, которые изготовлены из магнитных материалов.* Сами постоянные магниты тоже изготавливают из магнитных материалов. Обычно в магнитных материалах содержатся Феррум, Никель, Кобальт и некоторые редкоземельные металлы: Гадолиний, Тербий и др. Например, магниты для крепления плакатов делают из стали, в состав которой входит Феррум. Они хорошо держатся на стальной классной доске и совсем не держатся на деревянной или пластиковой.

6. *В случае нагревания постоянного магнита до определенной температуры его магнитные свойства исчезают.* Температуру, при достижении которой постоянные магниты теряют магнитные свойства, называют *точкой Кюри*. Например, для железа точка Кюри равна 769 °С.



**Рис. 24.3.** И намагниченная спица, и отдельные ее части — это магниты с двумя разноименными полюсами

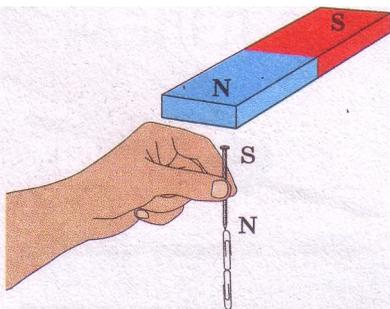
## 2 Знакомимся с магнитным полем

При изучении электрических явлений мы говорили о том, что пространство вокруг заряженного тела изменяется — в нем образуется электрическое поле, действующее на другие заряженные тела с некоторой силой, и в результате одноименно заряженные тела отталкиваются, а разноименно заряженные — притягиваются.

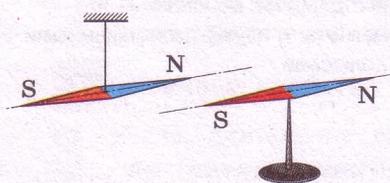
Вокруг намагниченного тела тоже происходит определенное изменение пространства, а именно образуется *магнитное поле, которое действует на другие намагниченные тела с некоторой силой*, вследствие чего тела отталкиваются одноименными полюсами и притягиваются разноименными.

Изучая электрические явления, мы также обращали внимание на то, что незаряженное тело всегда притягивается к заряженному. Под действием электрического поля заряженного тела внутри незаряженного тела происходит перераспределение электрических зарядов, поэтому ближе к заряженному телу всегда оказываются заряды противоположного ему знака (см. § 3, п. 5).

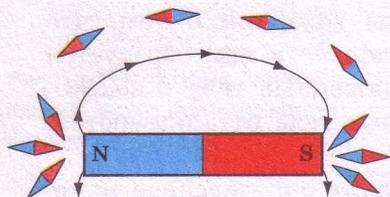
Под действием магнитного поля внутри тел тоже происходят определенные изменения. Так, железный гвоздь, помещенный в магнитное поле постоянного магнита, намагничивается (рис. 24.4). Причем конец гвоздя, расположенный ближе к северному полюсу магнита, становится южным полюсом, поэтому гвоздь притягивается к магниту.



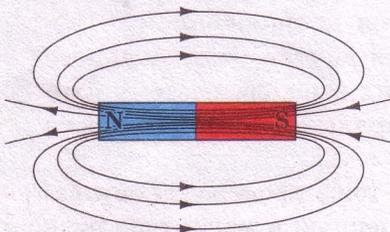
**Рис. 24.4.** Гвоздь, помещенный в магнитное поле постоянного магнита, начинает проявлять магнитные свойства



**Рис. 24.5.** Полюса магнитной стрелки расположены на ее концах. Воображаемая линия, проходящая через полюса, — ось магнитной стрелки



**Рис. 24.6.** В магнитном поле постоянного магнита магнитные стрелки ориентируются вдоль магнитных линий



**Рис. 24.7.** Линии магнитного поля представляют собой замкнутые кривые

### 3 Вводим понятие магнитных линий

Издавна для изучения магнитных полей используют *магнитные стрелки* — постоянные магниты, обычно имеющие форму вытянутого ромба (рис. 24.5).

Расположим вокруг полосового магнита большое количество маленьких магнитных стрелок, укрепленных на подставках так, что они могут свободно поворачиваться. Стрелки установятся (сориентируются) упорядоченно — их оси как бы образуют линии. Это происходит потому, что на стрелки действует магнитное поле, созданное магнитом.

Условные линии, вдоль которых в магнитном поле устанавливаются оси маленьких магнитных стрелок, называют *линиями магнитного поля* или *магнитными линиями\** (рис. 24.6).

*За направление линий магнитного поля принимают направление, на которое указывает северный полюс магнитной стрелки.*

С помощью магнитных линий удобно изображать магнитные поля графически. Договорились чертить магнитные линии таким образом, чтобы их густота отражала интенсивность магнитного поля: чем сильнее магнитное поле, тем чаще чертят линии.

Глядя на изображение линий магнитного поля полосового магнита (рис. 24.7), можно сделать несколько выводов. Во-первых, вне магнита *линии магнитного поля выходят из северного полюса магнита и входят в южный*; во-вторых, *линии магнитного поля замкнуты*, в-третьих, *магнитное поле является наиболее сильным вокруг полюсов магнита.*

Картину магнитных линий можно увидеть, воспользовавшись железными опилками. Возьмем подковообразный магнит, положим на него пластинку из оргстекла и через ситечко будем насыпать на пластинку желез-

\* Линии магнитного поля называют еще *линиями магнитной индукции*. Подробнее об этом вы узнаете в старшей школе.

ные опилки. В магнитном поле каждый кусочек железа намагнитится и станет маленькой «магнитной стрелкой». Импровизированные «стрелки» сориентируются определенным образом. Рисунок, созданный цепочками опилок, отображает картину линий магнитного поля, или, как говорят физики, *спектр магнитного поля* (рис. 24.8).

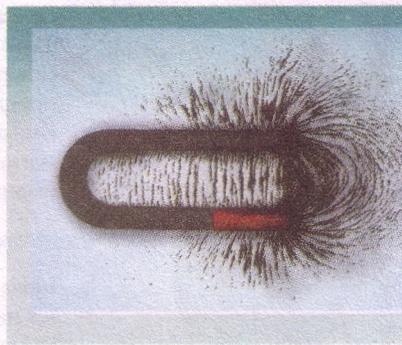


Рис. 24.8. Расположение железных опилок вокруг подковообразного магнита

### ! Подводим итоги

Тела, долгое время сохраняющие свои магнитные свойства, называют постоянными магнитами.

Основные свойства магнитов:

- магнитное действие магнита наиболее сильно проявляется вблизи его полюсов (северный и южный полюса магнита обозначают буквами N и S соответственно);

- одноименные полюса магнитов отталкиваются, а разноименные притягиваются;

- невозможно получить магнит только с одним полюсом;

- магниты оказывают заметное магнитное действие только на тела, которые изготовлены из магнитных материалов;

- в случае нагревания постоянного магнита до определенной температуры (точка Кюри) его магнитные свойства исчезают.

Вокруг намагниченного тела существует магнитное поле. Условные линии, вдоль которых в магнитном поле устанавливаются оси маленьких магнитных стрелок, называют линиями магнитного поля или магнитными линиями. За направление магнитных линий принимают направление, на которое указывает северный полюс магнитной стрелки. Линии магнитного поля представляют собой замкнутые кривые. Вне магнита они выходят из его северного полюса и входят в южный.

### ? Контрольные вопросы

1. Что такое постоянный магнит? 2. Что такое полюса магнита и какое название имеет каждый из них? 3. Перечислите свойства постоянных магнитов. 4. С помощью каких опытов можно выявить свойства постоянных магнитов? 5. Как располагаются в магнитном поле магнитные стрелки? 6. Что называют магнитными линиями? 7. Какое направление принято за направление линий магнитного поля? 8. Как можно увидеть спектр магнитного поля?

### Упражнение № 21

1. Магнитную стрелку поместили возле полосового магнита (рис. 1). Определите, какой полюс магнита является южным, а какой — северным.
2. Магнит южным полюсом подносят к подвешенному на нити железному шарик. Что в этом случае будет наблюдаться: притяжение шарика к магниту или отталкивание? Поясните свой ответ.

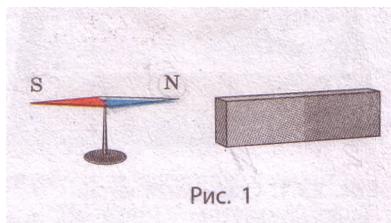


Рис. 1



Рис. 2

3. Почему железные опилки, притянувшись к полюсам магнита, торчат в разные стороны (см. рис. 24.1)?
4. Почему на постоянном магните можно получить цепочку железных предметов (рис. 2)?
5. Имеются две одинаковые стальные пластинки, одна из которых намагничена. Как, не используя другие предметы, определить, какая именно пластинка намагничена?



### Экспериментальное задание



1. Намагнитьте две стальные иглы, оставив их на некоторое время на постоянном магните. Убедитесь, что каждая игла имеет два полюса и что одноименные полюса игл отталкиваются, а разноименные – притягиваются.
2. Возьмите несколько игл со вдетыми в их ушки нитями. Нити соедините в один пучок. Медленно поднесите снизу к иглам постоянный магнит (рис. 3). Объясните наблюдаемые явления.

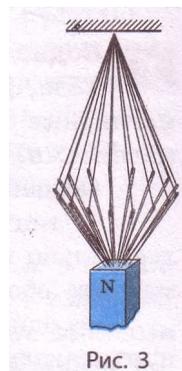


Рис. 3

## § 25. МАГНИТНОЕ ПОЛЕ ЗЕМЛИ



Для многих людей XXI в. не составляет большого труда во время путешествия определить направление движения. Для этого достаточно воспользоваться спутниковой системой GPS. Но что делать, если соответствующего устройства нет? Конечно же, воспользоваться картой и компасом – устройством, известным людям с древних времен (рис. 25.1). А вот почему стрелка компаса одним концом указывает на север, а другим – на юг и всегда ли это так, вы узнаете из этого параграфа.

### 1 Доказываем, что Земля обладает магнитным полем

То, что магнитная стрелка вблизи поверхности Земли всегда ориентируется определенным образом, доказывает, что *планета Земля имеет магнитное поле*. Стрелка же устанавливается вдоль магнитных линий этого поля.

Магнитное поле Земли издавна помогло ориентироваться путешественникам, морякам, военным и не только им. Доказано, что рыбы, морские млекопитающие и птицы во время своих миграций ориентируются по магнитному полю Земли. Так же ориентируются, отыскивая путь домой, и некоторые животные, например кошки.

Первые эксперименты по изучению земного магнетизма провел Вильям Гильберт. Он изготовил из постоянного магнита шар и убедился, что этот шар имеет два полюса: северный и южный. Расположив на шаре компас, Гильберт выяснил,

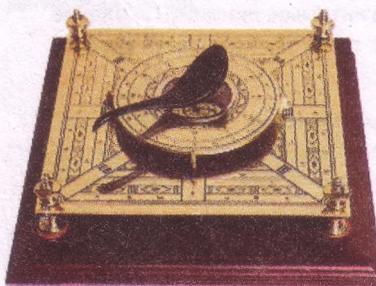


Рис. 25.1. Старинный китайский компас

что северный полюс магнитной стрелки всегда указывает на южный полюс шара. Этот эксперимент позволил ученому предположить, что Земля — это большой магнит и что на севере нашей планеты расположен ее южный магнитный полюс. Дальнейшие исследования полностью подтвердили гипотезу Гильберта.

Анализируя картину линий магнитного поля Земли (рис. 25.2), можно сделать несколько выводов.

Во-первых, вблизи южного географического полюса Земли расположен северный магнитный полюс, из которого линии магнитного поля выходят. И наоборот, возле северного географического полюса Земли расположен южный магнитный полюс, в который линии магнитного поля входят.

Во-вторых, магнитный и географический полюса Земли не совпадают (они отстоят друг от друга приблизительно на 2100 км), поэтому стрелка компаса указывает направления на север и юг лишь приблизительно.

В-третьих, линии магнитного поля не параллельны поверхности Земли. Если закрепить магнитную стрелку таким образом, чтобы она могла свободно вращаться как вокруг горизонтальной, так и вокруг вертикальной осей, то она установится под определенным углом к поверхности Земли (рис. 25.3). При приближении магнитному полюсу стрелка будет все больше склоняться к вертикали и на магнитном полюсе установится вертикально.

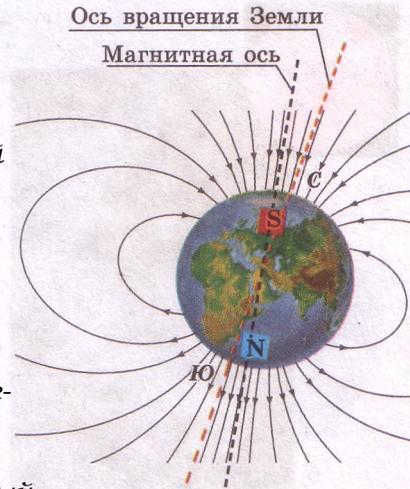


Рис. 25.2. Схема расположения линий магнитного поля Земли

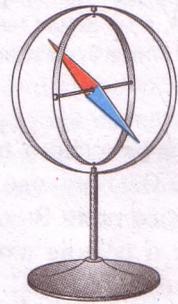


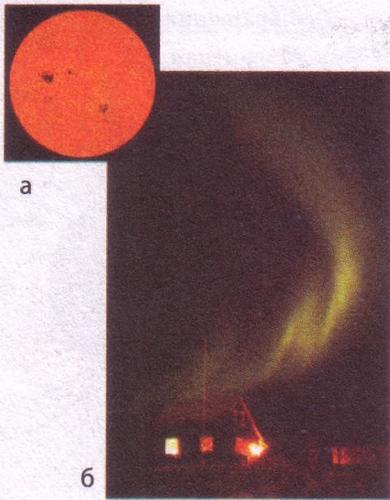
Рис. 25.3. Магнитная стрелка, которая может свободно поворачиваться вокруг вертикальной и горизонтальной осей, устанавливается под углом к поверхности Земли

2

## Узнаём о магнитных бурях и магнитных аномалиях

Исследования показали, что в любой местности магнитное поле Земли не является постоянным. Установлено, что магнитная стрелка периодически, каждые сутки, немного отклоняется. Кроме того, наблюдаются небольшие ежегодные изменения магнитного поля Земли. Случаются, однако, и резкие его изменения. Сильные возмущения магнитного поля Земли, охватывающие всю планету и продолжающиеся от одного до нескольких дней, называют *магнитными бурями*. Замечено, что магнитные бури наблюдаются одновременно с ростом солнечной активности (рис. 25.4).

Магнитные бури практически не ощущаются здоровыми людьми, а вот 7 тех, кто страдает сердечно-сосудистыми заболеваниями и заболеваниями нервной системы, вызывают ухудшение самочувствия. Во время магнитных



**Рис. 25.4.** Во время повышения солнечной активности увеличивается площадь темных пятен на Солнце (а), а на Земле наблюдаются магнитные бури и полярные сияния (б)

бурь магнитная стрелка ведет себя аномально, то есть не устанавливается в направлении «север — юг». Впрочем, на нашей планете есть определенные участки, где наблюдаются постоянные аномалии: направление, на которое указывает магнитная стрелка, постоянно не совпадает с направлением линий магнитного поля Земли. Такие участки называют *магнитными аномалиями*. Исследования некоторых магнитных аномалий позволяют обнаружить залежи полезных ископаемых, в первую очередь железной руды, а в комплексе с другими методами — определить глубину их залегания и количество запасов.

### **! Подводим итоги**

Планета Земля имеет магнитное поле, которое задает направление магнитным стрелкам компасов, — те устанавливаются вдоль линий магнитного поля Земли. Вблизи южного географического полюса Земли расположен ее северный магнитный полюс; вблизи северного

географического полюса Земли — ее южный магнитный полюс.

Обычно наблюдаются незначительные периодические изменения магнитного поля Земли, однако во время увеличения солнечной активности бывают и резкие изменения магнитного поля. Это явление получило название магнитных бурь.

Участки на поверхности Земли, где направление, на которое указывает магнитная стрелка, постоянно не совпадает с направлением линий магнитного поля Земли, называют магнитными аномалиями.



### **Контрольные вопросы**

1. Докажите, что Земля имеет магнитное поле. 2. Как расположены магнитные полюса Земли относительно географических? 3. Чем можно объяснить возникновение магнитных бурь? Как они влияют на самочувствие человека? 4. Что такое магнитная аномалия?



1. В каком месте Земли магнитная стрелка обоими полюсами указывает на юг?  
2. Почему стальная оконная решетка со временем может намагнититься?
3. Какому требованию должен соответствовать материал, использующийся для строительства научно-исследовательских судов, на которых ученые исследуют магнитное поле Земли?



### **Экспериментальное задание**

1. С помощью стрелки компаса определите направление магнитного поля Земли в вашей комнате. Будет ли ваш ответ правильным, если возле стрелки разместить стальной предмет? постоянный магнит? Объясните свое предположение и проверьте его экспериментально.
2. Поднесите компас сначала ко дну, а затем к верхней части железного ведра, стоящего на земле. Объясните наблюдаемое явление.

## § 26. МАГНИТНОЕ ДЕЙСТВИЕ ТОКА. МАГНИТНОЕ ПОЛЕ ПРОВОДНИКА С ТОКОМ

**?!** Уже говорилось о том, что электрический ток может оказывать тепловое, химическое и магнитное действия. И если тепловое и химическое действия тока проявляются не всегда, то магнитное действие является общим свойством любого тока. Исходя из этого можно предположить, что вокруг проводника с током существует магнитное поле. Выясним это.

### 1 Узнаём об опыте Эрстеда

Еще ученые Древней Греции высказывали предположение, что магнитные и электрические явления каким-то образом связаны между собой, однако установить эту связь удалось лишь в начале XIX в.

Датский ученый *Х. Эрстед* (рис. 26.1) демонстрировал студентам опыты с нагреванием проводников электрическим током. При проведении одного из опытов он заметил, что *во время прохождения электрического тока по проводнику магнитная стрелка, расположенная рядом с проводником, отклоняется от направления «север — юг»* (рис. 26.2), а в отсутствие тока снова устанавливается вдоль линий магнитного поля Земли. Так ученый установил, что электрический ток оказывает определенное действие на магнитную стрелку.

### 2 Знакомимся с гипотезой Ампера

Статью с описанием своих опытов Эрстед разослал всем ведущим ученым Европы. Французский математик и физик А. Ампер (см. рис. 9.2) впервые услышал об опытах Эрстеда на заседании Французской академии наук 4 сентября 1820 г. и уже через неделю продемонстрировал взаимодействие двух параллельно расположенных проводников с током (рис. 26.3). Кроме того, Ампер показал, что катушки, по которым проходит ток, ведут себя как постоянные магниты (рис. 26.4).

Проанализировав результаты опытов, Ампер сделал несколько выводов (мы их сформулируем с учетом современных знаний о микромире).

1. *Вокруг постоянного магнита, или проводника с током, или любой движущейся заряженной частицы существует магнитное поле.*

2. *Магнитное поле действует с некоторой силой*



Рис. 26.1. Ханс Кристиан Эрстед (1777–1851), датский физик. Открыл действие тока на магнитную стрелку

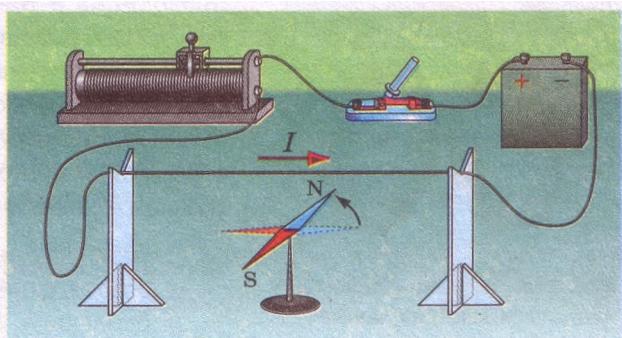
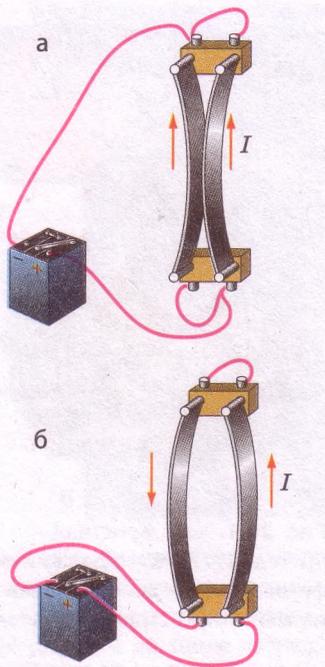
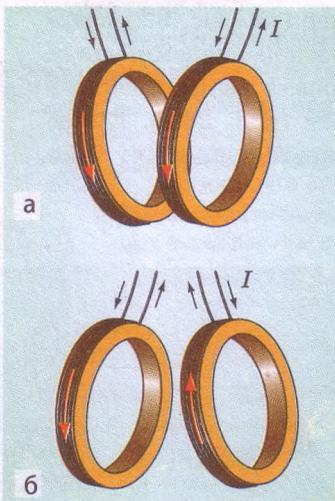


Рис. 26.2. Схема опыта Х. Эрстеда



**Рис. 26.3.** Схема опыта А. Ампера. Если в двух параллельных проводниках проходят токи одного направления, проводники притягиваются (а); если противоположных направлений — отталкиваются (б)



**Рис. 26.4.** Катушки с током ведут себя как постоянные магниты: они притягиваются (а) или отталкиваются (б)

на заряженную частицу, движущуюся в этом поле.

3. Электрический ток представляет собой направленное движение заряженных частиц, поэтому магнитное поле действует на проводник с током.

4. Взаимодействие проводника с током и постоянного магнита, а также взаимодействие постоянных магнитов можно объяснить, предположив существование внутри магнита незатухающих молекулярных электрических токов. (Это предположение назвали гипотезой Ампера. Гипотеза Ампера только частично объясняет магнитные свойства веществ. Современные представления о природе магнетизма основаны на законах квантовой механики.)

Таким образом, все магнитные явления Ампер объяснял взаимодействием движущихся заряженных частиц. Взаимодействие осуществляется посредством магнитных полей этих частиц.

**Магнитное поле** — особая форма материи, которая существует вокруг движущихся заряженных частиц или тел и действует с некоторой силой на другие заряженные частицы или тела, движущиеся в этом поле.

### 3 Знакомимся с правилом буравчика

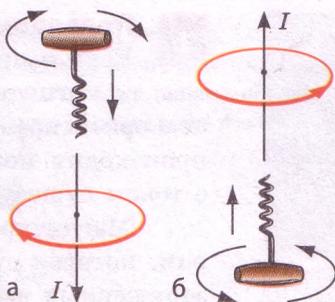
Исследуем магнитное поле прямого проводника с током с помощью железных опилок. Попав в магнитное поле такого проводника, опилки намагнитятся и расположатся вдоль магнитных линий (рис. 26.5). Таким образом, опилки воссоздадут картину линий магнитного поля прямого проводника с током — концентрические окружности, охватывающие проводник.

Направление линий магнитного поля проводника с током можно определить, как и в случае с постоянными магнитами, с помощью магнитной стрелки. Однако это не всегда удобно, поэтому пользуются **правилом буравчика** (рис. 26.6):

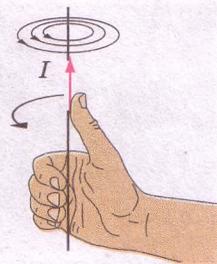
Если вкручивать буравчик по направлению тока в проводнике, то направление вращения ручки буравчика укажет направление линий магнитного поля тока.



**Рис. 26.5.** Исследование магнитного поля прямого проводника с током с помощью железных опилок



**Рис. 26.6.** Определение направления линий магнитного поля проводника с током по правилу буравчика: *а* — ток направлен вниз; *б* — ток направлен вверх



**Рис. 26.7.** Определение направления линий магнитного поля проводника с током по правилу правой руки

Направление магнитных линий можно определять также по **правилу правой руки** (рис. 26.7):

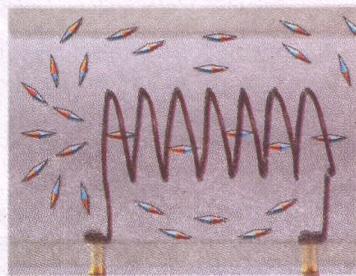
Если направить большой палец правой руки по направлению тока в проводнике, то четыре согнутых пальца укажут направление линий магнитного поля тока.

#### 4 Изучаем магнитное поле катушки с током

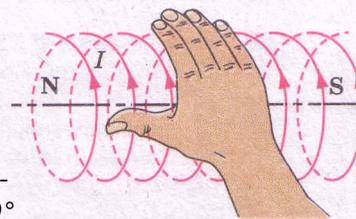
Смотаем изолированный провод в катушку и пропустим по нему ток. Если теперь вокруг катушки разместить магнитные стрелки, которые могут свободно вращаться, то к одному торцу катушки стрелки повернутся северным полюсом, а ко второму — южным (рис. 26.8). Следовательно, *вокруг катушки с током существует магнитное поле*.

Как и полосовой магнит, катушка с током имеет два полюса — южный и северный. Полюса катушки расположены на ее торцах, и их легко определить с помощью правой руки: *если четыре согнутых пальца правой руки расположить по направлению тока в катушке, то отогнутый на 90° большой палец укажет направление на северный полюс катушки* (рис. 26.9). Понятно, что с изменением направления тока в катушке ее полюса меняются местами.

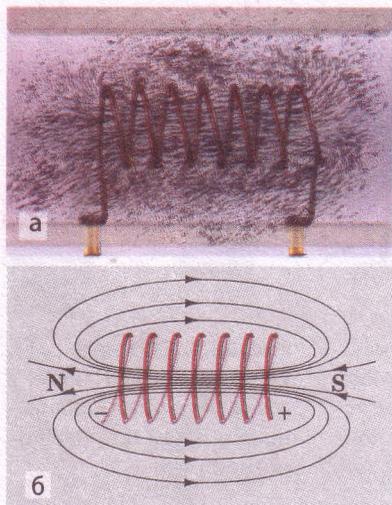
Сравнивая спектры магнитных полей катушки с током (рис. 26.10) и постоянного полосового магнита (см. рис. 24.7), нетрудно заметить их чрезвычайную схожесть.



**Рис. 26.8.** Исследование магнитного поля катушки с током с помощью магнитных стрелок



**Рис. 26.9.** Определение полюсов катушки с током с помощью правой руки



**Рис. 26.10.** Исследование магнитного поля катушки с током с помощью железных опилок: а — картина магнитных линий; б — схематическое изображение: магнитные линии выходят из северного полюса катушки и входят в южный

### ! Подводим итоги

Если в проводнике течет электрический ток, то магнитная стрелка рядом с проводником ориентируется определенным образом. Это происходит потому, что вокруг проводника с током существует магнитное поле.

Магнитное поле — особая форма материи, которая существует вокруг движущихся заряженных частиц или тел и действует с некоторой силой на другие заряженные частицы или тела, движущиеся в этом поле.

Направление линий магнитного поля проводника с током можно определить с помощью правила буравчика: если вкручивать буравчик по направлению тока в проводнике, то направление вращения ручки буравчика укажет направление линий магнитного поля тока. Их направление можно также определить с помощью правила правой руки.

Катушка с током, как и постоянный магнит, имеет два полюса. Их можно определить с помощью правой руки: если четыре согнутых пальца правой руки расположить по

направлению тока в катушке, то отогнутый на  $90^\circ$  большой палец укажет направление на ее северный полюс.



### Контрольные вопросы

1. В чем суть открытия Х. Эрстеда? 2. Опишите опыты А. Ампера. 3. Как А. Ампер объяснял наличие магнитного поля постоянных магнитов? 4. Как определить направление линий магнитного поля проводника с током? 5. Какой вид имеет спектр магнитного поля прямого проводника с током? катушки с током? 6. Как определить магнитные полюса катушки с током?



### Упражнение № 23

1. Как объяснить взаимодействие двух проводников с током?
2. На рис. 1 изображена линия магнитного поля проводника с током. Укажите направление тока.
3. Перенесите рис. 2 в тетрадь. Нарисуйте линии магнитного поля катушки с током. Укажите направление этих линий.

Над катушкой подвешен магнит (рис. 3). Как будет вести себя магнит, если замкнуть цепь? Свой ответ поясните.

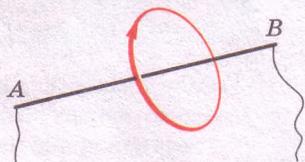


Рис. 1

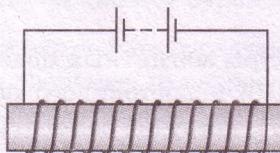


Рис. 2

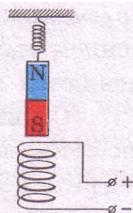


Рис. 3

5. На рис. 4 изображены источник тока, катушка, по которой проходит ток, и магнитная стрелка. Определите полюса источника тока. Ответ поясните,  
 6. Как расположится относительно магнита подвижная катушка (рис. 5), если: а) пропустить по ней ток? б) изменить направление тока?

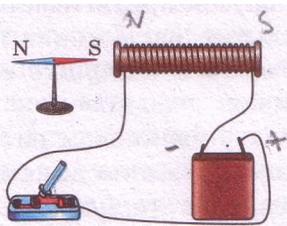


Рис. 4

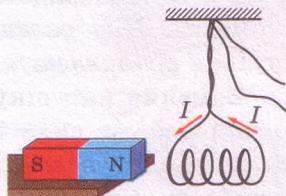


Рис. 5

**Экспериментальное задание**

Изготовьте электромагнитный компас. Для этого склейте бумажный цилиндр длиной 4-5 см. На каркас намотайте 20-30 витков тонкого гибкого изолированного провода. Полученную катушку закрепите на небольшой дощечке (или пробке) и соедините концы провода с батареей гальванических элементов. С помощью правой руки определите полюса катушки и обозначьте их на каркасе. Опустите дощечку в широкий сосуд с водой. Электромагнитный компас готов. Объясните, как он будет действовать. Что произойдет, если источник тока отключить? Вставьте внутрь катушки железный гвоздь. Будет ли ваш компас после этого правильно указывать направление «север – юг»?

**§ 27. ЭЛЕКТРОМАГНИТЫ И ИХ ПРИМЕНЕНИЕ**

Электрический школьный звонок, электродвигатель, подъемный кран на складе металлолома, обогатитель железной руды... Как связаны эти, на первый взгляд совершенно разные, устройства? Человек, знающий физику, однозначно ответит, что в каждом используется электромагнит. Из этого параграфа вы узнаете, что такое электромагнит, и выясните, как он работает.

**1 Выясняем, от чего зависит магнитное действие катушки с током**

Соберем электрическую цепь из источника тока, катушки, реостата и амперметра. Для оценки магнитного действия катушки с током воспользуемся железным цилиндром, который подвесим на динамометр, размещенный над катушкой (рис. 27.1). Если замкнуть цепь, то цилиндр намагнитится в магнитном поле катушки и притянется к ней, дополнительно растянув пружину динамометра.

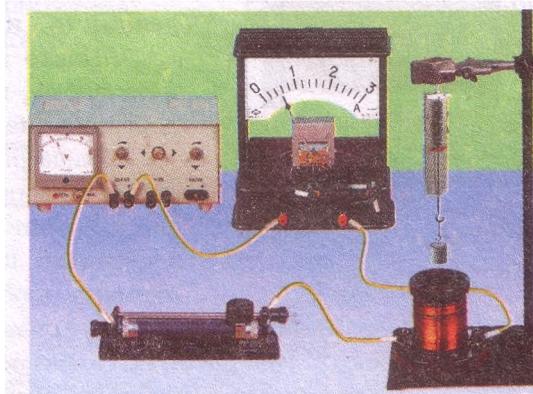


Рис. 27.1. Исследование магнитного действия катушки с током

Понятно, что цилиндр будет притягиваться к катушке тем сильнее, чем сильнее ее магнитное действие.

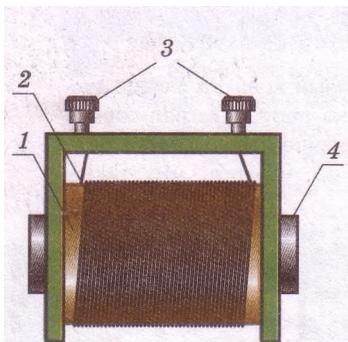
Увеличивая с помощью реостата силу тока в катушке, обнаружим, что с увеличением силы тока брусок притягивается к катушке сильнее, о чем свидетельствует большее растяжение пружины динамометра. *При увеличении силы тока в катушке ее магнитное действие усиливается.*

Заменяв катушку другой, с большим числом витков, увидим, что при той же силе тока удлинение пружины динамометра будет больше. *Если увеличить число витков в катушке, ее магнитное действие усилится.*

Введем внутрь катушки толстый железный стержень — *сердечник*. Включим ток — цилиндр устремится к катушке и «прилипнет» к сердечнику. *Магнитное действие катушки значительно усиливается в случае введения внутрь железного сердечника.* Дело в том, что введенный в катушку сердечник, изготовленный из магнитного материала, намагничивается, то есть сам становится магнитом. При этом магнитное поле такого сердечника намного сильнее, чем магнитное поле самой катушки.

## 2 Узнаём об устройстве электромагнитов и сфере их применения

Катушку с введенным внутрь сердечником из магнитного материала называют **электромагнитом**.



**Рис. 27.2.** Устройство электромагнита: 1 — каркас; 2 — обмотка; 3 — клеммы; 4 — сердечник

Рассмотрим устройство электромагнита (рис. 27.2). Любой электромагнит имеет каркас (1), изготовленный из диэлектрика. На каркас плотно намотан изолированный провод — это обмотка электромагнита (2). Концы обмотки подведены к специальным клеммам (3), с помощью которых электромагнит подключают к источнику тока. Внутри каркаса размещен сердечник (4), изготовленный из магнитного материала.

Часто электромагниту придают подковообразную форму, поскольку в таком случае его магнитное действие значительно усиливается.

Электромагниты получили широкое применение в технике прежде всего потому, что их магнитное действие легко регулировать, изменяя силу тока в обмотке. Кроме того, электромагниты можно изготовить любых форм и размеров.

Электромагниты применяют в электродвигателях, электрических генераторах, электроизмерительных приборах, телефонах, электрических звонках, микрофонах и т. п. Мы рассмотрим применение электромагнитов в *электромагнитных подъемных кранах и электромагнитном реле.*

### 3 Изучаем принцип действия электромагнитного подъемного крана и электромагнитного реле

Соберем электрическую цепь из источника тока и электромагнита. Замкнув цепь, увидим, что железные опилки притянулись к сердечнику электромагнита, следовательно, можно перенести их, например, на другой конец стола (рис. 27.3).

Именно по такому принципу работают *электромагнитные подъемные краны* (рис. 27.4), переносящие тяжелые железные болванки, металлолом и т. п. И не нужны никакие крючки! Включили ток — железные предметы притянулись к электромагниту, их перенесли в нужное место; выключили ток — железные предметы прекратили притягиваться к магниту и остались там, куда были перенесены.

Электромагниты используют также, когда возникает потребность в потребителях электроэнергии, сила тока в которых достаточно велика. Замыкающее устройство и потребитель соединены последовательно, поэтому через замыкающее устройство должен проходить ток большой силы. А это представляет опасность для людей, работающих за пультом управления. Что же делать? На помощь приходят *электромагнитные реле* — устройства для управления электрической цепью (рис. 27.5). Обратите внимание: замыкающее устройство (1), установленное на пульте управления, и электромагнит (2) подключены к источнику тока *A*, с малым напряжением на входе, а потребитель (на рисунке это электродвигатель) получает энергию от мощного источника *B*.



Рис. 27.3. После замыкания цепи железные опилки притягиваются к сердечнику (а); после размыкания — осыпаются (б)



Рис. 27.4. Электромагнитный подъемный кран

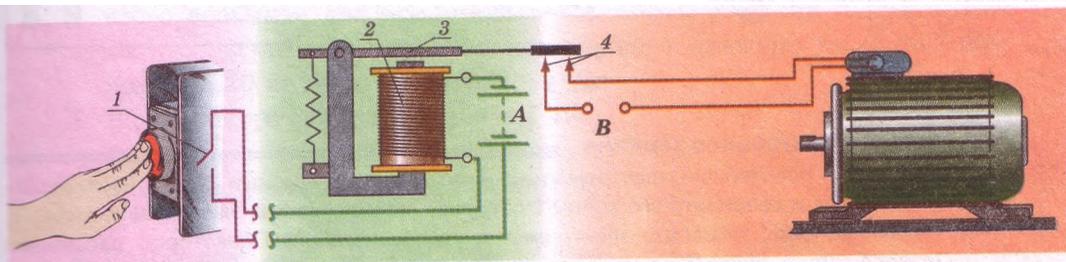


Рис. 27.5. Принцип действия электромагнитного реле. В случае замыкания ключа (1) (кнопки) по цепи электромагнита (2) проходит слабый безопасный ток. Вследствие этого железный сердечник электромагнита притягивает к себе якорь (3). Когда якорь замыкает контакты (4), замыкается цепь электродвигателя, который потребляет ток значительно большей силы.

## Подводим итоги

Магнитное действие катушки с током усиливается, если увеличить количество витков обмотки; увеличить силу тока; ввести внутрь катушки сердечник, изготовленный из магнитного материала.

Катушку с введенным внутрь сердечником, изготовленным из магнитного материала, называют электромагнитом.

Электромагниты получили широкое применение в технике. Это обусловлено тем, что магнитное действие электромагнита легко регулировать, изменяя силу тока в обмотке, а также тем, что электромагниты можно изготовить любых форм и размеров.

## Контрольные вопросы

1. От чего и как именно зависит магнитное действие катушки с током? Опишите опыт в подтверждение вашего ответа.
2. Что такое электромагнит? Каково его устройство?
3. Почему электромагниты получили широкое применение в технике?
4. Объясните принцип действия электромагнитного подъемного крана.
5. Для чего предназначено электромагнитное реле? Опишите принцип его действия.

## Упражнение № 24

1. Наматыв на железный гвоздь изолированный провод и соединив концы обмотки с батареей гальванических элементов, получили простейший электромагнит (рис. 1). Определите полюса этого электромагнита. Свой ответ поясните.
2. К каким зажимам электромагнитного реле (рис. 2) нужно подключить источник слабого (управляющего) тока?
3. На рис. 3 изображена схема строения автомата, срабатывающего при определенной температуре. Назовите основные части этого устройства, объясните принцип его действия. Где целесообразно устанавливать такие автоматы?
4. Как изменится подъемная сила электромагнита, если передвинуть ползунок реостата вправо (рис. 4)? Поясните свой ответ.

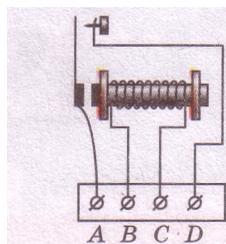
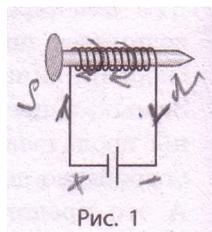


Рис. 2

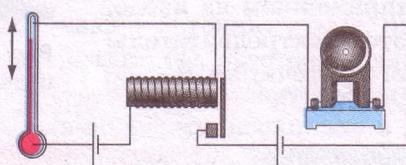


Рис. 3

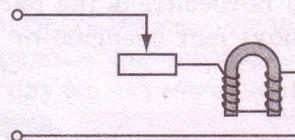


Рис. 4

## Экспериментальное задание

Изготовьте простейший электромагнит: намотайте на железный гвоздь изолированный провод и соедините его концы с батареей гальванических элементов (см. рис. 1). Разомкнув цепь, закрепите электромагнит горизонтально на некотором расстоянии от поверхности стола. Смешайте мелкие кусочки бумаги, зерна риса и мелкие железные предметы (лучше опилки). Замкните цепь. Медленно просыпая смесь рядом со шляпкой гвоздя, отделите железные предметы. Подумайте, где можно использовать аналогичное устройство и как его усовершенствовать.

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 10



**Тема.** Изготовление простейшего электромагнита и испытание его действия.

**Цель:** научиться изготавливать простейший электромагнит и выяснить, от чего зависит его действие.

**Оборудование:** штатив, медный провод, источник постоянного тока, одинаковые железные стержни (или большие гвозди), пробник, железные опилки, реостат, ключ, амперметр, магнитная стрелка или компас, соединительные провода.

### УКАЗАНИЯ К РАБОТЕ

#### Теоретические сведения

Для оценки магнитного действия электромагнита можно воспользоваться *пробником* (рис. 1). Он состоит из стальной пластинки (7), закрепленной с помощью пружины (2) внутри пластмассового корпуса (3). Если поднести пробник к электромагниту, магнитное поле последнего будет действовать на пластинку пробника. Пластинка будет притягиваться к электромагниту тем сильнее, чем сильнее его магнитное действие. Значение силы притяжения определяют по шкале, нанесенной на стальную пластинку пробника. При отсутствии пробника магнитное действие электромагнита можно оценить с помощью динамометра и подвешенного к нему небольшого стального стержня.

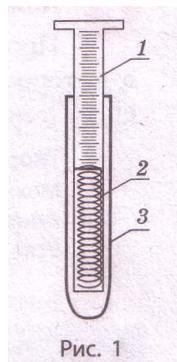


Рис. 1

#### Подготовка к эксперименту

Прежде чем приступить к выполнению работы, вспомните:

- 1) требования безопасности во время работы с электрическими цепями;
- 2) как зависит магнитное действие электромагнита от силы тока, количества витков и наличия железного сердечника.

#### Эксперимент

1. Изготовьте два электромагнита с разным количеством витков. Для этого возьмите два одинаковых железных стержня и намотайте на них различное число витков медного провода: на один стержень — 20 витков, на второй — 40.
2. Взяв электромагнит с большим числом витков, соберите электрическую цепь по схеме, изображенной на рис. 2.
3. Замкните цепь и убедитесь, что электромагнит притягивает железные опилки, то есть проявляет магнитные свойства.

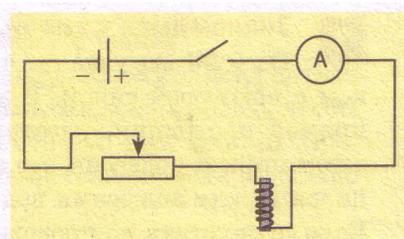


Рис. 2

4. С помощью магнитной стрелки определите полюса полученного электромагнита. Опишите, как вы это сделали.
5. Выясните, от чего зависит магнитное действие электромагнита, результаты опытов запишите в тетрадь.
  - 1) Используя реостат, в обмотке электромагнита с большим числом витков установите силу тока сначала 0,5 А, а потом 1,5 А. Сравните магнитное действие электромагнита при различной силе тока в обмотке.
  - 2) Извлеките сердечник из электромагнита и установите в обмотке силу тока 1,5 А. Выясните, как влияет наличие сердечника на магнитное действие электромагнита.
  - 3) Соберите электрическую цепь (см. рис. 2) с электромагнитом, имеющим меньшее число витков. С помощью реостата установите в цепи ток силой 1,5 А. Определите, как уменьшение числа витков влияет на магнитное действие электромагнита.

### Анализ результатов эксперимента

Проанализируйте эксперимент и его результаты. Сделайте вывод, в котором укажите, как зависит магнитное действие электромагнита от силы тока в нем, количества витков и наличия железного сердечника.

### Творческое задание

Можно ли намотать обмотку электромагнита таким образом, чтобы при подключении к нему источника тока на обоих концах электромагнита создались южные полюса? Если можно, то объясните как. Проверьте свое предположение экспериментально.

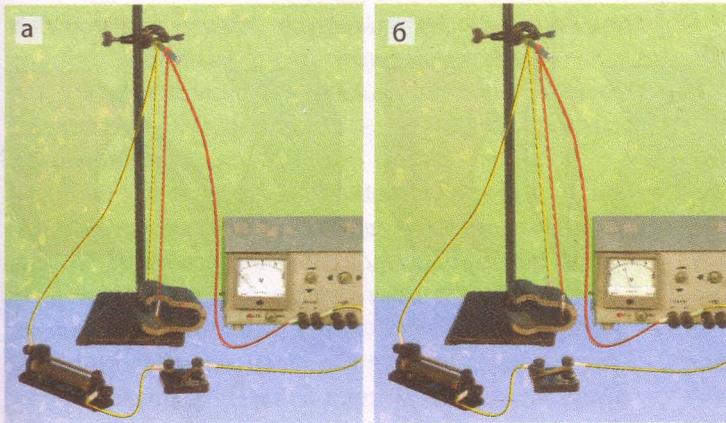
## § 28. ДЕЙСТВИЕ МАГНИТНОГО ПОЛЯ НА ПРОВОДНИК С ТОКОМ. ПРАВИЛО ЛЕВОЙ РУКИ. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ДВИГАТЕЛИ

 Физические исследования, которые часто проводят ради «научного любопытства», в случае удачного завершения обычно знаменуют новый этап в развитии техники. Именно так произошло с изучением электромагнитных явлений. Прошло время, и нашу жизнь невозможно представить без электрических двигателей – экологически чистых, удобных, компактных устройств, в которых энергия электрического тока превращается в механическую энергию.

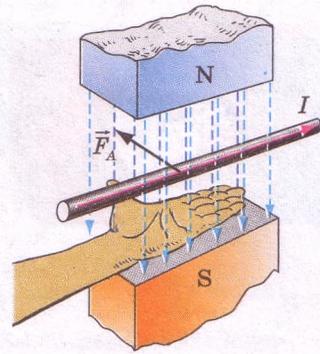
О том, как электрическая энергия может быть преобразована в механическую, вы узнаете из этого параграфа.

### Знакомимся с силой, действующей на проводник с током

Из § 26 вы узнали, что магнитное поле действует на проводник с током с некоторой силой. В этом легко убедиться с помощью опыта. Возьмем прямой проводник, изготовленный из немагнитного материала, например алюминия, и подвесим его на тонких и гибких проводах так, чтобы он находился между полюсами подковообразного постоянного магнита (рис. 28.1, а). Если пропустить по проводнику ток, то проводник отклонится от положения равновесия (рис. 28.1, б). Причина такого отклонения — *сила, действующая*



**Рис. 28.1.** Опыт, демонстрирующий действие магнитного поля на алюминиевый проводник: при отсутствии тока магнитное поле на проводник не действует (а); если по проводнику течет ток, на проводник действует магнитное поле и он отклоняется (б)



**Рис. 28.2.** Направление силы Ампера ( $\vec{F}_A$ ) определяют по правилу левой руки

щая на проводник с током со стороны магнитного поля. Доказал наличие этой силы и выяснил, от чего зависят ее значение и направление, А. Ампер (см. рис. 9.2). Именно поэтому эту силу называют *силой Ампера*.

**Сила Ампера** — это сила, с которой магнитное поле действует на проводник с током.

Экспериментально установлено, что *сила Ампера пропорциональна силе тока в проводнике и длине той части проводника, которая находится в магнитном поле\**. Сила Ампера увеличивается с усилением магнитного поля и зависит от расположения проводника относительно линий магнитного поля. Сила Ампера *максимальна*, если проводник расположен *перпендикулярно* к магнитным линиям, и *равна нулю*, если проводник расположен *параллельно* магнитным линиям.

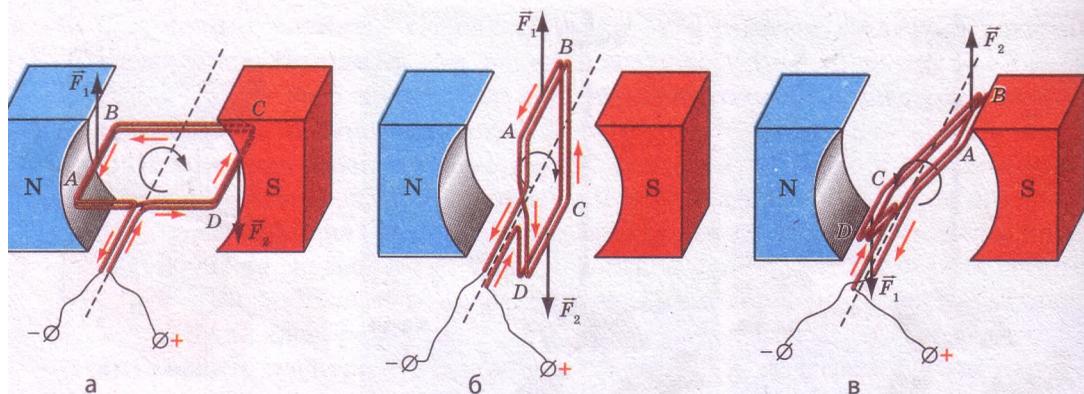
Направление силы Ампера удобно определять с помощью **правила левой руки** (рис. 28.2):

Если левую руку расположить так, чтобы линии магнитного поля входили в ладонь, а четыре вытянутых пальца указывали направление тока в проводнике, то отогнутый на  $90^\circ$  большой палец укажет направление силы Ампера.

## 2 Изучаем действие магнитного поля на рамку с током

Возьмем легкую прямоугольную рамку, состоящую из нескольких витков изолированного провода, и поместим ее между полюсами магнита так, чтобы она могла легко вращаться вокруг горизонтальной оси (см. рис. 28.3, а). Пропустим по рамке электрический ток (на рисунке направление тока показано

\* Часть проводника, которая находится в магнитном поле, называют *активной частью проводника*.



**Рис. 28.3.** Исследование действия магнитного поля на рамку с током:  
 а — силы Ампера ( $\vec{F}_1$  и  $\vec{F}_2$ ) поворачивают рамку  $ABCD$  по ходу часовой стрелки;  
 б — в положении равновесия силы Ампера не поворачивают рамку, а растягивают;  
 в — после прохождения рамкой положения равновесия силы Ампера поворачивают ее против  
 хода часовой стрелки

красными стрелками). Рамка повернется и, качнувшись несколько раз, установится так, как показано на рис. 28.3, б. Это — *положение равновесия рамки*.

Выясним, почему рамка начала движение. Для этого, воспользовавшись правилом левой руки, определим направление силы Ампера, действующей на каждую сторону рамки в начале наблюдения. На рис. 28.3, а видим, что сила Ампера  $F_1$ , действующая на сторону  $AB$ , направлена вверх, а сила Ампера  $F_2$ , действующая на сторону  $CD$ , направлена вниз. Следовательно, обе силы поворачивают рамку по ходу часовой стрелки.

А теперь выясним, почему рамка прекратила движение. Дело в том, что после прохождения рамкой положения равновесия силы Ампера будут поворачивать ее уже против хода часовой стрелки (рис. 28.3, в). (Убедитесь в этом, воспользовавшись правилом левой руки.) В результате рамка начнет поворачиваться в обратном направлении, снова пройдет положение равновесия, после чего направление ее движения опять изменится. В конце концов из-за действия сил трения рамка остановится.

### 3 Знакомимся с принципом действия коллектора

Вращение в магнитном поле рамки с током было использовано при создании *электрических двигателей — устройств, в которых электрическая энергия превращается в механическую*. Чтобы понять принцип действия электродвигателя, сначала выясним, как заставить рамку непрерывно вращаться в одном направлении, например, по ходу часовой стрелки.

Нетрудно догадаться: для этого нужно, чтобы сила Ампера, действующая на левую часть рамки ( $F_1$ ), всегда была направлена вверх, а сила Ампера, действующая на правую часть рамки ( $F_2$ ), — вниз (см. рис. 28.3). То есть нужно сделать так, чтобы ток в левой части рамки всегда был направлен «к нам», а в правой части — «от нас». Другими словами, в момент прохождения рамкой положения равновесия, когда левая и правая части рамки

меняются местами, направление тока в рамке должно меняться на противоположное.

Устройство, автоматически изменяющее направление тока в рамке, называют коллектором.

На рис. 28.4 изображена модель, с помощью которой можно ознакомиться с принципом действия коллектора. Коллектор представляет собой два полукольца (1), к каждому из которых прижата металлическая щетка (2). Полукольца изготовлены из проводника и разделены зазором. Щетки служат для подведения напряжения от источника тока (5) к рамке (4), легко вращающейся вокруг горизонтальной оси и расположенной между полюсами мощного магнита (3). Одну щетку соединяют с положительным полюсом источника тока, другую — с отрицательным.

После замыкания цепи рамка под действием сил Ампера начинает поворачиваться по ходу часовой стрелки. Полукольца коллектора поворачиваются вместе с рамкой, а щетки остаются неподвижными, поэтому после прохождения рамкой положения равновесия к щеткам будут прижаты уже другие полукольца. Направление тока в рамке изменится на противоположное, поэтому она продолжит свое вращение по ходу часовой стрелки.

#### 4 Увеличиваем мощность электрического двигателя и обеспечиваем равномерность его работы

Для увеличения мощности электродвигателя нужно увеличить силы Ампера, действие которых обеспечивает вращение рамки.

Поскольку сила Ампера пропорциональна длине проводника, то обмотку электродвигателя изготавливают из большого количества витков провода. Витки вкладывают в специальные пазы на боковой поверхности цилиндра, изготовленного из стальных листов. Цилиндр служит сердечником, значительно усиливающим магнитное поле обмотки. Сердечник с обмоткой служит *ротором* (от латин. *rotare* — вращаться), или *якорем*, двигателя (рис. 28.5).

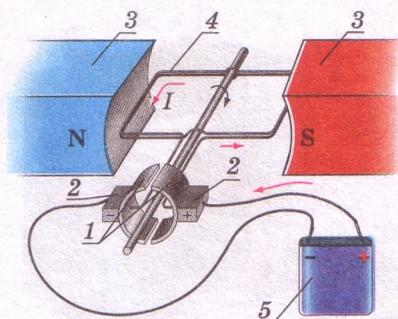


Рис. 28.4. Модель, демонстрирующая принцип действия коллектора: 1 — полукольца; 2 — металлические щетки; 3 — постоянный магнит; 4 — рамка, вращающаяся вокруг горизонтальной оси; 5 — источник тока



Рис. 28.5. Ротор двигателя, содержащий одну обмотку

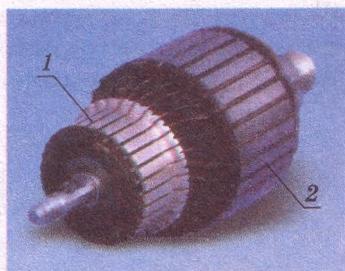
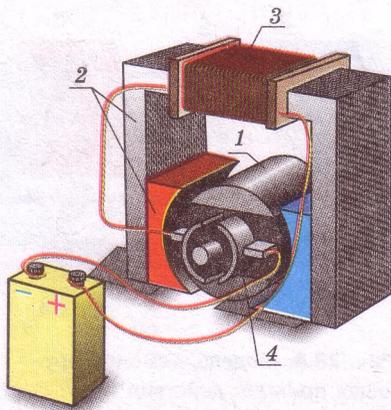


Рис. 28.6. Коллектор (1) и ротор (2) двигателя, содержащий двенадцать обмоток



**Рис. 28.7.** Схема устройства электродвигателя постоянного тока: 1 — ротор; 2 — статор; 3 — обмотка статора; 4 — коллектор

Для обеспечения равномерного вращения ротора используют несколько обмоток, которые наматывают на один сердечник. Коллектор такого двигателя представляет собой не полукольца, а ряд медных дугообразных пластин, закрепленных на изолированном барабане (рис. 28.6).

Ротор (1) вращается в магнитном поле мощного электромагнита (рис. 28.7). Такой электромагнит составляет единое целое с корпусом электродвигателя и служит его *статором* (от латин. *stator* — стоящий неподвижно), или *индуктором* (2). Обмотка (3) статора подключена к тому же источнику тока, что и обмотка ротора. Когда по обмоткам ротора и статора идет ток, ротор вращается в магнитном поле статора и двигатель работает.

## 5 Применяем электродвигатели

Электродвигатели постоянного тока

широко применяют в электротранспорте: их устанавливают в трамваях, троллейбусах, электровозах и автомобилях, используют как стартеры для запуска двигателей внутреннего сгорания. В промышленности и быту используют электродвигатели переменного тока (с их устройством вы познакомитесь в старших классах).

По сравнению с тепловыми электродвигатели более компактны, экономичны (КПД до 98%), удобны в применении (их мощность легко регулировать). Кроме того, электродвигатели не загрязняют окружающую среду.

## 6 Учимся решать задачи

**Задача.** Докажите, что два параллельных проводника, по которым текут токи одного направления, притягиваются.

**Анализ физической проблемы.** Вокруг любого проводника с током существует магнитное поле, следовательно, каждый проводник находится в магнитном поле другого. Поэтому на первый проводник будет действовать сила Ампера со стороны магнитного поля, созданного током во втором проводнике, и наоборот. Определив направления этих сил с помощью правила левой руки, выясним, притягиваются или отталкиваются проводники.

**Решение**

Для решения задачи удобно воспользоваться пояснительными рисунками. Изобразим проводники *A* и *B* и укажем направление тока в них.

Проводник *A* находится в магнитном поле проводника *B*.

- 1) С помощью правила правой руки определим направление линий магнитного поля, созданного проводником *B* (рис. 1) (обозначение «•» показывает, что магнитная линия направлена «к нам», а обозначение «х» — «от нас»). Видим, что вблизи проводника *A* магнитные линии направлены «к нам».

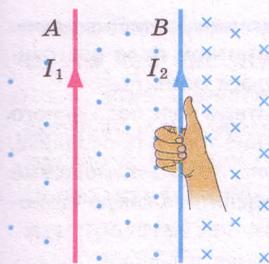


Рис. 1

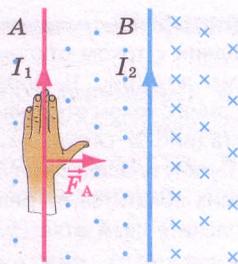


Рис. 2

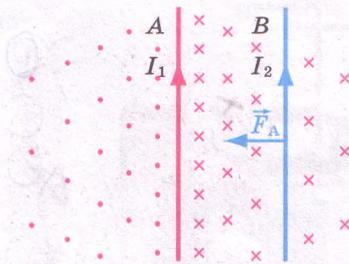


Рис. 3

- 2) Воспользовавшись правилом левой руки, определим направление силы Ампера, действующей на проводник  $A$  со стороны магнитного поля проводника  $B$  (рис. 2).
  - 3) Делаем вывод, что проводник  $A$  притягивается к проводнику  $B$ .  
Проводник  $B$  находится в магнитном поле проводника  $A$ .
  - 1) Определим направление линий магнитного поля проводника  $A$  (рис. 3).
  - 2) Определим направление силы Ампера, действующей на проводник  $B$ .
  - 3) Делаем вывод: проводник  $B$  притягивается к проводнику  $A$ .
- Ответ:* два параллельных проводника, по которым протекают токи одного направления, действительно притягиваются.

### Подводим итоги

Силу, с которой магнитное поле действует на проводник с током, называют силой Ампера.

Для определения направления силы Ампера пользуются правилом левой руки: если левую руку расположить так, чтобы линии магнитного поля входили в ладонь, а четыре вытянутых пальца указывали направление тока в проводнике, то отогнутый на  $90^\circ$  большой палец укажет направление силы Ампера.

В результате действия сил Ампера рамка с током может вращаться в магнитном поле. Явление вращения рамки с током в магнитном поле используют в работе электродвигателей. Подвижная часть электродвигателя — ротор — состоит из металлического сердечника и рамки, ток к которой подается с помощью коллектора. Ротор вращается в магнитном поле мощного электромагнита — статора.

Электрические двигатели имеют определенные преимущества в сравнении с тепловыми: они более компактны, экономичны, удобны в применении, не загрязняют окружающую среду.

### Контрольные вопросы

1. Опишите опыт, подтверждающий, что в магнитном поле на проводник с током действует сила.
2. Дайте определение силы Ампера.
3. От каких факторов зависит значение силы Ампера?
4. Сформулируйте правило для определения направления силы Ампера.
5. Почему рамка с током поворачивается в магнитном поле? почему останавливается?
6. Назовите основные части электродвигателя.
7. Как устроены ротор и статор электродвигателя?
8. Назовите преимущества электрических двигателей в сравнении с тепловыми.

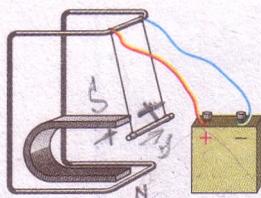


Рис. 1

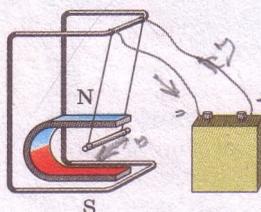


Рис. 2

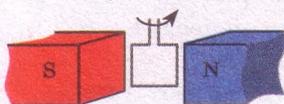


Рис. 4

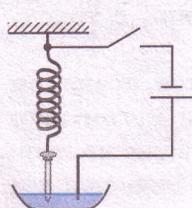


Рис. 5



### Упражнение № 25

1. Проводник с током отклоняется в магнитном поле постоянного магнита (рис. 1). Определите полюса магнита.
2. Проводник с током отклоняется в магнитном поле постоянного магнита (рис. 2). Определите направление тока в проводнике.
3. Если замкнуть электрическую цепь (рис. 3), то алюминиевый стержень покатится по рельсам. Определите, в какую сторону. Поясните свой ответ.

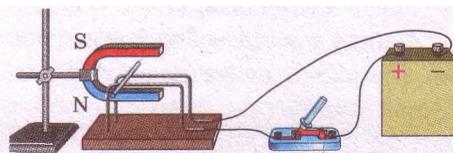


Рис. 3

4. Рамка с током вращается в магнитном поле постоянного магнита (рис. 4). Определите направление тока в рамке.
5. Докажите, что два проводника, по которым пропускают токи противоположных направлений, отталкиваются.
6. Электрические двигатели имеют ряд преимуществ в сравнении с тепловыми. Почему же человечество не отказывается от применения тепловых двигателей?
- 7\*. На конце мягкой металлической пружины подвешен железный гвоздь, нижний конец которого опущен в сосуд с раствором поваренной соли (рис. 5). Что произойдет после замыкания ключа?



### Экспериментальное задание

Рассмотрите устройство электрического двигателя, взятого из игрушки. Присоедините двигатель к батарее гальванических элементов и обратите внимание на направление вращения ротора. Каким образом, по вашему мнению, можно изменить направление вращения ротора на противоположное? Проверьте свои предположения.

## § 29. ЭЛЕКТРОИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ. ГРОМКОГОВОРИТЕЛЬ



Изучая электрический ток, вы узнали, что силу тока измеряют амперметром, напряжение — вольтметром. Но мы не говорили об устройстве этих приборов, ведь, чтобы понять принцип их действия, вам недоставало знаний. Из этого параграфа вы наконец узнаете об устройстве некоторых измерительных приборов.



### Знакомимся с принципом действия измерительных приборов магнитоэлектрической системы

Существуют электрические измерительные приборы разных систем: приборы магнитоэлектрической системы, электромагнитной системы, электродинамической системы. Работа всех этих приборов основана на магнитном действии

тока. Выясним, как устроены некоторые из них и чем они отличаются.

Уже известные вам гальванометры, амперметры и вольтметры — это *измерительные приборы магнитоэлектрической системы*. Измерительный механизм приборов данной системы представлен на рис. 29.1.

Когда в рамке (4) тока нет, спиральные пружины (2) удерживают полуоси (3), а следовательно, и стрелку (6) таким образом, что конец стрелки устанавливается на нулевой отметке. Когда прибор включают в цепь, в рамке начинает идти ток и под действием сил Ампера она поворачивается в магнитном поле постоянного магнита (1). Вместе с рамкой поворачиваются полуоси, а следовательно, и стрелка. Во время вращения рамки пружины закручиваются и возникают дополнительные силы упругости. Когда момент сил упругости уравнивается моментом сил Ампера, вращение полуосей прекращается, а стрелка остается отклоненной на определенный угол.

Чем больше сила тока в рамке, тем на больший угол отклонится стрелка и тем большими будут показания прибора.

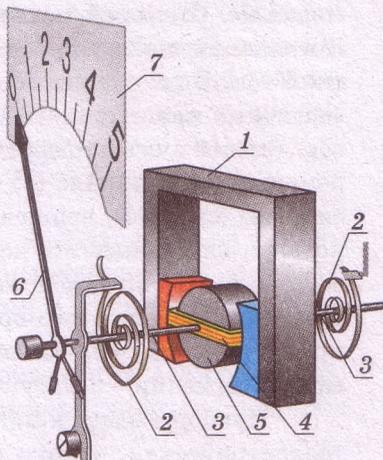
Приборы магнитоэлектрической системы отличаются большой точностью и высокой чувствительностью.

## 2 Сравниваем амперметр и вольтметр

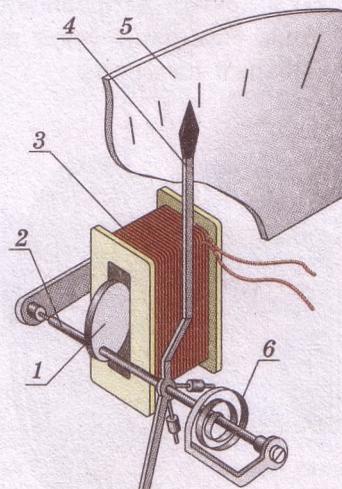
По внутреннему устройству амперметр и вольтметр практически одинаковы; отличаются их электрические сопротивления. Амперметр включают в цепь последовательно, поэтому его сопротивление должно быть очень маленьким, иначе сила тока в цепи значительно уменьшится. А вот вольтметр включают в цепь параллельно с устройством, на котором измеряют напряжение, следовательно, чтобы сила тока в цепи практически не менялась, сопротивление вольтметра должно быть как можно большим.

## 3 Изучаем строение измерительных приборов электромагнитной системы

На рис. 29.2 изображена схема измерительного механизма прибора электромагнитной системы



**Рис. 29.1.** Схема измерительного механизма прибора магнитоэлектрической системы: 1 — постоянный неподвижный магнит; 2 — спиральные пружины; 3 — полуоси, на которых жестко закреплена рамка; 4 — рамка; 5 — неподвижный сердечник; 6 — стрелка; 7 — шкала прибора



**Рис. 29.2.** Схема измерительного механизма прибора электромагнитной системы: 1 — подвижный сердечник; 2 — ось; 3 — катушка; 4 — стрелка; 5 — шкала; 6 — пружина

*системы.* Стальной подвижный сердечник (1) жестко закреплен на оси (2). После включения прибора в цепь по обмотке катушки (3) идет электрический ток. В результате вокруг катушки возникает магнитное поле, в котором сердечник намагничивается и начинает втягиваться в катушку, поворачивая ось. Вместе с осью поворачивается стрелка (4), свободный конец которой перемещается по шкале (5) прибора. Как и в приборах магнитоэлектрической системы (см. п. 1), вращению оси противодействует спиральная пружина (6), которая закручивается до тех пор, пока момент силы упругости не уравновесит момент силы, действующей со стороны магнитного поля на подвижный сердечник. После этого вращение оси, а следовательно, и движение стрелки прекращаются. Чем больший ток проходит по катушке, тем сильнее втягивается сердечник в катушку и тем больше отклоняется стрелка.

Приборы электромагнитной системы менее чувствительны, чем магнитоэлектрической, однако могут выдерживать большую перегрузку.

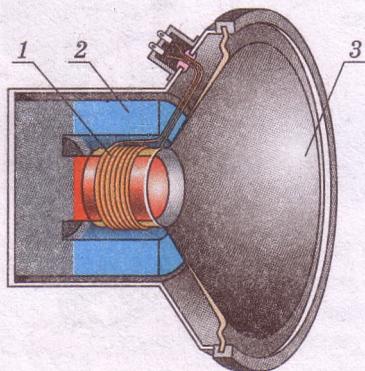
#### 4 Знакомимся с принципом действия электродинамического громкоговорителя

Если катушку расположить в магнитном поле постоянного магнита, то в зависимости от направления тока в катушке она будет или притягиваться к магниту, или отталкиваться от него.

А что будет происходить при изменении силы тока в катушке? Понятно, что в случае увеличения силы тока катушка сильнее притянется к постоянному магниту, а в случае уменьшения силы тока притяжение станет слабее и катушка сместится в противоположном направлении. Если силу тока в катушке изменять периодически, она будет двигаться то в одном, то в другом направлении, то есть будет колебаться в такт изменению силы тока. Чем чаще будет изменяться сила тока, тем большей будет частота колебаний катушки.

Вы уже знаете, что тело, колеблющееся с частотой от 20 до 20000 Гц, излучает звуковые волны. Следовательно, если частота колебаний катушки станет изменяться в этих пределах, то катушка будет источником звука. Громкость и высота тона излучаемого ею звука определяются амплитудой и частотой колебаний соответственно.

Именно на колебаниях катушки с переменным током в магнитном поле постоянного магнита основано действие *электродинамического громкоговорителя (динамика)* — электроакустического устройства для воспроизведения звука (рис. 29.3). Когда ток, сила которого изменяется со звуковой частотой, течет по катушке (1), то она в такт изменению силы тока то втягивается в зазор постоянного магнита (2), то выталкивается из



**Рис. 29.3.** Схема устройства электродинамического громкоговорителя: 1 — катушка; 2 — кольцевой Ш-образный магнит; 3 — диффузор

него. Вследствие этого прикрепленный к катушке диффузор (3) колеблется со звуковой частотой — громкоговоритель излучает звуковые волны.

Таким образом, в громкоговорителе *благодаря электрическому току, сила которого изменяется со звуковой частотой, создаются механические колебания, служащие причиной появления звука.*

### ! Подводим итоги

Гальванометры, амперметры и вольтметры, используемые на уроках физики,— это измерительные приборы магнитоэлектрической системы. Их действие основано на вращении рамки с током в магнитном поле постоянного магнита.

На явлении втягивания металлического сердечника в зазор неподвижной катушки с током основано действие измерительных приборов электромагнитной системы.

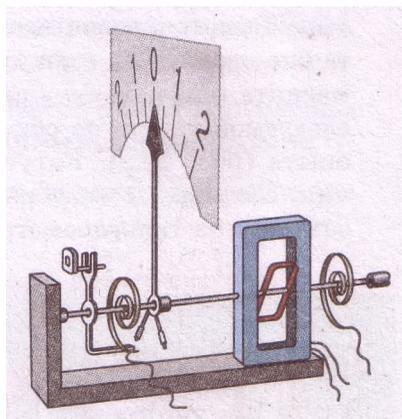
В электродинамическом громкоговорителе (динамике) катушка, по которой течет переменный ток звуковой частоты, колеблется в магнитном поле неподвижного постоянного магнита. Вместе с катушкой колеблется диффузор, излучающий звуковые волны.

### ? Контрольные вопросы

1. Опишите устройство и принцип действия измерительных приборов магнитоэлектрической системы.
2. Отличаются ли устройство и принцип действия амперметров и вольтметров? Если да, то чем?
3. Опишите устройство и принцип действия измерительных приборов электромагнитной системы.
4. Опишите устройство и принцип действия громкоговорителя.

### ✎ Упражнение № 26

1. На зажимах измерительных приборов магнитоэлектрической системы указана полярность («+» и «-»). Что произойдет, если при включении прибора полярность не будет соблюдена? Почему на зажимах приборов электромагнитной системы полярность не указывают?
2. Почему присоединение амперметра к цепи практически не влияет на силу тока в цепи? Поясните свой ответ.
3. Почему при последовательном присоединении вольтметра к цепи сила тока в цепи уменьшается? Поясните свой ответ.
4. На рисунке изображен измерительный прибор электродинамической системы. Объясните принцип его действия.



### 🔗 Экспериментальное задание

Изготовьте модель гальванометра. Для этого из плотной бумаги склейте каркас катушки длиной 25-30 мм. Диаметр каркаса должен быть таким, чтобы в середину можно было легко поместить компас. На каркас намотайте 40-50 витков изолированной проволоки. В катушку вставьте компас — гальванометр готов. Поясните принцип его действия. Будет ли ваш гальванометр измерять силу тока или он сможет только регистрировать его наличие? Используя данный прибор, определите знаки полюсов самодельного гальванического элемента, состоящего из медной и железной проволоки, два конца которых опущены в слабый раствор уксусной кислоты (уксус).

## § 30. ОПЫТЫ ФАРАДЕЯ. ЯВЛЕНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ ИНДУКЦИИ

?!

Опыт Х. Эрстеда, положивший начало теории электромагнетизма (см. § 26), показал, что электрический ток создает магнитное поле. А можно ли осуществить обратный процесс, то есть с помощью магнитного поля создать электрический ток? 29 августа 1831 г. после более чем 16 тысяч опытов английский физик и химик М. Фарадей (см. рис. 19.4) получил электрический ток с помощью магнитного поля постоянного магнита. О том, в чем заключалась суть опытов Фарадея и какое значение имело его открытие для развития физики и техники, вы узнаете из этого параграфа.

### 1 Повторяем опыты Фарадея

Возьмем катушку, внутрь поместим постоянный магнит и соединим катушку с гальванометром (рис. 30.1, а). Выдвигая магнит из катушки, заметим, что *во время движения* магнита стрелка гальванометра отклоняется влево (рис. 30.1, б). Но как только движение магнита прекращается, стрелка прибора возвращается к нулевой отметке. Теперь введем магнит в катушку. Во время движения магнита стрелка гальванометра снова отклоняется, только в другом направлении — вправо (рис. 30.1, в). После прекращения движения магнита стрелка возвращается к нулевой отметке. Таким образом, *электрический ток в катушке возникает только тогда, когда магнит движется относительно катушки.*

Следует отметить, что не только движение магнита относительно неподвижной катушки вызывает в последней электрический ток.

Возникновение электрического тока в замкнутой катушке можно также наблюдать, если двигать саму катушку относительно неподвижного магнита или изменять силу тока в другой катушке, которая вместе с исследуемой надета на общий сердечник. В последнем убедимся с помощью опыта (рис. 30.2). Катушку А и катушку В наденем на общий сердечник. Катушку В через реостат подключим к источнику тока, а катушку А замкнем на гальванометр. Если теперь передвигать ползунок реостата, то

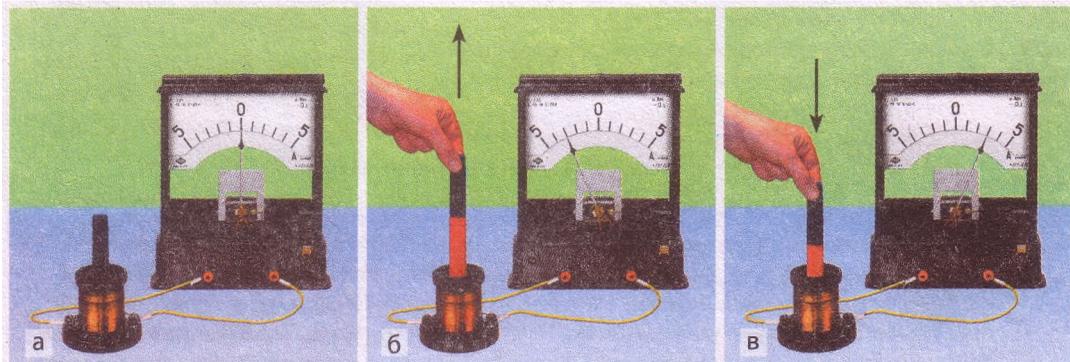
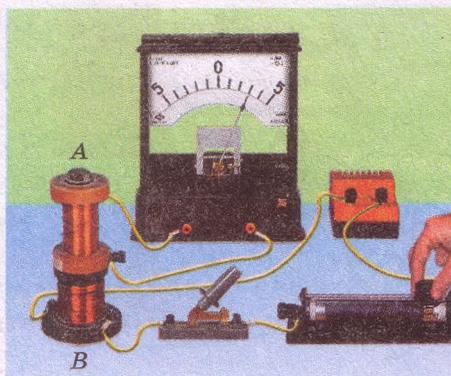


Рис. 30.1. Возникновение тока в катушке фиксируется гальванометром: а — если магнит неподвижен, ток не возникает; б — если выводить магнит из катушки, стрелка гальванометра отклоняется влево; в — если магнит вводить в катушку, стрелка гальванометра отклоняется вправо

в моменты увеличения и уменьшения силы тока в катушке *B* через катушку *A* будет идти электрический ток. Стрелка гальванометра при увеличении силы тока в катушке *B* станет отклоняться в одну сторону, а при уменьшении — в другую. Ток в катушке *A* будет возникать также в моменты замыкания (или размыкания) цепи катушки *B*.

Все рассмотренные опыты — это современный вариант тех, которые в течение 10 лет проводил Майкл Фарадей, прежде чем прийти к выводу: *электрический ток в замкнутой катушке возникает только тогда, когда магнитное поле, пронизывающее катушку, меняется*. Такой ток был назван *индукционным*.



**Рис. 30.2.** Если разомкнуть или замкнуть цепь катушки *B* или изменить в ней силу тока, в катушке *A* возникнет ток

## 2 Выясняем причину возникновения индукционного тока

Вы выяснили условия возникновения в замкнутой катушке индукционного тока. А что же является причиной его возникновения?

Дело в том, что *переменное магнитное поле всегда сопровождается возникновением в окружающем пространстве электрического поля*. Именно электрическое поле, а не магнитное, действует на свободные заряженные частицы в катушке и приводит их в направленное движение, создавая таким образом индукционный ток.

Явление порождения в пространстве электрического поля переменным магнитным полем называют **явлением электромагнитной индукции**.

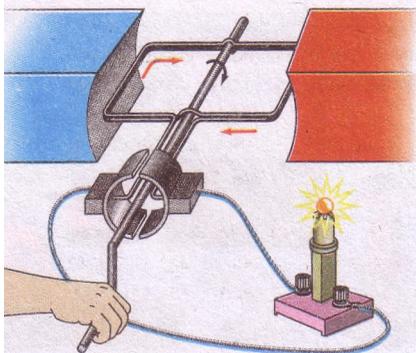
Таким образом, появление индукционного тока является следствием явления электромагнитной индукции.

## 3 Знакомимся с промышленными источниками электрической энергии

Явление электромагнитной индукции используют в механических источниках электрического тока — *генераторах электрической энергии*, без которых невозможно представить современную электроэнергетику. В таких генераторах механическая энергия превращается в электрическую.

Чтобы понять принцип действия генератора, обратимся к опыту. Возьмем рамку, состоящую из нескольких витков провода, и будем поворачивать ее в магнитном поле постоянного магнита (рис. 30.3). В рамке возникнет электрический ток, наличие которого доказывает свечение лампы.

Выясним причину возникновения тока. Во время вращения рамки количество магнитных линий, пронизывающих ее, то увеличивается, то уменьшается. Следовательно, магнитное поле, пронизывающее рамку, постоянно меняется, что и вызывает появление в рамке индукционного тока.



**Рис. 30.3.** Во время вращения рамки в магнитном поле в ней возникает индукционный ток

Генераторы электрического тока имеют практически такую же конструкцию, что и электродвигатели. Однако по принципу действия генератор — это электрический двигатель «наоборот». Генератор, как и электродвигатель, состоит из статора и ротора. Массивный неподвижный *статор* представляет собой полый цилиндр, на внутренней поверхности которого размещен толстый медный изолированный провод — *обмотка статора*.

Внутри статора вращается *ротор*. Он, как и ротор электродвигателя, представляет собой большой цилиндр, в пазы которого вложена *обмотка*. К обмотке ротора через *коллектор* подается напряжение от источника постоянного тока — *возбудителя*. Ток течет по обмотке ротора, создавая вокруг него магнитное поле.

Под действием пара (на тепловых и атомных электростанциях) или воды, падающей с высоты (на гидроэлектростанциях), ротор генератора начинает быстро вращаться. В результате магнитное поле, пронизывающее обмотку статора, изменяется и в обмотке возникает электрический ток. После ряда преобразований этот ток подается к потребителю электрической энергии.



### Подводим итоги

В замкнутом проводящем контуре в случае изменения магнитного поля, пронизывающего этот контур, возникает электрический ток. Такой ток называют индукционным.

Причина возникновения индукционного тока заключается в том, что переменное магнитное поле всегда сопровождается возникновением в окружающем пространстве электрического поля. Электрическое поле действует на свободные заряженные частицы в проводнике, и те начинают двигаться направленно — возникает индукционный ток.

Явление порождения в пространстве электрического поля переменным магнитным полем называют явлением электромагнитной индукции.

Явление электромагнитной индукции используют в механических источниках электрического тока — генераторах электрической энергии (устройствах, в которых механическая энергия превращается в электрическую).



### Контрольные вопросы

1. Опишите опыты М. Фарадея, 2. В чем заключается явление электромагнитной индукции? 3. Что является причиной возникновения индукционного тока? 4. Назовите устройства, работа которых основана на явлении электромагнитной индукции. Какие превращения энергии в них происходят? 5. Опишите устройство и принцип действия генераторов электрического тока.

**Упражнение № 27**

1. Небольшую катушку поступательно (не поворачивая) передвигают между полюсами электромагнита (рис. 1). Возникает ли в катушке электрический ток? Ответ поясните.
2. Две неподвижные катушки расположены так, как показано на рис. 2. Гальванометр, подключенный к одной из катушек, регистрирует наличие тока. При каком условии это возможно?
3. К сплошному алюминиевому кольцу устройства, изображенного на рис. 3,\* подносят магнит. Объясните, почему кольцо будет отталкиваться от магнита. Как будет вести себя кольцо, если от него отодвигать магнит? Что будет, если магнит подносить к алюминиевому кольцу с разрезом?

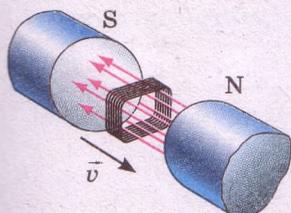


Рис. 1

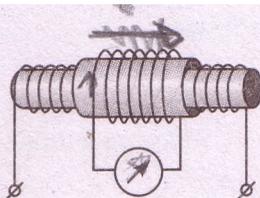


Рис. 2

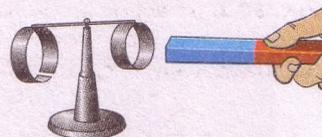
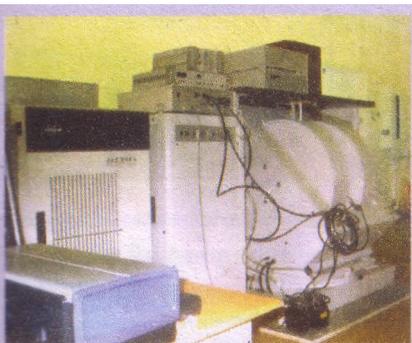


Рис. 3

**ФИЗИКА И ТЕХНИКА В УКРАИНЕ****Институт магнетизма НАН Украины (Киев)**

Тем из вас, кто интересуется научными исследованиями, обязательно следует знать о работе Института магнетизма. Практика его деятельности опровергает общепринятое мнение, что наука вершится в Академии наук, а обучение — в университетах. Институт магнетизма имеет тесные связи с ведущими вузами Украины — Киевским политехническим университетом и Киевским национальным университетом. Студенты этих учебных заведений

не только знакомятся с современным научным оборудованием, но и выполняют с его помощью самостоятельные исследования. Один из таких приборов — спектрометр ELEXIS E5000, предназначенный для подробных исследований свойств магнитных веществ, — вы видите на фотографии.

Специалисты Института магнетизма совместно с учеными России, Франции, Германии, США и других стран изучают свойства твердых тел. Полученные результаты используются, в частности, для создания более компактных, удобных, скоростных компьютеров, мобильных телефонов, плееров и т. д. Приведем лишь один пример. Вы уже знаете, что электрический ток во всем поперечном сечении проводника является неизменным. В целом это правильно, однако ученые Института магнетизма выявили условия, при которых это не так. При определенных параметрах магнитного поля в металле наблюдается пространственное периодическое изменение структуры тока. То есть через некоторые участки однородного (!) проводника течет ток большей силы, чем через другие. (Подумайте, где можно применить это явление.)

\* Данное устройство называется «Кольца Ленца» в честь российского ученого Э. Х. Ленца (см, рис. 16.2), который сформулировал общее правило для определения направления индукционного тока, — *правило Ленца*.

## ПОДВОДИМ ИТОГИ РАЗДЕЛА 3 «МАГНИТНОЕ ПОЛЕ»

- 1, Изучая раздел 3, вы узнали, что сначала человек научился использовать *постоянные магниты*; значительно позже были созданы *электромагниты*.

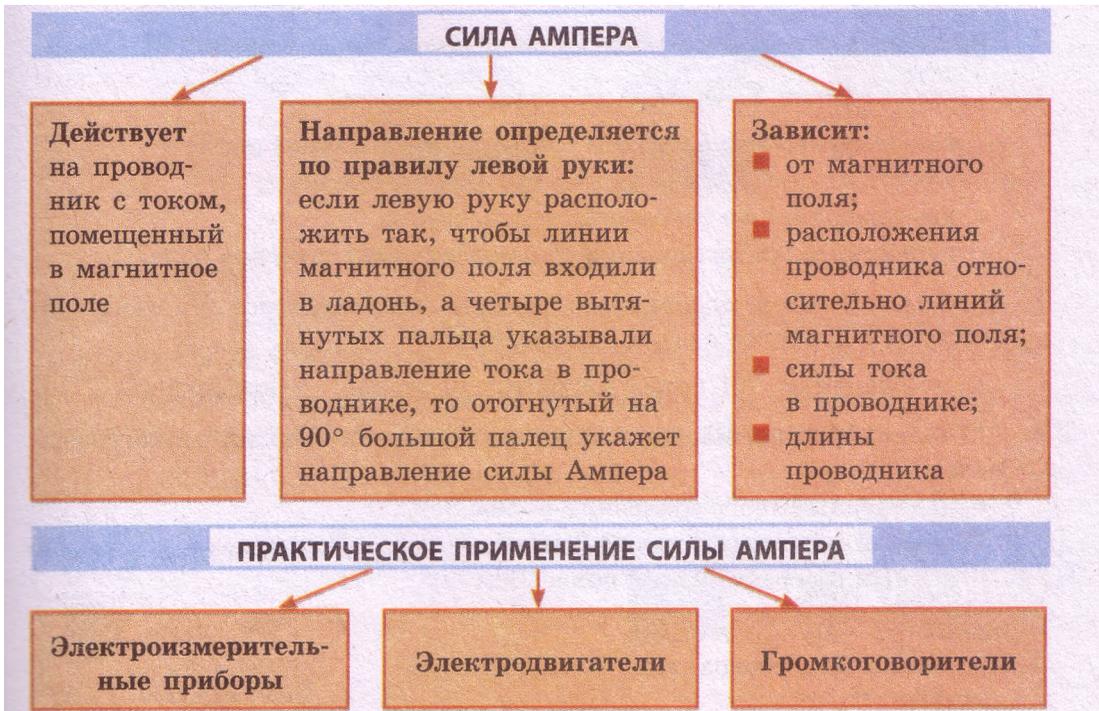


2. Вы выяснили, что вокруг любой движущейся заряженной частицы, а следовательно, вокруг проводника с током существует *магнитное поле*.

*Магнитное поле — особая форма материи, которая существует вокруг движущихся заряженных частиц или тел и действует с некоторой силой на другие заряженные частицы или тела, движущиеся в этом поле.*

3. Вы узнали о *линиях магнитного поля* — условных линиях, вдоль которых в магнитном поле устанавливаются оси маленьких магнитных стрелок, и выяснили:
- *направление* линий магнитного поля совпадает с направлением на которое указывает северный полюс магнитной стрелки; направление линий магнитного поля проводника с током можно определить по *правилу буравчика* или по *правилу правой руки*; линии магнитного поля *выходят из северного полюса* магнита и *входят в южный полюс*;
  - линии магнитного поля всегда *замкнуты*.

4. Вы установили, что на проводник с током, находящийся в магнитном поле, действует некоторая сила, — *сила Ампера*.



5. Вы повторили опыты М. Фарадея и изучили явление *электромагнитной индукции*.



## ЗАДАНИЯ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ К РАЗДЕЛУ 3 «МАГНИТНОЕ ПОЛЕ»

Задания 1-7 содержат только один правильный ответ.

- (1 балл) Опыт Х. Эрстеда позволяет доказать:
  - вокруг проводника с током существует магнитное поле;
  - вокруг планеты Земля существует магнитное поле;
  - два проводника с током взаимодействуют;
  - переменное магнитное поле порождает электрическое поле.
- (1 балл) Участок поверхности магнита, где магнитное действие проявляется наиболее сильно, называется:
  - ось магнита;
  - полюс магнита;
  - статор;
  - коллектор.
- (1 балл) Южный магнитный полюс стрелки компаса обычно указывает:
  - на северный географический полюс Земли;
  - южный магнитный полюс Земли;
  - южный географический полюс Земли;
  - экватор Земли.
- (1 балл) Два проводника, изображенные на рис. 1:
  - не взаимодействуют;
  - притягиваются друг к другу;
  - отталкиваются друг от друга;
  - сначала притягиваются друг к другу, а затем отталкиваются.
- (1 балл) Магнитное поле катушки с током ослабевает, если:
  - внутри катушки ввести железный сердечник;
  - увеличить число витков обмотки;
  - уменьшить силу тока;
  - увеличить силу тока.
- (2 балла) В каком из случаев (рис. 2) направление линий магнитного поля прямого проводника с током указано правильно? (Обозначение  $\odot$  показывает, что ток направлен «к нам»,  $\oplus$  — «от нас».)

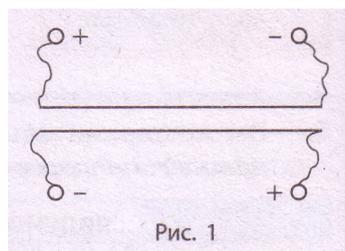


Рис. 1

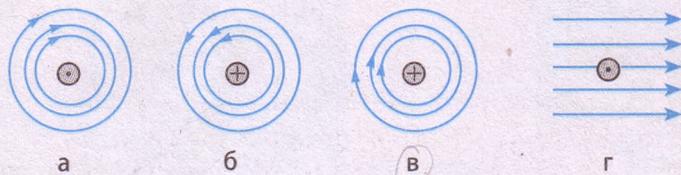


Рис. 2

7. (2 балла) В каком из случаев (рис. 3) направление силы Ампера указано правильно?

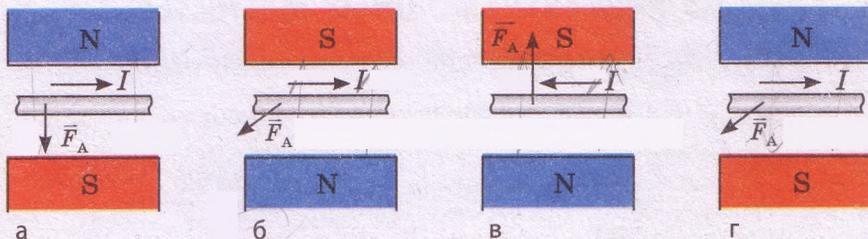


Рис. 3

8. (3 балла) Перед тем как подать зерно на жернова мельницы, его пропускают между полюсами сильного электромагнита. Для чего это делают?
9. (3 балла) Магнитная стрелка установилась в магнитном поле катушки с током (рис. 4). Определите полюса источника тока.

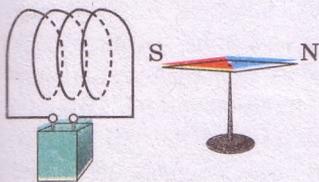


Рис. 4

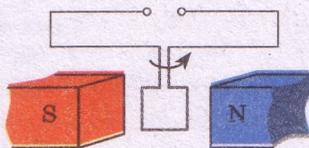


Рис. 5

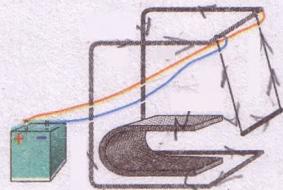


Рис. 6

10. (3 балла) На рис. 5 изображена рамка, которая поворачивается в магнитном поле постоянного магнита. Определите полюса источника тока, к которому подключена рамка.
11. (4 балла) Если к стрелке компаса поднести постоянный магнит, она отклонится от направления «север — юг». Отклонится ли стрелка, если к ней поднести железный брусок? медный брусок?
12. (4 балла) Проводник с током расположен в магнитном поле подковообразного магнита (рис. 6). Определите полюса магнита.
13. (5 баллов) Определите полюса электромагнита (рис. 7). Как изменится подъемная сила электромагнита, если ползунок реостата передвинуть влево?
14. (5 баллов) Как изменится цена деления шкалы измерительного прибора магнитоэлектрической системы, если воспользоваться спиральными пружинами втрое меньшей жесткости? Ответ поясните.

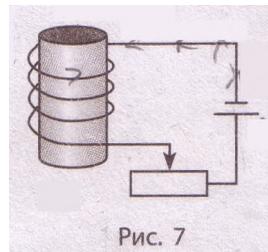


Рис. 7

Сверьте ваши ответы с приведенными в конце учебника. Отметьте задания, которые вы выполнили правильно, и подсчитайте сумму баллов. Потом эту сумму разделите на три. Полученное число будет соответствовать уровню ваших учебных достижений.

## ОТ ЗВЕЗД К «ЛЕТАЮЩИМ» ЛЯГУШКАМ, ИЛИ ЗАЧЕМ НУЖНЫ СВЕРХМОЩНЫЕ МАГНИТЫ

У большинства людей магниты ассоциируются с компасом. Инженеры вспомнят об их применении в электродвигателях и генераторах электрического тока. Но все эти конструкции уже давно известны. Значит, изучение магнитных явлений утратило свою актуальность?

Не спешите с ответом, вспомните, например, о поездах «без трения». Рельсами для таких поездов является магнитное поле. Два магнита, один из которых размещен в опорах, а второй — в самом поезде, повернуты друг к другу одноименными полюсами, а следовательно, отталкиваются. В результате поезд словно «летит» над дорогой. О преимуществах такого технического решения подробно было рассказано в *Энциклопедической странице* в учебнике для 8-го класса.

Рассмотрим еще несколько примеров применения *сверхмощных магнитов*, Но сначала определимся, что называют сверхмощными магнитами. Для этого

сравним магнитные поля, создаваемые различными объектами, по таблице, в которой указано, во сколько раз поле данного объекта сильнее магнитного поля Земли. Таким образом, магнитное поле Земли в данном случае принято за единицу. Но даже это поле, сравнительно небольшое, иногда является вредным, и ученые научились экранировать его (снижать) в специально оборудованных помещениях — *магнитозэкранированных комнатах*. Наименьшее значение магнитного поля в такой комнате в 10 миллионов раз меньше, чем поле Земли,

Как видим из таблицы, создан магнит, магнитное поле которого сильнее магнитного поля Земли в 200000 раз. Каково назначение таких мощных магнитов?

Прежде всего физикам нужны мощные магниты для удержания пучков заряженных частиц в ускорителях. На рис. 1 изображен один из самых больших в мире ускорителей. По гигантскому

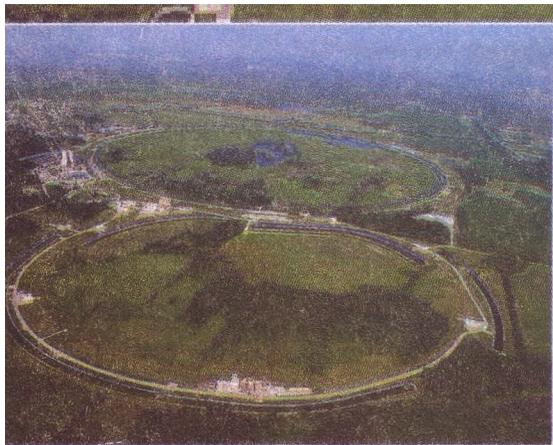


Рис. 1. Один из самых больших в мире ускорителей заряженных частиц

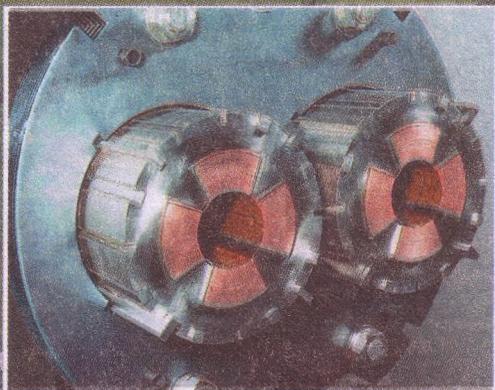


Рис. 2. Сверхмощные магниты, удерживающие заряженные частицы внутри ускорителя

## Относительные величины магнитных полей

Источник или участок, на котором измеряется магнитное поле	Относительное значение
Поверхность Земли	1
Магнитоэкранированная комната	$10^{-1}^\circ$
Школьный лабораторный магнит	200
Середина солнечного пятна	3000
Большой электромагнит	30000
Сверхмощный лабораторный магнит	200000
Поверхность нейтронной звезды	$10^{12}$

кольцу диаметром в несколько километров движутся заряженные частицы. Чтобы они «не выплескивались» на стенки, и нужны сверхмощные магниты (рис. 2).

Широко известно применение сверхмощных магнитов в медицине: с их помощью получают изображения внутренних органов человека (рис. 3, 4). В отличие от диагностики с помощью рентгеновских лучей, метод магнитного резонанса является значительно более безопасным.

И наконец приведем еще один пример применения сверхмощных магнитов. Инженеры уже научили «летать» тяжелые поезда, а можно ли научить летать человека или животное?

Оказывается, все дело в материалах. В конструкции поезда для усиления магнитного поля можно использовать специальные материалы, а вот вещества, из которых состоит живой организм, таких свойств не имеют. Не вживлять же ради сомнительного удовольствия в тело «железки»! Но на пути овладения левитацией помогли сверхмощные магниты. Выяснилось, что при наличии очень сильных магнитных полей даже слабого магнетизма живого организма достаточно для обеспечения нужной силы отталкивания. Ученым удалось заставить «летать» лягушку, поместив ее во время эксперимента над сверхмощным магнитом (рис. 5). По словам исследователей, после полета путешественница чувствовала себя нормально. Дело за малым: осталось увеличить магнитное поле в 10-100 раз — и человек познает пьянящее ощущение полета.

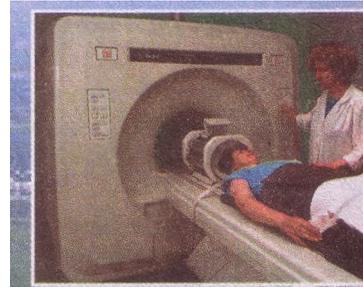


Рис. 3. Оборудование для исследования внутренних органов человека с помощью магнитного резонанса



Рис. 4. Снимок сустава, полученный с использованием метода магнитного резонанса



Рис. 5. «Летающая» лягушка

# РАЗДЕЛ 4. АТОМНОЕ ЯДРО. ЯДЕРНАЯ ЭНЕРГЕТИКА

## § 31. АТОМ И АТОМНОЕ ЯДРО



Многие из вас осенью 2008 г. слышали о запуске мощнейшей физической установки современности — большого адронного коллайдера (рис. 31.1). Затраты на его создание были огромны: Германия, Франция, Япония вынуждены были объединить свои усилия, чтобы построить это чудо техники. А начался процесс вкладывания «больших денег» в физику еще в 40-х гг. прошлого столетия, когда были изобретены способы расщепления атомного ядра.

О том, зачем расщеплять атомные ядра и почему правительства разных стран в больших объемах финансируют исследования первоосновы материи, вы узнаете из этого параграфа.

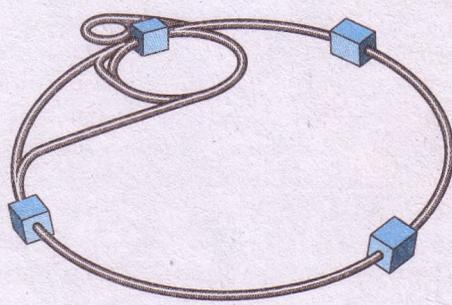


### Узнаём о ядерной физике

История физической науки насчитывает почти 2500 лет, но только в прошлом веке из преподавателей и кабинетных ученых физики превратились в консультантов правительств. Количество специалистов-физиков увеличилось в сотни раз, были созданы огромные предприятия для производства физических приборов и оборудования. И произошло это прежде всего благодаря успехам ядерной физики.

**Ядерная физика** — это раздел физики, изучающий структуру и свойства атомного ядра, процессы, происходящие в нем, и механизмы его преобразования.

Результаты изучения ядра воплотились сегодня в ряде так называемых *радиационных технологий*, применяемых в медицине, геологии,



**Рис. 31.1.** Крупнейшая на сегодня исследовательская установка — ускоритель заряженных частиц, первый запуск которого состоялся в 2008 г.: а — вид изнутри; б — схематическое изображение. Поражают размеры этого ускорителя: элементарные частицы разгоняются в огромном кольце длиной 26 км

сельском хозяйстве и в других областях. Однако важнейшая сфера применения достижений ядерной физики — *получение энергии*. В развитых странах за короткий период времени доля электрической энергии, получаемой в результате расщепления атомных ядер, составила десятки процентов от общего производства энергии, а в некоторых странах, в том числе в Украине, достигла половины.

Стремительное развитие ядерной энергетики связано с высокой эффективностью ядерного «топлива». Приведем пример. При непрерывной работе в течение суток обычной электрической лампы мощностью 100 Вт расходуется примерно 8,6 МДж энергии. Чтобы получить эту энергию на гидроэлектростанции, нужно, чтобы на гидротурбину поступило приблизительно 120 т воды; на тепловой электростанции необходимо сжечь около 1 кг угля. А чтобы ту же энергию получить на атомной электростанции, нужно взять пылинку урана массой всего 0,3 мг и расщепить ядра ее атомов. Согласитесь, что разница впечатляющая.

По мнению физиков, когда будут разгаданы тайны строения микрочастиц, входящих в состав ядра, откроются еще большие возможности. Именно поэтому правительства разных государств активно поддерживают фундаментальные научные исследования в области ядерной физики.

## 2 Вспоминаем строение атома и атомного ядра

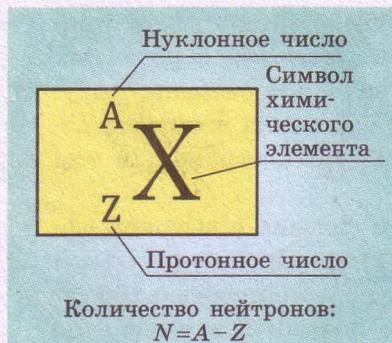
Прежде чем приступить к непосредственному изучению материала раздела, вспомним строение атома. Известно, что атом состоит из ядра и электронного облака вокруг него. Ядро, в свою очередь, содержит частицы двух видов: *протоны*, имеющие положительный электрический заряд, и *нейтроны*, — частицы, не имеющие заряда\*. Масса протона приблизительно равна массе нейтрона и почти в 2000 раз превышает массу электрона. Протоны и нейтроны, входящие в состав атомного ядра, называют *нуклонами*. Суммарное количество протонов и нейтронов в атоме называют *нуклонным (или массовым) числом* и обозначают символом  $A$ .

Атом является электронейтральным, то есть суммарный заряд протонов, содержащихся в ядре, равен суммарному заряду электронов, вращающихся вокруг ядра. А поскольку заряд протона по модулю равен заряду электрона, то понятно, что *в атоме количество протонов равно количеству электронов*.

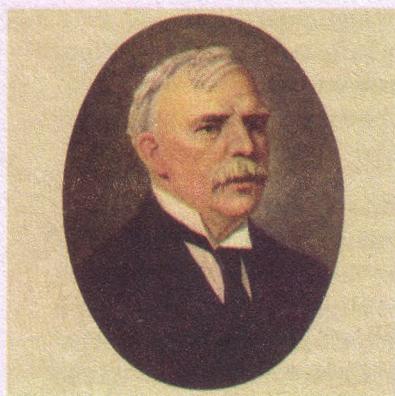
Количество протонов в ядре называют *протонным (или зарядным) числом* и обозначают символом  $Z$ . Его легко определить, воспользовавшись Периодической системой химических элементов Д. И. Менделеева. *Порядковый номер элемента в периодической таблице соответствует количеству протонов в ядре (протонному числу)*.

Зная протонное ( $Z$ ) и нуклонное ( $A$ ) числа ядра химического элемента, можно определить количество нейтронов ( $N$ ) в ядре этого элемента:  $N=A-Z$ .

\* Впервые предположение о протонно-нейтронном строении ядра атома высказал в 1932 г. советский ученый (уроженец Полтавщины) *Д. Д. Иваненко*. В том же году на основе данного предположения немецкий ученый *В. Гейзенберг* построил теорию атомного ядра.



**Рис. 31.2.** Обозначение химического элемента ядра атома



**Рис. 31.3.** Эрнест Резерфорд (1871–1937) — выдающийся английский физик. Заложил основы учения о радиоактивности и строении атома, осуществил первую ядерную реакцию, предсказал существование нейтрона. Лауреат Нобелевской премии (1908 г.), член всех академий наук мира

При обозначении ядра атома химического элемента перед символом элемента вверху указывают нуклонное число  $A$ , а внизу — протонное число  $Z$  (рис. 31.2). Например,  ${}_{13}^{27}\text{Al}$  — ядро Алюминия, имеющего нуклонное число 27 и протонное число 13. Эта запись означает, что в ядре атома Алюминия содержится 27 нуклонов: 13 протонов и  $27 - 13 = 14$  нейтронов.

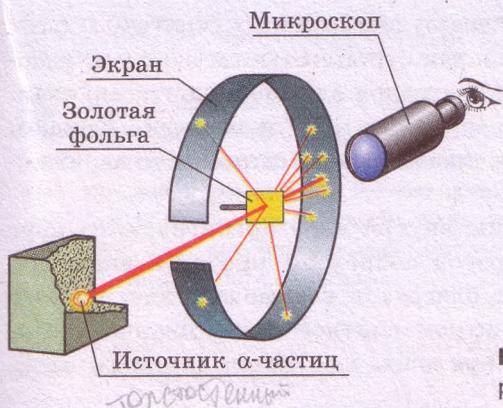
Следует обратить внимание на то, что ядра атомов одного и того же химического элемента могут отличаться количеством нуклонов. Из курса химии вы знаете, что *виды, атомов одного химического элемента, ядра которых содержат одинаковое количество протонов, но разное количество нейтронов, называют изотопами* данного химического элемента. Например, ядро Тория-234 ( ${}_{90}^{234}\text{Th}$ ) содержит 234 нуклона: 90 протонов и 144 нейтрона, а ядро Тория-230 содержит 230 нуклонов: 90 протонов и 140 нейтронов.

Несмотря на то что в ядре сосредоточена почти вся масса атома, размер ядра в сравнении с атомом чрезвычайно мал (приблизительно размер атома составляет  $10^{-10}$  м, а ядра —  $10^{-15}$  м). Для наглядности представьте, что удалось увеличить атом до размеров большого стадиона. При этом размер ядра такого атома тоже возрастет. Насколько? Вычисления показывают, что в этом случае диаметр ядра атома приблизительно будет равен размеру муравья, ползущего по траве стадиона.

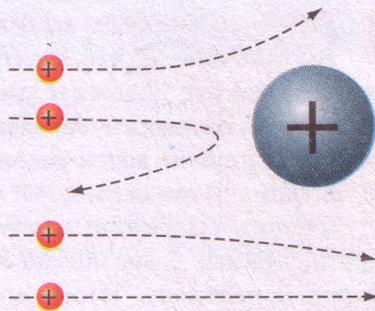
### 3 Узнаём о классическом опыте Резерфорда

В 1908–1911 гг. опытным исследователем Хансом Гейгером (1882–1845) и молодым аспирантом Эрнестом Марсденом (1889–1970) под руководством Эрнеста Резерфорда (рис. 31.3)

была осуществлена серия опытов (рис. 31.4). Для опытов ученые использовали вещество, из которого с большой скоростью вылетали положительно заряженные частицы (так называемые *а (альфа)-частицы*). Поместив это вещество в свинцовый контейнер с небольшим отверстием, получали узкий пучок *а-частиц*, который направлялся на тонкую золотую фольгу. Устройство содержало также экран, покрытый специальным веществом. Если в такой экран попадала *а-частица*, то в месте ее попадания возникала слабая вспышка света. Ученые наблюда-



**Рис. 31.4.** Схема опыта по изучению строения атома



**Рис. 31.5.** Траектории  $\alpha$ -частиц, пролетающих на разных расстояниях от ядра. Чем ближе к ядру подходит  $\alpha$ -частица, тем больше сила отталкивания, действующая на нее, и тем больше частица отклоняется от своей первоначальной траектории

ли вспышки с помощью микроскопа и регистрировали попадание в экран каждой  $\alpha$ -частицы.

В результате опытов было выяснено, что подавляющее большинство  $\alpha$ -частиц легко проходит сквозь золотую фольгу, причем некоторые из них отклоняются от первоначальной траектории. А вот примерно одна из 20 000 частиц отскакивает назад, будто натываясь на какое-то препятствие в фольге (рис. 31.5). Последнее оказалось для ученых наиболее удивительным.

Понятно, что Э. Резерфорд не мог видеть внутреннюю структуру атома, поэтому он воспользовался логикой. Если положительный заряд и масса равномерно распределены по всему объему атома (а именно такое представление об атоме существовало тогда в физике), то все  $\alpha$ -частицы должны пролететь сквозь фольгу практически не отклоняясь, ведь их энергия колоссальна. Примерно так будет, если из пушки стрелять вплотную в копну сена или бросать мячик сквозь паутину.

Если же положительный заряд и масса сосредоточены в небольшом объеме внутри атома, а окружающее его пространство — «пустота», то бомбардировка  $\alpha$ -частицами будет напоминать броски издали маленьким мячиком по металлической банке, закрепленной на шесте. Только в ничтожно малом количестве случаев мячик отскочит от банки и вернется к бросающему, в остальных же случаях он пролетит мимо цели.

Как видите, второй вариант значительно больше подходит для объяснения результатов экспериментов. Логические рассуждения и данные экспериментов практически совпадают, если считать, что вся масса атома сосредоточена в тяжелом положительно заряженном ядре, размер которого в 100000 раз меньше размера самого атома. Поэтому после описанных опытов Резерфорд в 1911 г. предложил *ядерную модель строения атома*, согласно которой атом состоит из положительно заряженного ядра, окруженного отрицательно заряженными частицами — электронами. При этом ядро занимает лишь небольшой объем внутри атома, однако именно в ядре сосредоточена почти вся масса атома.

4

**Узнаём о сильном взаимодействии**

Вы уже знаете, что электроны, обладая отрицательным зарядом, удерживаются вокруг положительного ядра благодаря электромагнитному взаимодействию. Но каким образом в составе одного ядра и на очень близком расстоянии друг от друга удерживаются протоны, ведь одноименно заряженные частицы отталкиваются?

Физики выяснили, что все частицы внутри ядра притягиваются друг к другу, причем безразлично какие: протон к протону, протон к нейтрону, нейтрон к нейтрону. И это происходит благодаря взаимодействию другого вида, намного более сильному, чем электромагнитное отталкивание протонов. Именно поэтому *взаимодействие нуклонов называют сильным взаимодействием*.

**Подводим итоги**

Ядерная физика — это раздел физики, изучающий структуру и свойства атомного ядра, процессы, происходящие в нем, и механизмы его преобразования.

В результате опытов, проведенных под руководством Э. Резерфорда, была предложена ядерная модель строения атома, согласно которой весь положительный заряд атома сосредоточен в его ядре — области, занимающей незначительный объем по сравнению со всем объемом атома.

Ядра атомов состоят из нуклонов — протонов и нейтронов. Нуклоны удерживаются вместе благодаря сильному взаимодействию. Количество протонов в ядре атома данного элемента равно порядковому номеру этого элемента в периодической системе химических элементов.

Разновидности данного химического элемента, атомы которых содержат в своих ядрах одинаковое количество протонов, но разное количество нейтронов, называют изотопами этого химического элемента.

При обозначения ядра атома химического элемента перед символом элемента указывают значения нуклонного числа  $A$  и протонного числа  $Z$ .

**Контрольные вопросы**

1. Почему правительства разных стран активно поддерживают исследования в области ядерной физики?
2. Приведите пример, подтверждающий, что ядерное топливо имеет высокую энергетическую эффективность.
3. Из каких частиц состоит атом?
4. Как определить количество протонов в ядре? количество нейтронов? Приведите пример.
5. Опишите опыт, после которого была предложена ядерная модель строения атома.
6. Опишите ядерную модель строения атома.
7. Благодаря какому типу взаимодействия нуклоны удерживаются в ядре атома?

**Упражнение № 28**

1. В ядре атома Бора 5 протонов и 6 нейтронов. Сколько электронов в данном атоме?
2. В ядре атома химического элемента 31 протон. Определите этот элемент.
3. Сколько протонов и сколько нейтронов в ядре атома Аргона, если его массовое число равно 40?
4. Среди перечисленных символов химических элементов укажите тот, который соответствует атому с наибольшим количеством электронов: Ca, Si, Ge, Sb, P.
5. Чем отличаются ядра изотопов Урана:  $^{238}\text{U}$  и  $^{235}\text{U}$ ?

## § 32. РАДИОАКТИВНОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ

**?!** В XXI в. вряд ли найдется человек, который хотя бы раз в жизни не делал рентгеновский снимок. В конце же XIX в. изображение кисти человека с видимой структурой костей (рис. 32.1) обошло полосы газет всего мира и стало настоящей сенсацией для физиков. Ученые начали исследование рентгеновских лучей и поиск их источников. Одним из таких ученых был французский физик А. Беккерель (рис. 32.2). Какими неожиданными выводами завершились его исследования, вы узнаете из этого параграфа.

### 1 Узнаём об истории открытия радиоактивности

С открытия рентгеновских лучей началась история открытия радиоактивности, и помог случай.

Толчком к исследованиям стало предположение ученых, что рентгеновские лучи могут возникать при кратковременном свечении некоторых веществ, облученных перед этим солнечным светом\*. К таким веществам относятся, например, некоторые соли Урана. Такой солью и воспользовался А. Беккерель, чтобы проверить указанное предположение.

Ученый взял крупинки урановой соли, положил их на завернутую в черную бумагу фотопластинку\*\* и на несколько часов вынес все устройство на яркий солнечный свет. После проявления на фотопластинке появились темные пятна именно в тех местах, где лежала урановая соль. То есть выяснилось, что урановая соль действительно испускает излучение, которое проходит сквозь черную бумагу и действует на фотопластинку.

Беккерель решил продолжить свои исследования и подготовил опыт, несколько отличавшийся от предыдущего. Однако ученому помешала пасмурная погода, и он с сожалением положил приготовленную для опыта фотопластинку с урановой солью и медным крестом между ними в ящик стола. Через несколько дней, так и не дождавшись появления солнца, ученый решил на всякий случай проявить фотопластинку.

\* Такое свечение называют *флюоресценцией*.

\*\* Отличие фотопластинки от фотопленки заключается в том, что в первом случае чувствительное к излучению вещество наносят на стекло, а во втором — на пластик.



Рис. 32.1. Первый рентгеновский снимок кисти руки человека

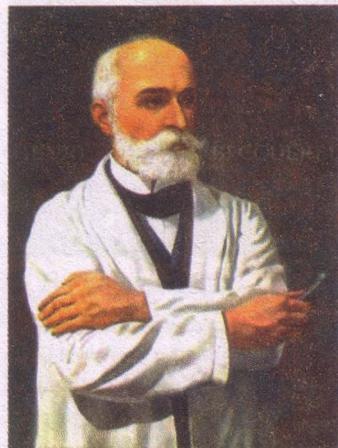


Рис. 32.2. Анри Антуан Беккерель (1852–1908) — французский физик, открывший в 1896 г. радиоактивное излучение солей Урана



**Рис. 32.3.** Мария Склодовская-Кюри (1867–1934) — французский физик и химик, лауреат двух Нобелевских премий. Такой чести за всю историю были удостоены только три исследователя



**Рис. 32.4.** Пьер Кюри (1859–1906) — французский физик, лауреат Нобелевской премии. Супруги Кюри внесли значительный вклад в изучение радиоактивности

Результат оказался неожиданным: на пластинке появился контур креста. Значит, солнечный свет ни при чем и соль Урана *сама, без воздействия внешних факторов*, испускает невидимое излучение!

Позже такое излучение назовут *радиоактивным излучением*; *способность некоторых веществ к радиоактивному излучению — радиоактивностью*; *химические элементы, ядра которых имеют такую способность, — радиоактивными элементами, или радионуклидами*.

## 2 Изучаем радиоактивные элементы

«Только ли Уран испускает “лучи Беккереля”?» — именно с поиска ответа на этот вопрос начала свою работу по изучению радиоактивности *М. Склодовская-Кюри* (рис. 32.3).

Тщательно проверив на радиоактивность практически все известные к тому времени элементы, она обнаружила, что радиоактивные свойства имеет также Торий. Кроме того, *М. Склодовская-Кюри* и ее муж *П. Кюри* (рис. 32.4) открыли новые радиоактивные элементы, в частности Полоний и Радий. Указанные элементы были выделены из природных минералов, поэтому их называли *природными радиоактивными элементами*.

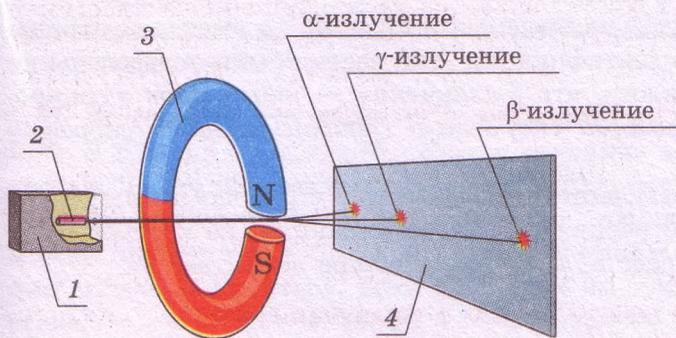
Со временем научились получать *искусственные радиоактивные изотопы*. В настоящее время почти для каждого элемента (даже не радиоактивного) получено несколько радиоактивных изотопов.

## 3 Узнаём, что радиоактивное излучение имеет сложный состав

Опыты по изучению природы радиоактивного излучения показали, что это излучение не является однородным. На рис. 32.5 изображена схема одного из таких опытов. В свинцовом контейнере (1) с небольшим отверстием разместили радиоактивное вещество (2). Пучок радиоактивного излучения, выходящий из отверстия, сначала

попадает в сильное магнитное поле постоянного магнита (3), а затем на фотопластинку (4), размещенную напротив отверстия.

После проявления фотопластинки на ней были четко видны три темных пятна. Это значит, что в магнитном поле радиоактивное



**Рис. 32.5.** Схема опыта по изучению природы радиоактивного излучения: 1 — свинцовый контейнер; 2 — радиоактивное вещество; 3 — постоянный магнит; 4 — фотопластинка

излучение разделилось на три составляющие. Они были названы  $\alpha$  (*альфа*)-излучение,  $\beta$  (*бета*)-излучение и  $\gamma$  (*гамма*)-излучение.

#### 4 Выясняем природу $\alpha$ -излучения

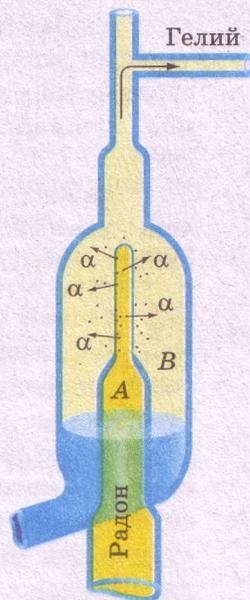
Наибольший вклад в изучение  $\alpha$ -излучения внес Э. Резерфорд (см. рис. 31.3). Ученый одним из первых установил, что  $\alpha$ -излучение — это поток положительно заряженных частиц (так называемых  $\alpha$ -частиц), модуль заряда которых вдвое больше модуля заряда электрона.

Чтобы установить природу  $\alpha$ -частиц, Резерфорд использовал специальное устройство (рис. 32.6). Основным элементом устройства — колба *A*, заполненная радоном, — газом, излучающим  $\alpha$ -частицы. Колба *A* была изготовлена из высококачественного и очень тонкого стекла (его толщина была примерно равна диаметру человеческого волоса). Стекло с такими характеристиками, с одной стороны, давало возможность  $\alpha$ -частицам «протиснуться» в колбу *B*, а с другой — было надежным препятствием для молекул радона. Сделав анализ вещества, которое со временем накопилось в колбе *B*, Резерфорд выяснил, что это гелий. Зная, что в колбу *B* могли попасть только  $\alpha$ -частицы и что они имеют положительный заряд, ученый сделал вывод, что  $\alpha$ -частицы — это положительные ионы Гелия.

После того как была предложена ядерная модель строения атома, стало понятно, что  $\alpha$ -частицы — это ядра атомов Гелия.

#### 5 Выясняем природу $\beta$ -излучения

$\beta$ -составляющая радиоактивного излучения, как и  $\alpha$ -составляющая, отклоняется магнитным полем, но в противоположную сторону. Из этого можно сделать вывод, что  $\beta$ -излучение — тоже поток



**Рис. 32.6.** Схема элемента устройства, с помощью которого Э. Резерфорд установил природу  $\alpha$ -частиц

заряженных частиц (так называемых  $\beta$ -частиц), но имеющих отрицательный заряд. Для идентификации этих частиц были определены их заряд и масса. Оказалось, что  $\beta$ -излучение — это поток электронов, летящих с огромной скоростью (приближенной к скорости света).

Важно, что в результате экспериментов с р-лучами были получены данные для построения квантовой механики, на которой основаны современные представления о структуре вещества.

6

### Узнаём о связи между светом и $\gamma$ -излучением

Исследования показали, что  $\gamma$ -, рентгеновское, ультрафиолетовое, инфракрасное излучения и видимый свет — «близкие родственники»: все они представляют собой *электромагнитные волны*. К тому же оказалось, что эти виды излучения можно рассматривать как поток нейтральных частиц, двигающихся в пространстве со скоростью света. Однако энергия частиц каждого типа излучения отличается по значению. Наименьшей энергией обладают частицы инфракрасного излучения; энергия частиц видимого света немного больше. Частицы ультрафиолетового излучения имеют уже достаточно большую энергию, чтобы начать разрушать поверхность, на которую они падают. Поэтому, например, облучать кожу ультрафиолетом можно только в течение короткого времени.

Намного большую энергию, чем частицы ультрафиолетового света, имеют частицы рентгеновского излучения. Соответственно большими являются его проникающие и разрушительные свойства. Поэтому рентгеновское обследование, длящееся всего несколько секунд, не рекомендуют проводить чаще одного раза в год.

$\gamma$ -излучение за счет большой энергии может свободно проникать не только сквозь человеческое тело, но и сквозь металлы. Этим обстоятельством воспользовались конструкторы, создав устройства для просвечивания, например, автомобилей (рис. 32.7). Такие устройства

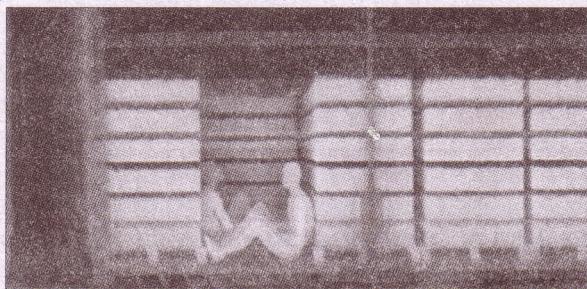


Рис. 32.7. Использование  $\gamma$ -излучения в устройстве, с помощью которого проверяют содержимое контейнеров: а — внешний вид устройства; б — изображение на мониторе содержимого контейнера

используют пограничники и таможенники для обнаружения наркотиков, взрывчатки и др.

## 7 Защищаемся от радиоактивного излучения

У большинства людей слово «радиация» ассоциируется с опасностью. И это, безусловно, правильно. Радиоактивное излучение не фиксируется органами чувств человека, однако известно, что оно может привести к губительным последствиям. От влияния радиации можно защититься, если поставить на пути излучения препятствие.

Проще всего защититься от  $\alpha$ - и  $\beta$ -излучений. Хотя  $\alpha$ - и  $\beta$ -частицы летят с огромной скоростью, их поток легко останавливает даже небольшое препятствие. Как показали эксперименты, достаточно тонкого листа бумаги (0,1 мм), чтобы остановить  $\alpha$ -частицы;

$\beta$ -излучение полностью поглощается алюминиевой пластинкой толщиной 1 мм.

Наиболее опасным является  $\gamma$ -излучение — оно проникает сквозь достаточно толстые слои материалов. В отдельных случаях для защиты от  $\gamma$ -излучения необходимы бетонные стены толщиной несколько метров.

## 1 Подводим итоги

Радиоактивное излучение было открыто в 1896 г. французским физиком А. Беккерелем. Значительный вклад в его изучение внесли также Э. Резерфорд, М. Склодовская-Кюри, П. Кюри и др.

Уран, Торий, Радий и ряд других элементов имеют природную радиоактивность. Ученые научились синтезировать радиоактивные изотопы.

Различают несколько видов радиоактивного излучения, среди которых  $\alpha$ -,  $\beta$ - и  $\gamma$ -излучения.  $\alpha$ -излучение — это поток ядер Гелия, летящих с огромной скоростью;  $\beta$ -излучение — это поток электронов, летящих со скоростью, близкой к скорости света;  $\gamma$ -излучение — это электромагнитные волны (и вместе с тем поток нейтральных частиц), распространяющиеся со скоростью света.

Для предупреждения вредного влияния различных видов радиоактивного излучения на организмы используют защитные препятствия разной толщины, изготовленные из разных материалов.

## ? Контрольные вопросы

1. Как было открыто явление радиоактивности? 2. Какой вклад внесли П. Кюри и М. Склодовская-Кюри в изучение радиоактивного излучения? 3. Приведите примеры природных радиоактивных элементов. 4. Опишите опыт по разделению радиоактивного излучения на составляющие. 5. Какие виды радиоактивного излучения вы знаете? 6. Какова физическая природа  $\alpha$ -частиц?  $\beta$ -частиц?  $\gamma$ -излучения? 7. Опишите опыт Э. Резерфорда по выяснению природы  $\alpha$ -излучения. 8. Как защититься от радиоактивного излучения?

## § 33. АКТИВНОСТЬ РАДИОНУКЛИДА. ПРАВИЛА СМЕЩЕНИЯ

?!

Алхимики Средневековья мечтали о философском камне, который превращал бы все вещества в золото. «Современная алхимия» — так назовет Э. Резерфорд свою книгу о преобразованиях атомных ядер. О том, как изменяется ядро во время радиоактивного излучения и каким законам подчиняется этот процесс, вы узнаете из данного параграфа.

## 1 Даем определение радиоактивности. Изучаем правила смещения

Рассматривая в § 32 радиоактивное излучение, мы оставили без внимания важный вопрос: что при этом происходит с атомами? Ведь при радиоактивном излучении от атомов отрываются немалые «куски», следовательно, атомы должны измениться. Проведя ряд экспериментов, ученые доказали, что *радиоактивное излучение является следствием распада атомных ядер*.

Теоретические и экспериментальные исследования показали, что ядра атомов радиоактивных элементов способны *самопроизвольно* распадаться. На радиоактивный распад *не влияют* изменение давления и температуры, действие магнитного и электрического полей, химические реакции, уменьшение или увеличение освещенности и т. д.

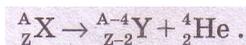
Распад ядра сопровождается излучением  $\alpha$ -,  $\beta$ - или других частиц; само же ядро, как правило, превращается в ядро атома другого элемента.

Радиоактивность — это способность ядер некоторых химических элементов произвольно превращаться в ядра других элементов с излучением микрочастиц.

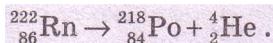
В зависимости от того, какие частицы излучаются при радиоактивном распаде, различают  $\alpha$ -распад,  $\beta$ -распад и другие виды распадов. Установлено, что радиоактивные преобразования ядер подчиняются так называемым *правилам смещения*, которые впервые сформулировал английский ученый *Фредерик Содди* (1877-1956).

## Правила смещения

1. Во время  $\alpha$ -распада нуклонное число ядра атома уменьшается на 4, а протонное — на 2, поэтому *образуется ядро элемента, порядковый номер которого в периодической таблице на 2 единицы меньше порядкового номера исходного элемента*:

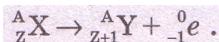


Например, известно, что Радон ( ${}^{222}_{86} \text{Rn}$ ) является ос-радиоактивным (испускает ядра атома Гелия). Поэтому в результате  $\alpha$ -распада Радона образуется элемент, имеющий порядковый номер 84 (расположенный на 2 клетки левее Радона), — это Полоний:

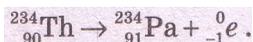


2. Во время ( $\beta$ -распада) нуклонное число ядра атома остается неизменным, а протонное увеличивается на 1, поэтому *образуется ядро эле-*

мента, порядковый номер которого в периодической таблице на 1 единицу больше порядкового номера исходного элемента:



Например, Торий ( ${}^{234}_{90}\text{Th}$ ) является  $\beta$ -радиоактивным элементом (излучает электроны). Поэтому при (3-распаде Тория образуется Протактиний — элемент с порядковым номером 91 (расположенный на 1 клетку правее):



Поскольку в результате радиоактивных преобразований *рождаются новые элементы*, ученые назвали этот процесс (по аналогии с химией) *ядерными реакциями*.

## 2 Узнаём о периоде полураспада

Можно ли узнать, какое именно ядро в рассматриваемом радиоактивном веществе распадется первым? Какое будет следующим? А какое ядро окажется «долгожителем» и распадется последним? Физики утверждают, что узнать об этом невозможно: распад того или иного ядра радионуклида — событие случайное. В то же время поведение радиоактивного вещества в целом подчинено четко определенной закономерности.

Эту закономерность можно проиллюстрировать с помощью такого примера. Если взять закрытую стеклянную колбу, содержащую некоторое количество радона, окажется, что приблизительно через 57 с количество радона в колбе уменьшится вдвое. Еще через 57 с из оставшихся атомов снова останется половина и т. д. Поэтому естественно, что интервал времени 57 с был назван *периодом полураспада* Радона.

**Период полураспада** — это физическая величина, равная времени, в течение которого распадается половина имеющегося количества ядер данного радионуклида.

Период полураспада обычно обозначают символом  $T$ .

**Единица периода полураспада в СИ — секунда (с).**

У каждого радиоактивного изотопа свой период полураспада. Например, период полураспада Урана-238 равен 4,5 млрд лет, Радия-226 — 1600 лет.

Для характеристики радиоактивного распада используют величину, которую называют **постоянной радиоактивного распада радионуклида** (см. таблицу) и обозначают символом  $\lambda$ . Постоянная радиоактивного распада связана с периодом полураспада соотношением:

$\lambda = \frac{0,69}{T}$ .  
Единица постоянной радиоактивного распада в СИ —  $\frac{1}{с}$ .

Постоянные радиоактивного распада некоторых радионуклидов

Радионуклид	Постоянная радиоактивного распада $\lambda, \frac{1}{с}$
Иод-131	$9,98 \cdot 10^{-7}$
Кобальт-60	$4,15 \cdot 10^{-9}$
Плутоний-239	$9,01 \cdot 10^{-13}$
Радий-226	$1,37 \cdot 10^{-11}$
Радон-220	$1,2 \cdot 10^{-2}$
Уран-235	$3,14 \cdot 10^{-17}$
Цезий-137	$7,28 \cdot 10^{-10}$

3

**Даем определение активности радионуклидного образца**

Важной характеристикой процесса радиоактивного распада является скорость, с которой распадается тот или иной радионуклид.

Физическая величина, численно равная количеству распадов, происходящих в определенном радионуклидном образце за единицу времени, называется **активностью радионуклидного образца**.

Единицей активности в СИ является **беккерель** (Бк). 1 Бк — это активность такого образца, в котором за 1 с происходит 1 акт распада. Но 1 Бк — это очень малая активность, поэтому часто используют внесистемную единицу активности — **кюри** (Ки):  $1 \text{ Ки} = 3,7 \cdot 10^{10} \text{ Бк}$ .

Если на данный момент времени в образце содержится некоторое количество  $n$  атомов радионуклида, активность  $A$  данного радионуклидного образца можно вычислить по формуле:

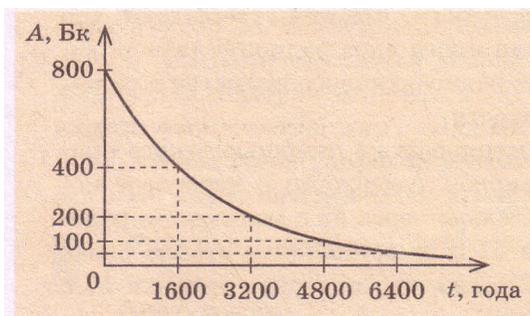
$$A = \lambda N,$$

где  $\lambda$  — постоянная радиоактивного распада данного радионуклида.

Это же соотношение можно записать и с использованием периода полураспада:

$$A = \frac{0,69}{T} N.$$

С течением времени количество нераспавшихся ядер радионуклидного образца уменьшается, а значит, уменьшается и активность образца (рис. 33.1).



**Рис. 33.1.** График зависимости активности Радия от времени. Период полураспада Радия составляет 1600 лет

4\*

**Узнаем о радиоактивных рядах**

Получается, что после экспериментов Э. Резерфорда и Ф. Содди мечта алхимиков о превращении веществ в золото осуществилась? На самом деле — нет. Ученые выяснили, что исходное (как говорят физики — *материнское*) ядро атома радиоактивного элемента с течением времени претерпевает целый ряд преобразований. А именно: ядро атома элемента  $A_1$  превращается в ядро атома элемента  $A_2$ , потом — в ядро атома элемента  $A_3$  и т. д., причем в этой цепочке не может быть случайных «гостей», скажем, ядра атома элемента  $B$ . Совокупность всех изотопов, возникающих в результате ряда последовательных радиоактивных преобразований данного материнского элемента, называют *радиоактивным рядом*. Одна из цепочек преобразований (ряд Урана-238) показана на рис. 33.2. Позднее было обнаружено, что существуют четыре радиоактивных ряда, объединяющих все известные в природе радиоактивные элементы.

Понятно, что искусственные радиоактивные изотопы в природных радиоактивных рядах отсутствуют.

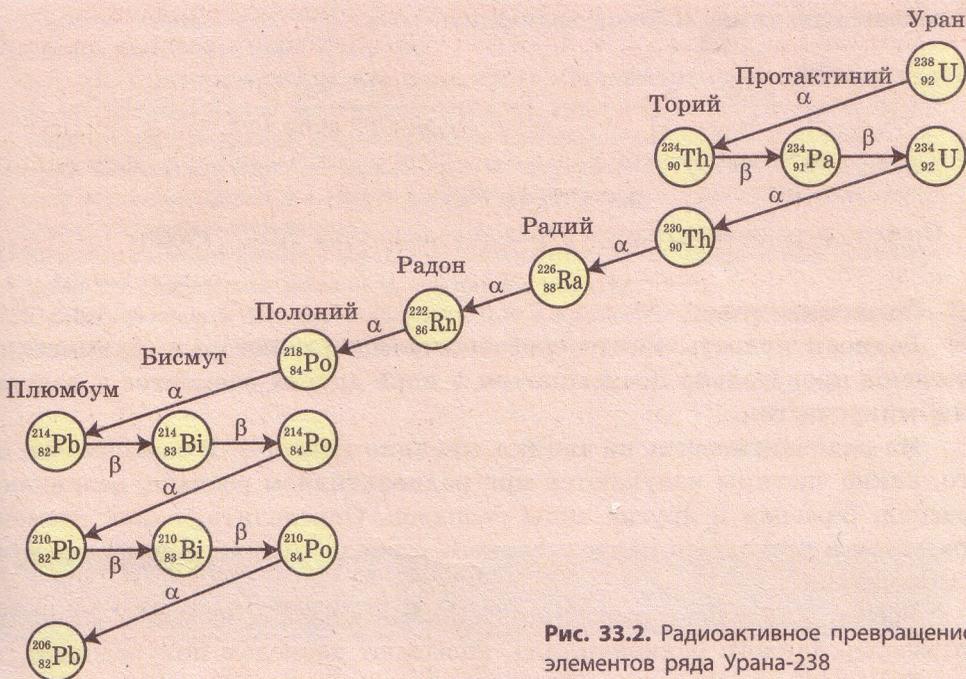


Рис. 33.2. Радиоактивное превращение элементов ряда Урана-238

5

Учимся решать задачи

**Задача.** Определите массу Радия-226, содержащегося в радионуклидном образце, если активность Радия составляет 5 Ки.

Дано:

$$A = 5 \text{ Ки} = 18,5 \cdot 10^{10} \text{ Бк}$$

$$\lambda = 1,37 \cdot 10^{-11} \frac{1}{\text{с}}$$

$$M = 226 \frac{\text{г}}{\text{моль}}$$

$$= 226 \cdot 10^{-3} \frac{\text{кг}}{\text{моль}}$$

$$N_A = 6,02 \cdot 10^{23} \frac{1}{\text{моль}}$$

$m$  — ?

*Анализ физической проблемы, поиск математической модели*

Для решения задачи воспользуемся формулой активности:  $A = \lambda N$ . Постоянную радиоактивного распада  $\lambda$  найдем из таблицы. Зная активность, определим количество  $N$  атомов Радия в образце.

Как известно из курса химии,  $N = \nu N_A$ , где  $\nu$  — количество вещества,  $N_A$  — число Авогадро. Определив количество вещества и воспользовавшись формулой  $\nu = \frac{m}{M}$ , где  $M$  — молярная масса Радия, найдем массу  $m$  Радия.

*Решение*

Активность образца равна:  $A = \lambda N$ .

Поскольку  $N = \nu N_A$ , а  $\nu = \frac{m}{M}$ , то  $N = \frac{m}{M} \cdot N_A$ .

Подставим выражение для  $N$  в формулу активности:

$$A = \frac{\lambda m N_A}{M}. \text{ Отсюда } m = \frac{AM}{\lambda N_A}.$$

Определим значение искомой величины:

$$[m] = \frac{\text{Бк} \cdot \frac{\text{кг}}{\text{моль}}}{\frac{1}{\text{с}} \cdot \frac{1}{\text{моль}}} = \frac{1}{\text{с}} \cdot \text{кг} = \text{кг}; \quad \{m\} = \frac{18,5 \cdot 10^{10} \cdot 226 \cdot 10^{-3}}{1,37 \cdot 10^{-11} \cdot 6,02 \cdot 10^{23}} = 5,07 \cdot 10^{-3};$$

$$m = 5,07 \cdot 10^{-3} \text{ кг} = 5,07 \text{ г}.$$

Ответ: в радонуклидном образце содержится 5,07 г Радия.

### Подводим итоги

Радиоактивность — это способность ядер некоторых химических элементов произвольно превращаться в ядра других элементов с излучением микрочастиц.

На радиоактивность не влияют внешние факторы. В зависимости от того, какие частицы излучаются при радиоактивном распаде, различают  $\alpha$ -распад,  $\beta$ -распад и другие виды распадов. Определить, какой элемент образуется в результате радиоактивного распада, можно с помощью правил смещения.

Время, в течение которого распадается половина имеющегося количества ядер данного радонуклида, называют периодом полураспада.

Физическая величина, численно равная количеству распадов, происходящих в определенном радонуклидном образце за единицу времени, называется активностью радонуклидного образца. Активность  $A$  радонуклида рассчитывают по формуле:  $A = \lambda N$ , где  $N$  — количество атомов радонуклида на данный момент времени в образце;  $\lambda$  — постоянная распада радонуклида. Единица активности в СИ — беккерель (Бк).

Совокупность всех изотопов, возникающих в результате ряда последовательных радиоактивных преобразований данного материнского элемента, называют радиоактивным рядом. Выявлено четыре радиоактивных ряда, объединяющих все известные в природе радиоактивные элементы.

### Контрольные вопросы

1. Приведите определение радиоактивности.
2. Что происходит с ядром атома при излучении  $\alpha$ -частицы?  $\beta$ -частицы?
3. Что такое период полураспада?
4. Как период полураспада связан с постоянной распада?
5. Что такое активность радонуклидного образца?
6. В каких единицах измеряют активность? Как они связаны?
7. Как активность радонуклида связана с постоянной его распада?
8. Изменяется ли со временем активность радонуклида? Если изменяется, то почему и как?

### Упражнение № 29

1. Во время естественного радиоактивного распада Радия ( ${}^{226}\text{Ra}$ ) из ядра излучается  $\alpha$ -частица. В ядро какого элемента превращается при этом ядро атома Радия? Запишите уравнение реакции.
2. При естественном радиоактивном распаде Протактиния ( ${}^{231}\text{Pa}$ ) из его ядра испускается  $\beta$ -частица. В ядро какого элемента превращается при этом ядро атома Протактиния? Запишите уравнение реакции.

3. Воспользовавшись рис. 33.2, запишите несколько ядерных реакций, характерных для радиоактивного ряда Урана-238.
4. Есть одинаковое количество ядер Урана, Радия и Радона. Период полураспада Урана составляет 4,5 млрд лет, Радия — 1600 лет, Радона — 57 с. Активность какого радионуклида на данный момент времени наибольшая? Поясните свой ответ.
5. В радионуклидном образце содержится  $2 \cdot 10^{20}$  атомов Иода-131. Определите, сколько ядер Иода распадётся в течение часа. Активность образца на протяжении этого времени считайте постоянной.
6. На данный момент времени в радионуклидном образце содержится 0,05 моля Плутония-239. Определите активность Плутония в образце.
7. В радионуклидном образце содержится 0,20 г Урана-235. Определите активность Урана в образце. Активность образца считайте постоянной.

## § 34. ПОГЛОЩЕННАЯ И ЭКВИВАЛЕНТНАЯ ДОЗЫ ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ



Известно, что радиоактивное излучение может представлять опасность для живых организмов. Из этого параграфа вы узнаете, почему это так и с помощью каких приборов можно измерить содержание радиоактивных веществ в пищевых продуктах, уровень радиации на улице, в школьном кабинете и т. д.

### 1 Даем определение поглощенной дозы ионизирующего излучения

Радиоактивные  $\alpha$ -,  $\beta$ -,  $\gamma$ -излучения оказывают значительное влияние на живые организмы. Попадая в то или иное вещество, радиоактивное излучение передает ему энергию. В результате поглощения этой энергии некоторые атомы и молекулы вещества ионизируются, вследствие чего изменяется их химическая активность. Жизнедеятельность любого организма обеспечивается химическими реакциями, происходящими в его клетках, поэтому радиоактивное облучение приводит к нарушению функций почти всех органов.

Чем больше поглощенная веществом энергия излучения, тем большее воздействие оказывает это излучение на данное вещество.

*Физическая величина, численно равная энергии ионизирующего излучения, поглощенной веществом единичной массы, называется  $D$  поглощенной дозой ионизирующего излучения.*



**Рис. 34.1.** Люкс Гарольд Грей (1905–1965) — английский физик, работал над проблемами, связанными с влиянием облучения на биологические системы, определил единицу поглощенной дозы излучения

Поглощенную дозу ионизирующего излучения обозначают символом  $D$  и определяют по формуле:

$$D = \frac{W}{m},$$

где  $W$  — энергия ионизирующего излучения, переданная веществу массой  $m$ .

Единица поглощенной дозы ионизирующего излучения в СИ — **грей** (1 Гр =  $1 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$ ). Свое название эта единица получила в честь английского физика *Л. Грея* (рис. 34.1).

1 Гр — это такая поглощенная доза ионизирующего излучения, при которой веществу массой 1 кг передается энергия ионизирующего излучения, равная 1 Дж.

На практике часто используют внесистемную единицу поглощенной дозы — рад (ее название происходит от английской аббревиатуры: *rad*, — *radiation absorbed dose* — поглощенная доза радиации). Данные единицы связаны между собой соотношением: 1 грей = 100 рад.

## 2 Определяем эквивалентную дозу ионизирующего излучения

Биологическое действие различных видов излучения на живые организмы неодинаково при одинаковой поглощенной дозе. Например, при одинаковом количестве поглощенной энергии  $\alpha$ -излучение намного опаснее, чем  $\beta$ - или  $\gamma$ -излучение. Поэтому для характеристики биологического действия ионизирующего излучения ученые ввели специальную физическую величину — *эквивалентную дозу ионизирующего излучения*. Ее обозначают символом  $H$  (иногда  $D_{\text{ЭКВ}}$ ).

*Эквивалентная доза ионизирующего излучения равна поглощенной дозе  $D$ , умноженной на коэффициент качества  $K$ :*

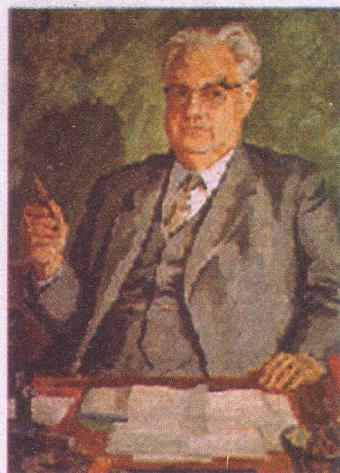
$$H = K D.$$

Коэффициент качества  $K$  является неодинаковым для различных излучений (см. таблицу).

*Единица эквивалентной дозы ионизирующего излучения в СИ — зиверт (Зв). Эта единица названа так в честь шведского ученого Р.-М. Зиверта* (рис. 34.2). Существует также *внесистемная* единица — бэр: 1 бэр = 0,01 Зв.

## 3 Узнаём об экспозиционной дозе ионизирующего излучения

Физическое действие любого ионизирующего излучения на вещество связано прежде всего с ионизацией атомов и молекул. Поэтому была введена физическая величина, которая определяется ионизационным действием излучения. Эту величину называют *экспозиционной дозой ионизирующего излучения*.



**Рис. 34.2.** Рольф-Максимилиан Зиверт (1896–1966) — шведский ученый. Работал в области медицинской физики, изучал влияние радиации на биологические системы

Экспозиционная доза ионизирующего излучения ( $D_{\text{ЭКСП}}$ ) определяется суммарным зарядом ионов того или иного знака, возникающих под действием излучения в 1 кг сухого воздуха:

$$D_{\text{ЭКСП}} = \frac{q}{m},$$

где  $q$  — суммарный заряд ионов, возникающих под действием излучения в сухом воздухе массой  $m$ .

В СИ экспозиционную дозу ионизирующего излучения измеряют в кулонах на килограмм ( $\frac{\text{Кл}}{\text{кг}}$ ).

1  $\frac{\text{Кл}}{\text{кг}}$  — это экспозиционная доза ионизирующего излучения, при которой суммарный заряд всех ионов одного знака, образовавшихся в 1 кг сухого воздуха, равен 1 Кл.

На практике чаще используют внесистемную единицу экспозиционной дозы — **рентген (Р)**, названную так в честь немецкого физика *В. Рентгена* (рис. 34.3):  $1 \text{ Р} = 2,58 \cdot 10^{-4} \frac{\text{Кл}}{\text{кг}}$ .

Коэффициенты качества некоторых видов ионизирующего излучения

Вид излучения	Коэффициент качества (К)
$\alpha$ -излучение	20
$\beta$ -излучение	1
$\gamma$ -излучение	1
Нейтроны	5–10
Протоны	5

#### 4 Изучаем мощность дозы ионизирующего излучения

Понятно, что доза ионизирующего излучения зависит от времени облучения: чем больше время облучения, тем больше доза ионизирующего излучения. Физики говорят, что доза излучения накапливается со временем.

Отношение дозы ионизирующего излучения ( $D$ ) ко времени облучения ( $t$ ) называют мощностью дозы ( $P_D$ ) ионизирующего излучения:

$$P_D = \frac{D}{t}.$$

Единица мощности поглощенной дозы ионизирующего излучения — **грей в секунду** ( $\frac{\text{Гр}}{\text{с}}$ );

единица мощности экспозиционной дозы ионизирующего излучения — **рентген в секунду** ( $\frac{\text{Р}}{\text{с}}$ );

единица мощности эквивалентной дозы ионизирующего излучения — **зиверт в секунду** ( $\frac{\text{Зв}}{\text{с}}$ ).

#### 5 Изучаем последствия воздействия радиации на организмы

Исследования показали, что повреждения организмов, обусловленные действием радиации, имеют ряд особенностей.

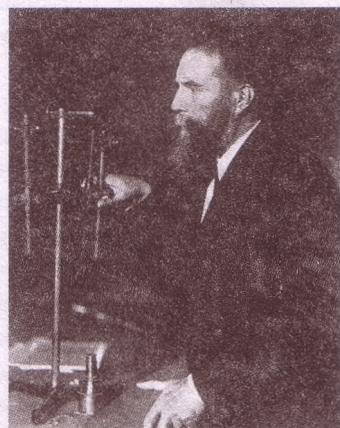


Рис. 34.3. Вильгельм Конрад Рентген (1845–1923) — немецкий физик-экспериментатор. За открытие лучей, со временем названных его именем, Рентгену первому среди физиков присудили Нобелевскую премию (1901 г.)

Во-первых, глубокие нарушения функций жизнеобеспечения организма вызывает даже небольшое количество поглощенной энергии. Объясняется это тем, что энергия излучения попадает в особо чувствительную «мишень» — клетку. А наиболее чувствительны к радиации те клетки, которые быстро делятся. Так, первым ощущает действие радиоактивного излучения костный мозг, вследствие чего нарушается процесс кроветворения.

Во-вторых, разные типы организмов имеют различную чувствительность к тому или иному радиоактивному излучению. Наиболее устойчивыми, например, являются одноклеточные.

В-третьих, последствия влияния одинаковой поглощенной дозы излучения зависят от возраста организма.

Перечисленные особенности касаются *внешнего облучения*. Но существует также опасность *внутреннего облучения*, ведь радионуклиды могут попасть в организм, например, с пищей или водой. Повышенная опасность внутреннего облучения обусловлена несколькими причинами.

Во-первых, некоторые радионуклиды способны выборочно накапливаться в отдельных органах. Например, 30% иода накапливается в щитовидной железе, масса которой составляет лишь 0,03% массы тела человека. Радиоактивный Иод, таким образом, всю свою энергию отдает небольшому объему ткани.

Во-вторых, внутреннее облучение является длительным: радионуклид, попавший в организм, не сразу выводится из него, а претерпевает ряд радиоактивных превращений внутри организма. Возникающее при этом радиоактивное излучение оказывает разрушительное действие, ионизируя молекулы и тем самым изменяя их биохимическую активность.

## 6

### Изучаем конструкцию и принцип действия ионизационного дозиметра

Для измерения дозы ионизирующего излучения и ее мощности используют *дозиметры*. Основной составляющей любого дозиметра является *детектор* — устройство для регистрации ионизирующего излучения. В зависимости от типа детектора различают ионизационный, люминесцентный и другие виды дозиметров (рис. 34.4). Так, в ионизационном дозиметре детектором является *счетчик Гейгера — Мюллера*, действие которого основано на свойстве радиоактивного излучения значительно повышать проводимость газов.

Датчик счетчика Гейгера — Мюллера представляет собой стеклянный цилиндр, который обычно заполняют разреженным инертным газом (рис. 34.5). Стенки цилиндра покрыты металлической пленкой, которая выступает катодом. Внутри цилиндра натянут металлический провод (анод). Между проводом и стенками цилиндра создают сильное электрическое поле.

Когда радиоактивное излучение проникает внутрь цилиндра, происходит ионизация атомов газа. Свободные электроны и ионы, образующиеся вследствие ионизации, разгоняются электрическим полем. Сталкиваясь с нейтральными атомами, они разбивают их на электроны и ионы. В результате в объеме цилиндра количество электронов и ионов лавинообразно



Рис. 34.4. Некоторые виды дозиметров:  
а — ионизационный; б — люминесцентный

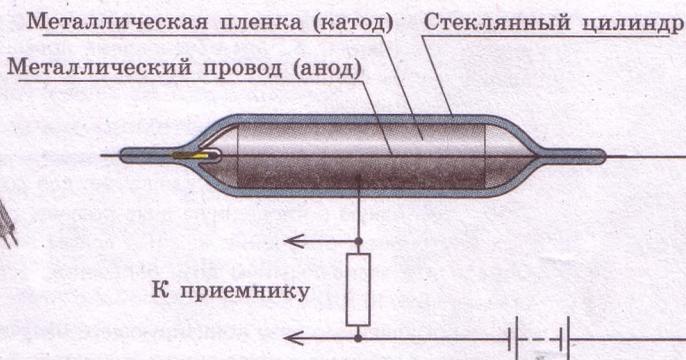


Рис. 34.5. Принципиальная схема счетчика Гейгера — Мюллера

возрастает. Под действием электрического поля электроны направляются к проводу — по цепи проходит импульс тока, который усиливается и передается на *приемник*. Если приемником является, например, динамик, то из прибора звучит характерное пощелкивание: чем сильнее радиоактивное излучение, тем чаще щелчки. Обычно приемником служит цифровое измерительное устройство. В таком случае на дисплее дозиметра появляется числовое значение дозы ионизирующего излучения.

### Подводим итоги

Физическую величину, численно равную энергии  $W$  ионизирующего излучения, поглощенной веществом единичной массы, называют поглощенной дозой ионизирующего излучения  $D$ . Поглощенную дозу измеряют

в греях и рассчитывают по формуле  $D = \frac{W}{m}$ .

Биологическое действие ионизирующего излучения на организмы зависит не только от поглощенной дозы, но и от особенностей самого излучения. Характеристика этого действия получила название эквивалентной дозы ионизирующего излучения ( $H$ ):  $H = K D$ , где  $K$  — коэффициент качества;  $D$  — поглощенная доза. Измеряется эквивалентная доза излучения в зивертах.

Чем продолжительнее время облучения, тем больше доза ионизирующего излучения. Отношение дозы  $D$  ионизирующего излучения ко времени  $t$  облучения называют мощностью дозы  $P_D$  ионизирующего излучения:

$$P_D = \frac{D}{t}$$

Для измерения дозы ионизирующего излучения и ее мощности используют дозиметры.

### Контрольные вопросы

1. В чем проявляется биологическое действие радиации на живые организмы?
2. Дайте определение поглощенной дозы ионизирующего излучения. В каких единицах ее измеряют?
3. Как вычисляют эквивалентную дозу ионизирующего излучения? В каких единицах ее измеряют?
4. Как определяют экспозиционную дозу ионизирующего

излучения? В каких единицах ее измеряют? 5. Что называют мощностью дозы ионизирующего излучения? 6. Чем обусловлена повышенная опасность радионуклидов, попавших внутрь организма? 7. Расскажите о строении и принципе действия ионизационного дозиметра.

### Упражнение № 30

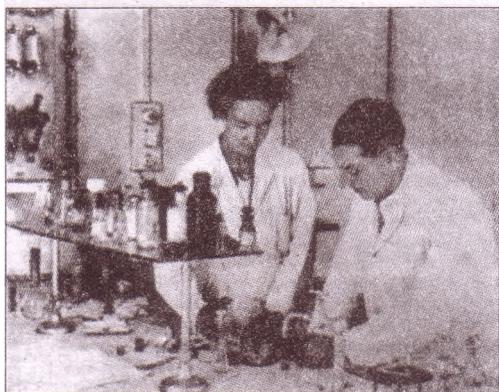
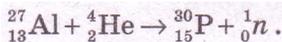
1. Мощность поглощенной дозы излучения для сотрудника лаборатории составляет  $2 \cdot 10^{-9}$  Гр/с. Какую поглощенную дозу получит сотрудник в течение часа?
2. При внутреннем облучении каждый грамм живой ткани поглотил  $10^8$   $\alpha$ -частиц. Определите эквивалентную дозу облучения, если энергия каждой  $\alpha$ -частицы составляет  $8,3 \cdot 10^{-13}$  Дж.
3. Какую поглощенную дозу ионизирующего излучения получит человек, находящийся вблизи источника  $\gamma$ -излучения в течение 1 ч, если мощность потока излучения составляет  $25 \cdot 10^{-9}$  Гр/с?

## § 35\*. ПОЛУЧЕНИЕ И ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РАДИОАКТИВНЫХ ИЗОТОПОВ

Как применяют радиоактивные изотопы в медицине? Что такое гамма-дефектоскопы? Зачем облучают элементы конструкции моста и продукты питания? Ответы на все эти вопросы вы найдете в данном параграфе.

### 1 Узнаём об искусственных радиоактивных изотопах

Первый искусственный радиоактивный изотоп был получен в начале 1934 г. *Фредериком* и *Ирен Жолио-Кюри* (рис. 35.1). Облучая  $\alpha$ -частицами алюминиевое тело, они наблюдали излучение нейтронов, то есть происходила следующая ядерная реакция:



**Рис. 35.1.** Ирен Жолио-Кюри (1897–1956), Фредерик Жолио-Кюри (1900–1958) — французские физики и радиохимики. За синтез новых радиоактивных элементов получили Нобелевскую премию по химии (1935 г.)

Полученный изотоп Фосфора, во-первых, был радиоактивным, во-вторых, такого изотопа в природе не существовало. Таким образом, супруги Жолио-Кюри получили *искусственный радиоактивный элемент*.

Итальянский физик *Э. Ферми* (рис. 35.2) прославил свое имя несколькими выдающимися достижениями. Свою высшую награду — Нобелевскую премию — Э. Ферми получил за открытие искусственной радиоактивности, вызванной бомбардировкой вещества медленными нейтронами.

Летом 1934 г. Э. Ферми начал исследования искусственной радиоактивности, возникающей при поглощении

ядрами нейтронов. Он был одним из первых, кто понял, что именно *нейтрон является удобным инструментом для получения новых радиоактивных изотопов*. В еамом деле, зачем «ломиться» внутрь ядра с помощью заряженных а-частиц, ведь их ядро отталкивает! Намного легче проникнуть в ядро нейтрону, поскольку он является электронейтральным. За короткое время группе ученых под руководством Ферми удалось создать полсотни новых радиоактивных изотопов.

Метод облучения нейтронами широко применяется в промышленности для получения радиоактивных изотопов.

2

### Узнаем о применении радиоактивных изотопов в медицине

Радиоактивные изотопы широко используют в медицинских исследованиях в качестве *индикаторов*. Дело в том, что организм человека имеет свойство накапливать в своих тканях определенные химические вещества. Известно, например, что щитовидная железа накапливает в своей ткани иод, костная ткань — фосфор, кальций и стронци, печень — некоторые красители и т. д. При этом, если орган работает нормально, то процесс накопления веществ характеризуется определенной скоростью, если же функции органа нарушены, наблюдаются отклонения. Например, при базедовой болезни активность щитовидной железы резко возрастает и в результате иод накапливается в ней быстрее, чем обычно. При некоторых других заболеваниях, наоборот, накопление иода в щитовидной железе происходит слишком медленно.

За этими особенностями накопления Иода удобно наблюдать с помощью его у-радиоактивного изотопа. Химические свойства радиоактивного и стабильного иода не отличаются, поэтому радиоактивный Иод-131 будет накапливаться щитовидной железой по тем же законам, что и его стабильный «собрат». Если щитовидная железа в норме, то через некоторое время после введения в организм радиоактивного Иода у-излучение от него будет иметь определенную оптимальную интенсивность. Радиоактивные атомы как бы посылают сигнал: «Мы здесь, все хорошо!». Но если щитовидная железа функционирует с отклонением от нормы, то интенсивность у-излучения будет аномально высокой или, наоборот, низкой и сигнал будет «звучать» тревожно: «Мы здесь, но нас много (мало)!». Аналогичный метод применяют для исследования обмена веществ в организме, функций почек, печени и др.

Радиоактивные изотопы (Иод-131, Фосфор-32, Аурум-198 и др.) используют для обнаружения в различных органах злокачественных опухолей. Диагностика основана на том, что клетки опухоли и клетки здоровой ткани по-разному накапливают радиоактивные препараты. Известно, например,



**Рис. 35.2.** Энрико Ферми (1901–1954) — итальянский физик, лауреат Нобелевской премии (1938 г.). Один из основателей ядерной физики. Под его руководством построен первый ядерный реактор, в котором впервые (1942 г.) была осуществлена цепная ядерная реакция

что для опухолей характерно ускоренное накопление радиоактивного Фосфора.

Понятно, что при использовании *ядерно-физического метода диагностики* необходимо тщательно дозировать количество радиоактивного препарата, чтобы внутреннее облучение оказывало как можно меньшее негативное воздействие на организм человека.

### 3 Применяем $\gamma$ -излучение в технике

$\gamma$ -излучение достаточно широко применяют в технике. С его помощью, например, осуществляют автоматический контроль уровня заполнения закрытых емкостей. Принцип действия соответствующих устройств заключается в следующем. На одну из стенок емкости с веществом направляют пучок  $\gamma$ -лучей, а с противоположной стороны измеряют интенсивность излучения. В местах, где емкость заполнена, излучение будет более слабым, чем в местах, где есть пустоты. Такой же метод используют для контроля вытекания жидкостей, измерения плотности веществ, для подсчета предметов и т. п.

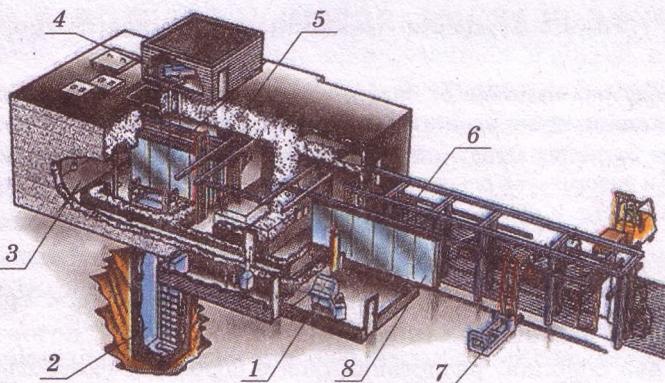
Особое значение в технике имеют *гамма-дефектоскопы*. С помощью этих приборов проверяют, например, качество сварных соединений. Если мастер, приваривая петли к воротам, допустил брак, спустя некоторое время петли отвалятся. Это, конечно, неприятно, но ситуацию можно исправить. А как быть, если брак был допущен при сварке элементов конструкции моста или ядерного реактора? Трагедия неминуема. Благодаря тому что  $\gamma$ -лучи по-разному поглощаются массивной сталью и сталью с пустотами, гамма-дефектоскоп «видит» трещины внутри металла, а следовательно, с его помощью можно обнаружить брак еще на стадии изготовления конструкции.

### 4 Уничтожаем микробов с помощью радиации

При определенных условиях радиационное излучение может быть полезным. Приведем примеры. Известно, что определенная доза облучения убивает организмы. Но ведь не все организмы полезны человеку. Так, медики постоянно работают над тем, чтобы избавиться от болезнетворных микробов. Вспомните: в больницах моют полы со специальными растворами, облучают помещение ультрафиолетом, обрабатывают медицинский инструмент и т. д. Такие процедуры называют дезинфекцией и стерилизацией.

Поставить процесс стерилизации на промышленную основу позволили особенности  $\gamma$ -излучения. Например, наиболее массовую медицинскую продукцию: шприцы, системы переливания крови и т. п.— сейчас изготавливают в виде изделий одноразового использования, которые перед отправкой потребителю тщательно стерилизуют с использованием  $\gamma$ -излучения.

Стерилизация широко используется для уничтожения определенных бактерий в продуктах питания. Процесс гниения в продуктах есть не что иное, как размножение некоторых бактерий. Если же эти



**Рис. 35.3.** Схематическое изображение промышленного центра стерилизации:  
 1 — панель управления; 2 — шахта для хранения источника излучения; 3 — отсек для облучения; 4 — устройство для подъема источника излучения; 5 — защита от излучения; 6 — конвейер; 7 — погрузчик; 8 — контейнеры с обрабатываемой продукцией

бактерии сразу уничтожить, то процесс гниения не начнется. Ежедневно такой очистительной обработке подвергаются десятки тонн продуктов, прежде всего мясо, птица, рыба.

Центры стерилизации представляют собой настоящие промышленные предприятия (рис. 35.3). Во-первых, они автоматизированы, чтобы свести к минимуму контакт персонала с радиационным излучением. Во-вторых, их производственные мощности позволяют в течение рабочего дня обрабатывать миллионы изделий. В-третьих, и это самое важное, доза излучения для стерилизации каждого конкретного изделия тщательно регламентирована согласно рекомендациям Международной организации здравоохранения. В качестве источника  $\gamma$ -излучения в центрах стерилизации чаще всего используют искусственно созданный изотоп Кобальта — Кобальт-60.

### Подводим итоги

С помощью ядерных реакций ученые научились создавать искусственные радиоактивные изотопы. Такие изотопы позволяют диагностировать некоторые заболевания по изменению интенсивности  $\gamma$ -излучения из исследуемых органов.

Технологию «просвечивания»  $\gamma$ -излучением используют в технике, в частности для автоматического контроля заполнения закрытых емкостей, диагностики трещин внутри металла и др.

$\gamma$ -излучение Кобальта-60 — искусственно созданного радиоактивного изотопа — широко используют для промышленной стерилизации одноразовых медицинских изделий, а также для увеличения сроков хранения продуктов питания.

### Контрольные вопросы

1. Кем и как было открыто явление искусственной радиоактивности? 2. Чем метод получения радиоактивных изотопов Э. Ферми отличается от метода супругов Жолио-Кюри? Каковы преимущества метода Э. Ферми? 3. Приведите примеры использования радиоактивных изотопов для диагностики заболеваний. 4. Приведите примеры использования  $\gamma$ -излучения для стерилизации. 5. Почему после обработки продуктов питания  $\gamma$ -излучением увеличивается срок их хранения?

## § 36\*. ЦЕПНАЯ ЯДЕРНАЯ РЕАКЦИЯ. ЯДЕРНЫЙ РЕАКТОР

?!

«...Предыдущие эпохи получили название от определенных материалов: был век каменный, бронзовый, железный. Но ни один из них не состоялся бы, если бы человек не знал огня. Настоящее богатство мира — его энергия», — писал Фредерик Содди в своей книге «Материя и энергия». XX век можно смело назвать атомным, ведь именно в этом веке человек открыл и начал укрощать энергию атомного ядра.

1

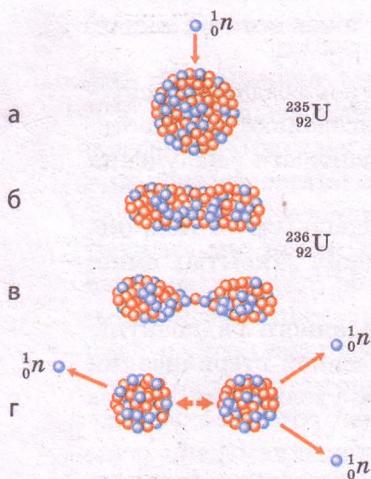
## Узнаём о цепной ядерной реакции

В 1939 г. было установлено, что в результате взаимодействия ядра Урана-235 и нейтрона образуется новое нестабильное ядро Урана ( ${}_{92}^{236}\text{U}$ ), которое сразу же распадается на два осколка, разлетающихся с огромной скоростью (рис. 36.1).

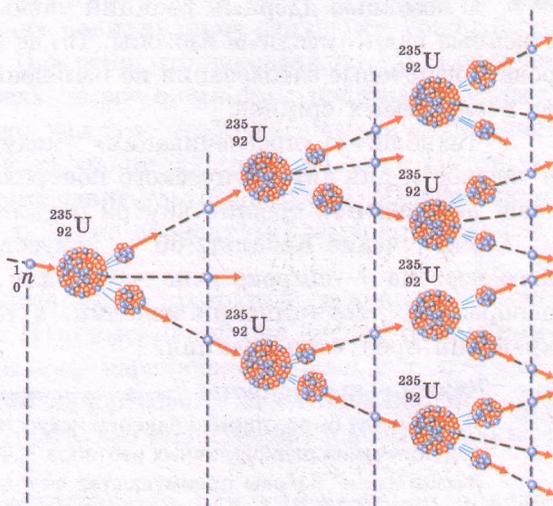
Во время деления каждого ядра Урана освобождается 2-3 нейтрона. Эти нейтроны в свою очередь могут вызвать деление других ядер Урана, которые тоже испускают нейтроны, способные вызвать деление ядер, и т. д. Таким образом количество разделившихся ядер быстро увеличивается (рис. 36.2). Этот процесс назвали *цепной ядерной реакцией*.

Очень важен тот факт, что *цепная ядерная реакция сопровождается выделением огромной энергии*.

При делении одного ядра Урана выделяется небольшая энергия — около  $3,2 \cdot 10^{11}$  Дж. Однако, если распадутся все ядра, содержащиеся, например, в одном моле урана ( $6,02 \cdot 10^{23}$  ядер), энергия, которая выделится, будет равна примерно  $19,2 \cdot 10^{12}$  Дж. Столько же энергии можно получить, например, при сжигании 450 т нефти!



**Рис. 36.1.** Схема деления ядра Урана. Поглощая нейтрон (а), ядро Урана возбуждается и приобретает вытянутую форму (б); постепенно растягиваясь (в), новое неустойчивое ядро распадается на два осколка (г)



**Рис. 36.2.** Схематическое изображение цепной ядерной реакции

## 2 Знакомимся с устройством ядерного реактора

Цепная реакция, происходящая в уране и некоторых других веществах, является основой для превращения ядерной энергии в другие виды энергии (тепловую, электрическую). Во время этой реакции непрерывно появляются новые и новые осколки ядер, летящие с большой скоростью. Если кусок урана опустить в холодную воду, то осколки будут тормозиться в воде и нагревать ее. В результате холодная вода станет горячей или даже превратится в пар. Именно так работает *ядерный реактор*, в котором происходит процесс превращения ядерной энергии в тепловую.

В ядерных реакторах (рис. 36.3) ядерное топливо (уран или плутоний) размещают внутри так называемых *тепловыделяющих элементов (ТВЭЛов)*. Продукты деления нагревают оболочки ТВЭЛов, и те передают тепловую энергию воде, которая в данном случае является *теплоносителем*. Полученная тепловая энергия превращается затем в электрическую (рис. 36.4) подобно тому, как это происходит на обычных тепловых электростанциях.

## 3 Вводим понятие «ядерный цикл»

Энергетическая эффективность ядерного топлива в тысячи раз выше, чем топлива традиционного (углеводного), однако использование ядерного топлива связано с определенными трудностями.

Чтобы получить килограмм топлива с низкой эффективностью, например, килограмм дров, достаточно сходить в лес. А вот чтобы получить килограмм ядерного топлива, необходимо создать целую промышленность. Кроме того, после сгорания дров пепел можно просто разбросать. А что делать с ТВЭЛами, отработавшими свой ресурс?

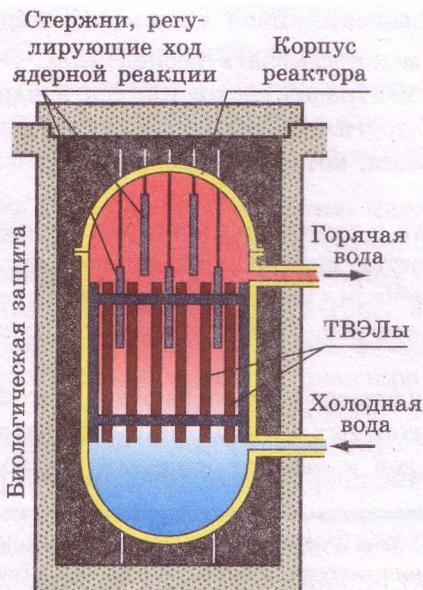


Рис. 36.3. Схема устройства ядерного реактора

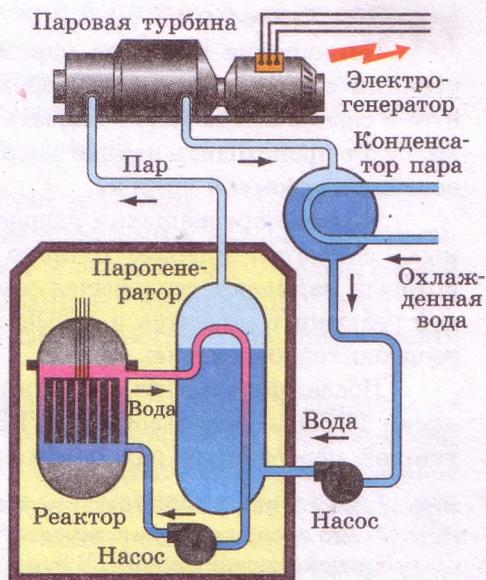


Рис. 36.4. Принцип работы атомной электростанции



Рис. 36.5. Схема ядерного цикла

На рис. 36.5 приведена схема ядерного цикла. *Ядерный цикл — это последовательность операций добычи ядерного топлива из руды, изготовления ТВЭЛов, использования ТВЭЛов на атомных электростанциях и дальнейшей переработки радиоактивных отходов.*

В Украине имеются запасы урановой руды, которых хватит не на одно десятилетие. Но чтобы переработать руду в ядерное топливо, изготовить ТВЭЛы, необходима специализированная промышленность (цепочка взаимосвязанных производств), которой Украина в полном объеме не имеет. Для украинских атомных электростанций ТВЭЛы производят в России.

После того как в ТВЭЛе распадется определенная часть ядерного топлива (физики говорят: «ТВЭЛ выгорел»), его заменяют новым. Отработавшие свой ресурс ТВЭЛы очень радиоактивны, поэтому их в специальных контейнерах размещают глубоко под землей и там они должны храниться сотни лет.

Зараженную зону вокруг Чернобыльской станции, казалось бы, можно использовать как хранилище отработанных ТВЭЛов, поскольку эта территория еще долго не будет пригодной для жизни людей. Более того, места для хранения ТВЭЛов можно передавать и другим странам. Однако нужна ли Украине «радиоактивная свалка»? Подумайте над аргументами «за» и «против».

### Подводим итоги

Поглощение нейтрона ядром Урана может вызвать распад ядра. Эта реакция сопровождается высвобождением нейтронов, находящихся в ядре, а те в свою очередь могут вызвать деление других ядер Урана. Следовательно, будет происходить цепная ядерная реакция, которая сопровождается выделением огромной энергии.

Процесс превращения ядерной энергии в тепловую происходит в ядерных реакторах. Ядерное топливо размещается внутри специального узла, который называют тепловыделяющим элементом (ТВЭЛОм). Продукты ядерной реакции тормозятся в ТВЭЛе и нагревают его. ТВЭЛ передает тепловую энергию теплоносителю.

Последовательность операций добычи ядерного топлива из руды, изготовления ТВЭЛов, использования ТВЭЛов на атомных электростанциях и дальнейшей переработки радиоактивных отходов называют ядерным циклом.

### Контрольные вопросы

1. Что происходит при взаимодействии ядра Урана и нейтрона?
2. Опишите механизм цепной ядерной реакции.
3. Какие превращения энергии происходят в ядерных реакторах?
4. Перечислите преимущества и недостатки использования ядерного топлива.
5. Какова последовательность операций ядерного цикла?
6. Как утилизируют радиоактивные отходы атомных электростанций?

## § 37. ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ АТОМНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ. ЕСТЕСТВЕННЫЙ РАДИАЦИОННЫЙ ФОН



Изучив § 34, вы узнали о механизмах влияния радиации на организмы, способах измерения радиации и приборах, предназначенных для этого. Вооружившись знаниями, некоторые из вас, не дождавшись лабораторной работы, возьмут в руки дозиметры и приступят к исследованиям. Не сомневайтесь: ваши дозиметры покажут наличие радиации. А хорошо это или плохо? Какого уровня радиации нужно бояться, а при каком можно «спать спокойно»? Ответы вы найдете в этом параграфе.

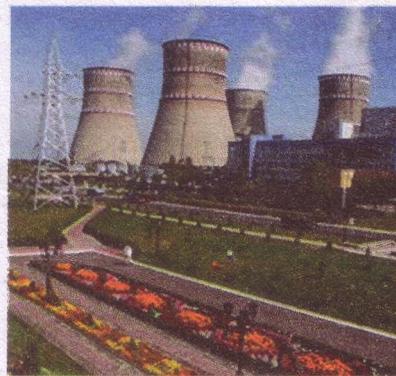


Рис. 37.1. Ровенская АЭС



### 1 Узнаём об атомной энергетике Украины

Украина принадлежит к тем странам мира, в которых благодаря наличию высоких технологий, а также высококвалифицированных инженеров и ученых создана и успешно развивается атомная энергетика. Сегодня в стране работают четыре атомные электростанции: Южноукраинская, Хмельницкая, Ровенская (рис. 37.1), Запорожская. На этих АЭС действуют 15 атомных энергоблоков, общая мощность которых составляет 13 580 МВт. На атомные электростанции приходится около половины электроэнергии, производимой в стране.

Обслуживаются АЭС многотысячными коллективами высококвалифицированных специалистов. Фактически вокруг каждой украинской АЭС вырос небольшой город.

Наличие в Украине источников электроэнергии, работающих на ядерном топливе, безусловно, смягчает растущий дефицит «обычных» энергоносителей: газа, нефти, каменного угля.



### 2 Вспоминаем историю Чернобыльской трагедии

26 апреля 1986 г. отмечено черными красками в истории Украины. Именно в этот день произошел взрыв на 4-м энергоблоке Чернобыльской атомной электростанции (рис. 37.2). О технических причинах этой трагедии вы узнаете из курса физики 11-го класса, когда подробнее изучите конструкцию ядерного реактора.

Взрыв привел к пожару на 4-м энергоблоке и катастрофическому выбросу радиоактивных веществ. Корпус реактора начал работать как огромная печь, вынося радиоактивный дым в атмосферу. Ветер разнес этот дым на сотни и тысячи километров (повышение уровня радиации было зафиксировано даже в Швеции). В ликвидации аварии на ЧАЭС принимали участие специалисты всех республик Советского Союза. Особую роль в уменьшении масштабов трагедии сыграли пожарные. Ценой своей жизни они предотвратили распространение пожара на другие реакторы Чернобыльской АЭС.



Рис. 37.2. Четвертый энергоблок Чернобыльской АЭС до взрыва (а); после взрыва (б)

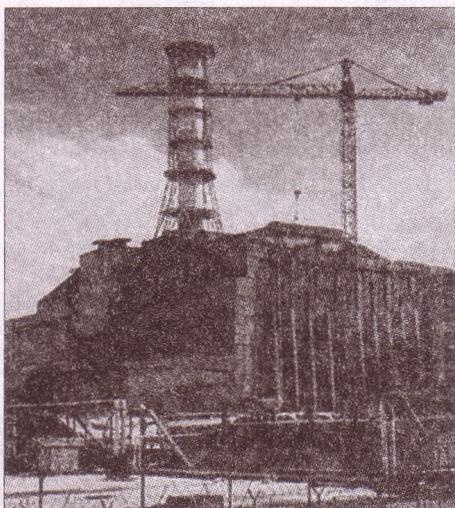


Рис. 37.3. Саркофаг над 4-м энергоблоком Чернобыльской АЭС

С катастрофой таких масштабов человечество раньше не сталкивалось, поэтому пожар не удалось остановить быстро. В результате целые регионы России, Украины, Беларуси оказались радиационно загрязненными, а из 30-километровой зоны вокруг станции было эвакуировано все население.

Позднее над разрушенным реактором был построен так называемый *саркофаг* — бетонная конструкция, защищающая от дальнейшего распространения радиационного загрязнения (рис. 37.3).

Сегодня все энергоблоки Чернобыльской АЭС выведены из эксплуатации; вместе с международными организациями Украина разрабатывает

и планирует построить еще один саркофаг, более совершенный. После трагедии прошло более 20 лет, однако последствия радиационного загрязнения, особенно в зоне ЧАЭС, все еще ощутимы.

3

**Узнаём о радиационном фоне**

Независимо от того, в каком уголке Земли живет человек, он постоянно испытывает влияние радиации, так как в любой местности всегда есть определенный *радиационный фон*.

**Радиационный фон** — ионизирующее излучение земного и космического происхождения.

Радиационный фон Земли имеет несколько составляющих: космическое излучение; излучение природных радионуклидов, содержащихся

в земной коре, воздухе и других объектах внешней среды; излучение искусственных радиоактивных изотопов. Излучение природных радионуклидов и космическое излучение создают *естественный радиационный фон*.

В результате деятельности человека естественный радиационный фон значительно увеличился — произошло *техногенное повышение естественного радиационного фона*. Пример такой деятельности — добыча полезных ископаемых (угля, минеральных удобрений, сырья для строительных материалов и т. д.), содержащих повышенное количество радионуклидов уранового и ториевого рядов. Например, повышенное содержание природных радиоактивных изотопов присутствует в граните. А дальше строим цепочку. Гранитный щебень является составляющей частью бетона, из которого сооружают дома. Значит, повышенный радиационный фон нужно искать прежде всего внутри домов из бетона, особенно в закрытых непрветриваемых помещениях (концентрация радона в закрытых помещениях в среднем в восемь раз выше, чем снаружи).

Из табл. 1 видим, что для основной массы населения наиболее опасные источники радиации — это совсем не те, которые обычно на слуху. Наибольшую дозу человек получает от природных источников радиации и во время медицинских обследований, а вот доля радиации, связанной с развитием атомной энергетики незначительна.

Таблица 1

*Средние эквивалентные дозы ионизирующего излучения, получаемые человеком в течение года от некоторых источников радиации*

Источники радиации	Средняя эквивалентная доза $H$ , мбэр
Космическое излучение	35
Внешнее естественное облучение	35
Внутреннее естественное облучение	135
Строительные материалы	140
Медицинские обследования	140
Телевизоры и мониторы	0,1
Ядерные испытания	2,5
Атомная энергетика	0,2

#### 4 Изучаем влияние радиационного фона на здоровье человека

Жизнь на Земле возникла и развивается в условиях постоянного действия радиации. Поэтому, скорее всего, естественный радиационный фон существенно не влияет на жизнь и здоровье людей. На сегодня радиобиологические исследования показывают, что при дозах, соответствующих естественному радиационному фону 1-2 мЗв в год, действие радиации безопасно для человека. Однако даже незначительное превышение уровня радиации может привести к генетическим дефектам, которые, возможно,

проявятся у детей и внуков облученного человека. При больших дозах радиация вызывает серьезные поражения тканей. Например, полученная в течение нескольких часов поглощенная доза ионизирующего облучения 1 Зв вызывает опасные изменения в крови, а доза 3-5 Зв в 50% случаев приводит к смерти.

Ученые считают, что уровень естественного радиационного фона должен быть не выше  $25 \frac{\text{мкР}}{\text{ч}}$ . Если он ниже этой величины — прекрасно, если же выше — нужно бить тревогу.

Следует также обращать внимание на пищу как на возможный источник внутреннего облучения. Для защиты населения от внутреннего облучения радиоактивными веществами в Украине регламентирована максимально допустимая удельная активность радионуклидов Цезия-137 и Стронция-90, содержащихся в продуктах питания и питьевой воде (табл. 2).

Таблица 2

*Значения допустимой удельной активности радионуклидов Цезия-137, Стронция-90 в продуктах питания и питьевой воде*

Продукты	Допустимая удельная активность,	
	Бк Бк	Кг А
	Цезий-137	Стронций-90
Хлеб, хлебобродуцкты	20	5
Овощи (листовые, корнеплоды)	40	20
Фрукты	70	10
Мясо и мясные продукты	220	20
Рыба и рыбные продукты	150	35
Молоко и молочные продукты	100	20
Яйца (шт.)	6	2
Вода питьевая	2	2
Детское питание	40	5

### **Подводим итоги**

В настоящее время в Украине работают четыре атомные электростанции общей мощностью 13 580 МВт. На них приходится около половины вырабатываемой в стране электроэнергии.

26 апреля 1986 г. произошла Чернобыльская катастрофа — взрыв на 4-м энергоблоке Чернобыльской АЭС. Взрыв вызвал крупнейшее в мире радиационное заражение местности, в частности больших территорий в России, Украине и Беларуси. Последствия этого заражения ощущаются до сих пор.

На всей поверхности Земли регистрируется определенный уровень радиации — естественный радиационный фон. Радиационный фон — это ионизирующее излучение земного и космического происхождения.

Радиационный фон Земли состоит из следующих компонентов: космическое излучение; излучение природных радионуклидов; излучение искусственных радиоактивных изотопов. Излучение природных радионуклидов и космическое излучение создают естественный радиационный фон.

В результате деятельности человека естественный радиационный фон ежегодно увеличивается — происходит техногенное повышение естественного радиационного фона. Допустимый уровень естественного радиационного фона равен  $25 \frac{\text{мкР}}{\text{ч}}$ .

В связи с возможностью проникновения радиоактивных веществ, в частности Цезия-137 и Стронция-90, в организм человека с пищей в Украине нормативно установлено предельное содержание этих элементов в пищевых продуктах и питьевой воде.



### Контрольные вопросы

1. Перечислите атомные электростанции, которые в настоящее время работают в Украине. Какова их общая мощность? 2. Почему взрыв на ЧАЭС вызвал крупнейшее в мире радиационное заражение местности? 3. Назовите причины, по которым вы, независимо от того, где живете, постоянно испытываете влияние радиации. 4. Что такое естественный радиационный фон? Из каких компонентов он состоит? 5. Как избежать дополнительного радиоактивного облучения? 6. Какой техногенный фактор более всего влияет на повышение радиационного фона?

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 11



**Тема.** Изучение строения бытового дозиметра и Проведение дозиметрических измерений.

**Цель:** изучить устройство бытового дозиметра; научиться проводить дозиметрические измерения.

**Оборудование:** дозиметр.

### УКАЗАНИЯ К РАБОТЕ



#### Подготовка к эксперименту

Прежде чем приступить к выполнению работы, вспомните:

- 1) свойства радиоактивного излучения;
- 2) устройство и принцип действия счетчика Гейгера — Мюллера.



#### Теоретические сведения

1. *Дозиметр* — прибор для измерения дозы и мощности дозы ионизирующего излучения, полученного прибором (и тем, кто им пользуется) за некоторый промежуток времени, — например, за время пребывания на некоторой территории или в течение рабочей смены.

Радиометр — прибор для измерения активности радионуклида в источнике излучения или образце (в объеме жидкости, газа, аэрозоля, на загрязненных поверхностях).

Основной составляющей дозиметра (и радиометра) является *детектор* — устройство, служащее для регистрации ионизирующего излучения. В случае попадания ионизирующего излучения на детектор возникают электрические сигналы (импульсы тока или напряжения), которые считываются измерительным устройством. Данные о дозе излучения регистрируются выходным устройством (электромеханическим счетчиком, звуковым или световым сигнализатором и т. д.). Обычно бытовые дозиметры работают и в режиме радиометра. Типичная блок-схема дозиметра (радиометра) приведена на рис. 1.



Рис. 1

Масса бытовых дозиметров — от нескольких десятков граммов до 400 г, а размер позволяет носить их в кармане. Некоторые современные модели можно носить на запястье, как часы. Время непрерывной работы от одной батареи — от нескольких суток до нескольких месяцев. Диапазон измерения бытовых дозиметров, как правило, составляет  $0,1-99,99 \frac{\text{мкЗв}}{\text{ч}}$ .

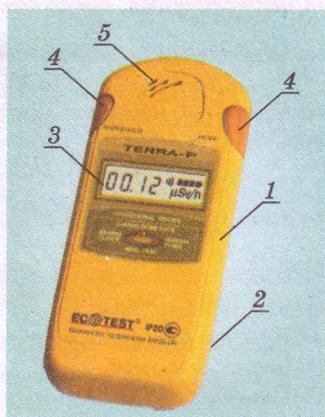


Рис. 2

2. Устройство современного дозиметра рассмотрим на примере бытового дозиметра-радиометра МКС-05 ТЕРРА-П (рис. 2).

Прибор предназначен для измерения эквивалентной дозы и мощности эквивалентной дозы  $\gamma$ -излучения, а также для оценки поверхностного загрязнения  $\beta$ -радионуклидами.

Прибор содержит детектор  $\gamma$ - и  $\beta$ -излучений (счетчик Гейгера — Мюллера), печатную плату с электронными компонентами и элементы питания.

Корпус прибора состоит из верхней (1) и нижней (2) крышек. На верхней крышке расположена панель индикации (3), две клавиши управления работой дозиметра (4), громкоговоритель (5). На нижней крышке прибора размещен отсек для элементов питания, а также окно с пометкой «+» для регистрации поверхностной загрязненности  $\beta$ -радионуклидами. Там же приведена информационная таблица.

#### Порядок работы с дозиметром

**1. Включение дозиметра.** Для включения дозиметра следует нажать и в течение секунды удерживать клавишу РЕЖИМ. После включения дозиметр автоматически переходит в режим измерения  $\gamma$ -излучения.

**2. Измерение мощности эквивалентной дозы у-излучения.** Дозиметр следует расположить так, чтобы пометка «+» на нижней стороне корпуса находилась над обследуемым объектом. Об уровне радиации свидетельствует частота звуковых сигналов (каждый звуковой сигнал – это зафиксированный квант у-излучения).

Числовые результаты измерения высвечиваются на цифровом дисплее. Если радиационный уровень резко изменится, цифры на дисплее некоторое время будут мигать. Это значит, что дозиметр определяет среднее значение дозы излучения.

**3. Оценка поверхностного загрязнения  $\beta$ -радионуклидами.** Дозиметр должен находиться в режиме измерения  $\gamma$ -излучения. Для оценки загрязнения Р-радионуклидами следует провести два измерения: первое – с закрытым окном на нижней крышке дозиметра; второе – с открытым окном. Разность результатов и есть показатель загрязнения р-радионуклидами. Если разность равна нулю, то это значит, что поверхность не загрязнена р-радионуклидами.

**4. Измерение эквивалентной дозы у-излучения.** Чтобы узнать общую дозу у-излучения, накопленного исследователем с момента включения дозиметра, следует нажать клавишу РЕЖИМ. Чтобы показания были точными, дозиметр нужно держать при себе все время. Чтобы обнулить показания, дозиметр следует выключить.

**5. Отключение дозиметра.** Для отключения дозиметра необходимо нажать и в течение 4 с удерживать клавишу РЕЖИМ.

### Эксперимент

1. Ознакомьтесь с устройством и принципом действия бытового дозиметра-радиометра МКС-05 ТЕРРА-П. Если вы будете проводить измерения с помощью дозиметра другого типа, опишите его устройство и принцип действия.
2. Проведите измерения в кабинетах физики и информатики. Заполните таблицу.

Место проведения исследования	Измеренная величина	
	Название	Значение

### Анализ результатов эксперимента

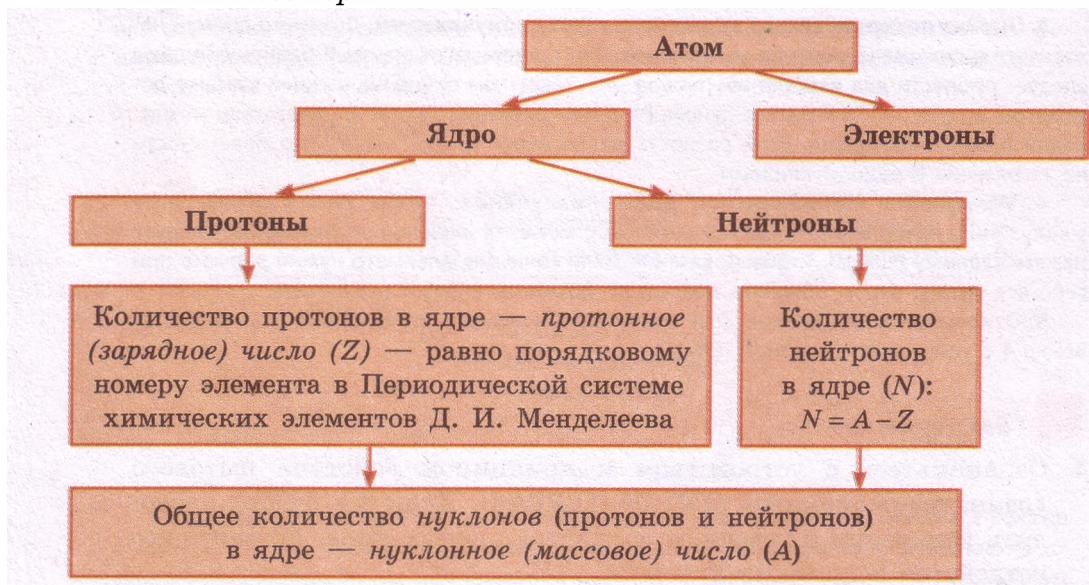
Сделайте вывод, в котором укажите, что измеряют бытовыми дозиметрами; проанализируйте результаты проведенных вами дозиметрических измерений.

### Дополнительные задания

1. Какие дозы облучения вызывают повреждения в организме человека?
2. Назовите пути проникновения радиации в организм человека. Как защитить-ся от негативного влияния радиации?

## ПОДВОДИМ ИТОГИ РАЗДЕЛА 4 «АТОМНОЕ ЯДРО. ЯДЕРНАЯ ЭНЕРГЕТИКА»

1. В процессе изучения раздела 4 вы вспомнили *строение атома и атомного ядра*.



2. Вы узнали, как было открыто явление радиоактивности, и выяснили, что *радиоактивностью называют способность ядер некоторых химических элементов произвольно превращаться в ядра других элементов с излучением микрочастиц*.
3. Вы познакомились с *тремя видами радиоактивного излучения* и выяснили природу каждого из них.

Радиоактивное излучение			
Вид	Природа	Заряд частицы	Скорость
$\alpha$ -излучение	Ядра атомов Гелия	$2 e $	Около 10 000 $\frac{\text{км}}{\text{с}}$
$\beta$ -излучение	Электроны	$e$	Около 300 000 $\frac{\text{км}}{\text{с}}$
$\gamma$ -излучение	Электромагнитное излучение	Отсутствует	Равна скорости света — 300 000 $\frac{\text{км}}{\text{с}}$

4. Вы узнали, что элементы, в ядрах которых происходят радиоактивные преобразования, называют *радиоактивными элементами* и что все природные радиоактивные элементы можно распределить в *четыре радиоактивных ряда*.

5. Вы выяснили, что в процессе радиоактивного распада элемента образуется новый элемент, и познакомились с *правилами смещения*.

### ПРАВИЛА СМЕЩЕНИЯ

При излучении ядром элемента  $\alpha$ -частицы образуется ядро другого элемента, порядковый номер которого в периодической таблице на 2 единицы меньше порядкового номера исходного элемента

При излучении ядром элемента  $\beta$ -частицы образуется ядро другого элемента, порядковый номер которого в периодической таблице на 1 единицу больше порядкового номера исходного элемента

6. Вы познакомились с *физическими величинами*, характеризующими радиоактивное излучение, радионуклиды и радионуклидные образцы.

Физические величины	Формула для вычисления	Единица		Соотношение единиц
		в СИ	внесистемная	
Постоянная радиоактивного распада	$\lambda = \frac{0,69}{T}$	$\frac{1}{с}$	—	—
Активность образца	$A = \lambda N$	беккерель (Бк)	кюри (Ки)	1 Ки = $3,7 \cdot 10^{10}$ Бк
Доза ионизирующего излучения: поглощенная	$D = \frac{W}{m}$	грей (Гр)	рад (рад)	1 Гр = 100 рад
экспозиционная	$D_{\text{экс}} = \frac{q}{m}$	$\frac{\text{Кл}}{\text{кг}}$	рентген (Р)	1 Р = $2,58 \cdot 10^{-4} \frac{\text{Кл}}{\text{кг}}$
эквивалентная	$H = K \cdot D$	зиверт (Зв)	бэр (бэр)	1 Зв = 100 бэр
Мощность экспозиционной дозы ионизирующего излучения	$P_{\text{экс}} = \frac{D_{\text{экс}}}{t}$	$\frac{\text{Кл}}{\text{кг} \cdot \text{с}}$	$\frac{\text{Р}}{\text{ч}}$	$1 \frac{\text{Р}}{\text{ч}} = 7,2 \cdot 10^{-8} \frac{\text{Кл}}{\text{кг} \cdot \text{с}}$

7. Вы оценили преимущества и риски использования ядерного топлива, узнали о развитии ядерной энергетики в Украине.
8. Вы убедились, что радиоактивное излучение влияет на организм человека, узнали о *естественном радиационном фоне* и *техногенных факторах*, обуславливающих его повышение.

## ЗАДАНИЯ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ К РАЗДЕЛУ 4 «АТОМНОЕ ЯДРО. ЯДЕРНАЯ ЭНЕРГЕТИКА»

*Задания 1-7 содержат только один правильный ответ.*

1. (1 балл) В ядре атома Бериллия 4 протона и 5 нейтронов. Сколько электронов в атоме Бериллия?  
а) 1 электрон; б) 4 электрона; **в) 5 электрона;** г) 9 электронов.
2. (1 балл) В ядре химического элемента 33 протона и 43 нейтрона. Определите этот элемент.  
а) Технеций; б) Арсен; **в) Уран;** г) Аурум.
3. (1 балл) Сколько протонов и сколько нейтронов содержится в ядре атома Полония ( ${}_{84}^{210}\text{Po}$ )?  
а) 84 протона и 84 нейтрона;  
б) 84 протона и 210 нейтронов;  
**в) 210 протонов и 84 нейтрона;**  
г) 84 протона и 126 нейтронов.
4. (1 балл) После опытов с  $\alpha$ -частицами Э. Резерфорд:  
а) предложил нейтронно-протонную модель атомного ядра;  
б) объяснил явление радиоактивности;  
**в) объяснил механизм цепной ядерной реакции;**  
г) предложил ядерную модель строения атома.
5. (1 балл)  $\beta$ -частицы — это:  
а) ядра Гелия;  
б) быстрые электроны;  
**в) медленные нейтроны;**  
г) частицы электромагнитного излучения.
6. (1 балл) При  $\alpha$ -распаде ядра атома некоторого элемента получают ядро атома элемента, который в периодической таблице расположен от исходного элемента:  
а) на две клетки левее;  
б) на две клетки правее;  
**в) на одну клетку правее;**  
г) на одну клетку левее.
7. (1 балл) При  $\beta$ -распаде ядра атома некоторого элемента получают ядро атома элемента, который в периодической таблице расположен от исходного элемента:  
**а) на две клетки левее;**  
б) на две клетки правее;  
**в) на одну клетку правее;**  
г) на одну клетку левее.

8. (2 балла) Какую экспозиционную дозу ионизирующего излучения получит человек в течение суток, если естественный радиационный фон составляет  $25 \frac{\text{мкР}}{\text{ч}}$  ?
9. (2 балла) Определите активность радионуклидного образца, если каждый час в нем распадается  $7,2 \cdot 10^{10}$  ядер. Активность образца считать неизменной.
10. (2 балла) Если находиться на расстоянии 2,5 м от работающего цветного телевизора в течение 4 ч, можно получить эквивалентную дозу ионизирующего излучения 0,01 мкЗв. Вычислите мощность ионизирующего излучения на таком расстоянии.
11. (2 балла) Во время природного радиоактивного распада Нептуния-237 из его ядра испускается  $\alpha$ -частица. В ядро какого элемента превращается при этом ядро атома Нептуния-237? Запишите уравнение реакции.
12. (2 балла) Во время природного радиоактивного распада Плюмбума-210 из его ядра испускается  $\beta$ -частица. В ядро какого элемента превращается при этом ядро атома Плюмбума-210? Запишите уравнение реакции.
13. (3 балла) Средняя доза излучения, получаемая исследователем, который работает с рентгеновской установкой, равна 7 мГр в 1 ч. Безопасно ли работать с этой установкой в течение 200 дней в год по 6 ч, если предельно допустимая доза облучения равна 50 мГр в год? Известно, что естественный радиационный фон 2 мГр в год.
14. (4 балла) На данный момент в радионуклидном образце содержится  $2 \cdot 10^{-10}$  моль радия. Сколько ядер Радия распадется за следующую секунду? Постоянная радиоактивного распада для Радия  $\lambda = 1,37 \cdot 10^{-4} \frac{1}{\text{с}}$

Сверьте ваши ответы на вопросы с приведенными в конце учебника. Отметьте вопросы, на которые вы ответили правильно, и подсчитайте сумму баллов. Потом эту сумму разделите на два. Полученное число будет соответствовать уровню ваших учебных достижений.

## ОТ ЭКСПЕРИМЕНТОВ РЕЗЕРФОРДА ДО ЛЕЧЕНИЯ БОЛЕЗНЕЙ

Большинство жителей нашей страны, помня об аварии на Чернобыльской АЭС, с большим подозрением относятся к слову «радиация». Завершив изучение раздела 4, вы узнали, что радиационное излучение – это, конечно, опасно. Но, если придерживаться правил безопасности, контролировать уровень радиационного фона, своевременно принимать необходимые меры, то опасность можно уменьшить.

А может ли радиация быть полезной для живого организма? Оказывается, при определенных заболеваниях для сохранения жизни пациента медики вынуждены фактически причинять ему вред. Так, наиболее распространенной формой радиационной терапии является облучение пациента  $\gamma$ -лучами, проникающая способность которых достаточно высока (рис. 1, 2). Однако при облучении больного органа облучаются и здоровые части тела.

Естественным было стремление физиков решить эту проблему. Первое решение – применение другого вида излучения. Оказалось, что ускоренные до больших скоростей протоны имеют определенные преимущества как перед  $\gamma$ -, так и перед  $\alpha$ -излучением. Известно, что протоны максимально повреждают места вблизи своей остановки, а на других участках траектории уровень повреждений значительно ниже (рис. 3). Изменяя энергию протонов, можно изменять места их остановки так, чтобы эти места приходились на больные клетки. Тогда, как видно из рис. 3, уровень повреждения здоровых тканей будет существенно ниже, чем больных. При этом доза облучения участка «до пика»

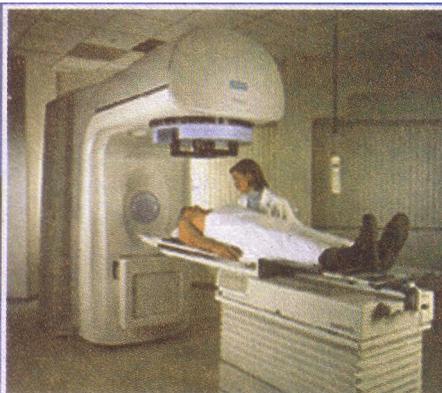


Рис. 1. Оборудование для радиационной терапии



Рис. 2. Во время процедур медицинский персонал находится в помещениях, защищенных от радиации

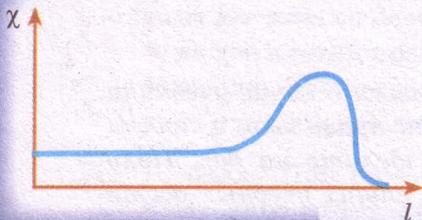


Рис. 3. Схематическое изображение зависимости степени повреждения тканей ( $\chi$ ) от глубины пробега ( $l$ ) протонов

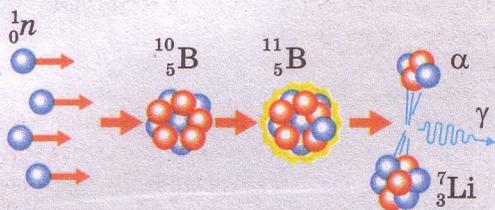


Рис. 4. Схема ядерных реакций в случае попадания нейтрона в ядро Бора

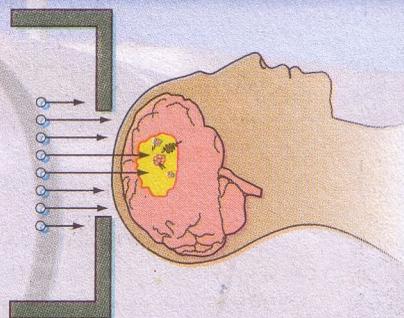


Рис. 5. Схема проведения БНЗТ при онкозаболевании мозга

в десятки раз ниже, а «после пика» вообще равна нулю. К сожалению, высокая стоимость использования ускорителя протонов не позволила сделать этот метод массовым.

Еще один способ облучения больных тканей — *бор-нейтрон-ски захватная терапия (БНЗТ)* — был предложен сравнительно недавно.

Если воспользоваться «военной» терминологией, то облучение  $\gamma$ -лучами можно сравнить с бомбардировкой больших районов, а облучение протонами — с обстрелом неприятеля ракетами, когда точность попадания существенно повышается. Наконец БНЗТ можно сравнить с «агентом 007», который безошибочно уничтожает только противника.

Идея БНЗТ состоит в следующем. Ключевым в терапии является *ядро атома Бора*. Именно оно, как в гениальный вратарь, умеет «ловить»

нейтроны намного лучше, чем любые другие ядра. Поэтому при облучении тканей нейтронами ядро Бора сумеет «поймать» нейтрон, даже если их будет пролетать очень мало. Ядра же других элементов практически не заметят этого облучения, то есть вредная доза облучения нейтронами будет сведена к минимуму.

После того как ядро Бора «поймает» нейтрон, оно претерпевает радиоактивные превращения и распадается на ядро Лития и  $\alpha$ -частицу (рис. 4), имеющие кинетическую энергию, которая может разрушить лишь одну клетку. Следовательно, если доставить ядро Бора непосредственно в большую клетку, то после «взрыва» только она и будет разрушена (рис. 5). Доставку ядер Бора осуществляют специальные типы лекарственных препаратов.



Вы изучаете физику три года и уже познакомились с основными разделами этой науки – механикой, оптикой, электричеством и др., узнали о том, что в физике называют законами; выяснили, как происходит изучение физических явлений. Мы постоянно напоминали вам о том, каким образом достижения ученых-физиков воплощались в приборах, машинах, оборудовании, значительно улучшая уровень жизни людей.

Однако бурное развитие техники имеет и отрицательные последствия. Это и глобальное потепление, вызванное наличием в атмосфере чрезмерного количества двуокси углерода, и использование достижений науки против человечества (терроризм), и большие техногенные аварии, например Чернобыльская катастрофа.

На завершающем занятии курса мы обсудим вопрос взаимосвязи физики и общественного развития.

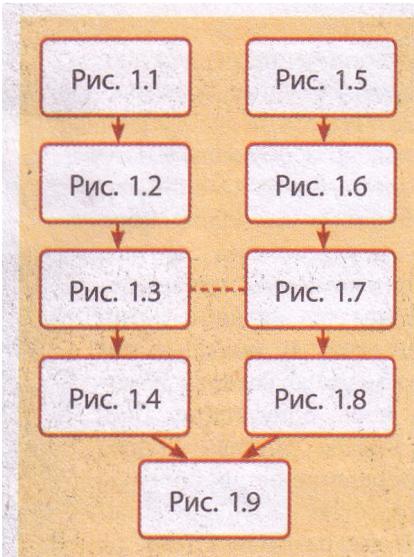
## 1 Обобщаем знания о физической картине мира

Физическая наука весь период своего существования — со времен древнегреческого философа Аристотеля до наших дней — неразрывно связана не только с изучением конкретных явлений, но и с созданием целостной картины мира. О такой взаимосвязи уже шла речь, когда вы еще только начинали изучать физику. Сегодня продолжим рассказ.

Рис. 1 дает представление об эволюции знаний об окружающем мире. В *левой части рис. 1* (сверху вниз) показана эволюция знаний о *макро- и мегамирах*. Сначала ученые считали Землю плоской и окруженной гигантской хрустальной сферой (рис. 1.1). В средние века благодаря учениям *Галилео Галилея* и *Николая Коперника* была сформирована *гелиоцентрическая картина мира* (рис. 1.2). В начале XX в. ученые стали

изучать физические процессы, происходящие в звездах. Оказалось, что «свечение» этих гигантских скоплений связано со структурой и свойствами наименьших из известных к тому времени объектов — атомных ядер (рис. 1.3). С помощью сверхмощных телескопов удалось «увидеть» процессы в далеких галактиках (рис. 1.4). Самая большая тайна Вселенной сегодня — это природа так называемой *«темной материи»*. С целью ее изучения ученые создали прибор для исследования элементарных частиц (см. рис. 1.9).

*Правая часть рис. 1* дает возможность понять, как изменялись воззрения ученых в отношении *микромира*. Первоначальные представления о строении атома были умозрительными и основывались только на логических рассуждениях философов (рис. 1.5). В XIX в. появились косвенные доказательства атомарного строения материи, основанные,



**Рис. 1.** Этапы познания макромира, мегамира (слева) и микромира (справа)



**Рис. 1.1.** Древние представления об устройстве мира (гравюра)

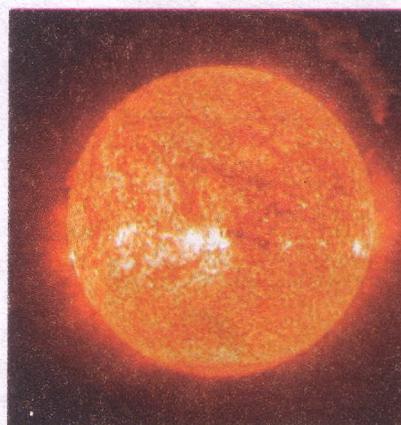


**Рис. 1.2.** Структура Солнечной системы

в частности, на уникальных (но косвенных) экспериментах (рис. 1.6). Только в конце XIX — начале XX в. появились неопровержимые доказательства атомно-ядерной структуры материи (рис. 1.7). В конце прошлого столетия были созданы сверхчувствительные микроскопы (туннельный, автоэлектронный, автоионный, электронный), благодаря которым удалось сфотографировать отдельные атомы (рис. 1.8). Для изучения более «тонкой» структуры материи — элементарных частиц — были созданы гигантские ускорители, представляющие собой кольцо диаметром в несколько километров. Самый мощный из ускорителей — адронный коллайдер — был запущен в 2008 г. усилиями ученых многих стран (рис. 1.9).

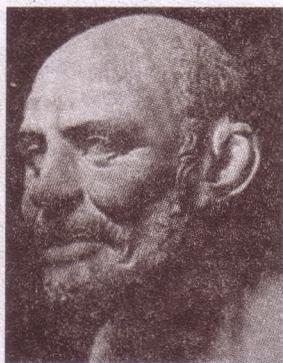
Обратите внимание, что уже на третьем уровне (см. рис. 1) ученые увидели *связь между мега- и микромирами* (она показана *штриховой линией* между блоками схемы). Сегодня ученые уверены, что многие загадки Вселенной будут разгаданы после получения сведений о свойствах элементарных частиц. Следовательно, две независимые

**Рис. 1.4.** С помощью космического телескопа удалось сфотографировать Туманность Орла — скопление, находящееся на расстоянии 7000 световых лет от Земли

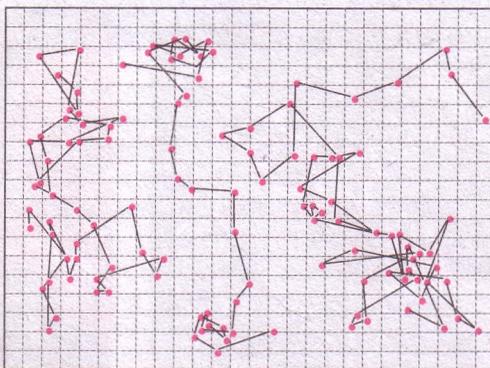


**Рис. 1.3.** Процессы, обеспечивающие «свечение» Солнца, обусловлены ядерными реакциями





**Рис. 1.5.** Демокрит (род. ок. 460–470 гг. до н. э.) — древнегреческий философ, главным достижением которого считают развитие учения об атоме как неделимой частице вещества. Демокрит описывал мир как систему атомов в пустоте



**Рис. 1.6.** Копия рисунка французского физика Жана Батиста Перрена (1870–1942), на котором воспроизведены результаты наблюдения в микроскоп броуновской частицы — мельчайшей частицы вещества, зависшей в жидкости. Броуновское движение частиц, вызванное хаотичными ударами по ним молекул, подтверждает атомарное строение материи

области изучения окружающего мира наконец сошлись в одной точке.

## 2 Подытоживаем роль физики в научно-техническом прогрессе

Научно-технический прогресс — это единое, взаимообусловленное, постепенное развитие науки и техники.

В курсе физики 9-го класса, как и раньше, мы неоднократно обращали ваше внимание на тесную связь между физикой и техникой. На протяжении почти 25-векового существования физической науки результаты ее исследований были направлены не только на объяснение природы мироздания. В своих работах ученые-физики (например, древние греки, и прежде всего *Архимед*) постоянно пытались научно обосновать применение тех или иных технических устройств или приемов.

В XIX в. появилась новая тенденция: физические законы стали не только использоваться для объяснения (и улучшения) уже придуманных инженерами конструкций, но и быть «пищей для ума» при создании новых направлений развития техники. Приведем несколько примеров.

До XIX в. электричество служило в основном для салонных развлечений (рис. 2). Примерно в середине XIX в., после установления физических законов, связанных с распространением и действием электрического тока (закона Ома, закона электромагнитной индукции и др.), начинают интенсивно развиваться проводная телеграфная связь, а потом и теле-



**Рис. 1.7.** Следы  $\alpha$ -частиц в устройстве для регистрации заряженных частиц (камере Вильсона)

фонная. Изобретение и широкое распространение радио стали возможными после создания *теории электромагнитного поля Максвелла*.

В XIX в. установление новых физических законов происходило большей частью случайно. Соответственно появление связанных с этими законами новых технических решений шло самотеком, и лишь в XX в. этот процесс был определенным образом упорядочен. Целый ряд проектов (самый известный из них — так называемый «*Урановый проект*» — программа работ по созданию атомного оружия) осуществлялись по прямому заказу правительств стран. В рамках каждого проекта проводились научные исследования, по результатам которых выполнялись инженерные разработки (расчеты, изготовление конструкций и т. д.).

Обратите внимание: с одной стороны, научные исследования — это всегда не известный заранее результат, а с другой — проект предусматривает определенные сроки выполнения. И именно успешное объединение творческих научных исследований и прогнозируемых по срокам и затратам инженерных работ стало организационной основой того, что со временем назвали научно-технической революцией.

Современный этап развития физической науки характеризуется ее тесным сотрудничеством с производством и бизнесом. Для решения каждого нового технического задания привлекаются не только инженеры, технологи, но и ученые. Пример такого сотрудничества — миниатюризация мобильных телефонов.

Физика оказала влияние также на развитие других наук. Прежде всего это связано с глубоким пониманием структуры материи, основанным на теоретическом описании микромира с помощью квантовой механики. Применение этой теории для решения разнообразных задач химии и биологии позволило за короткий срок достичь существенного прогресса в развитии этих областей знаний.

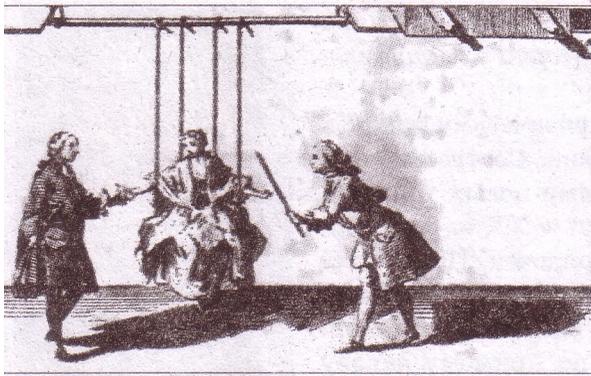
Практически все современные измерительные приборы и методы измерения,

**Рис. 1.9.** Большой адронный коллайдер построен с привлечением специалистов 80 стран мира. Частицы разгоняют в вакууме внутри трубы, имеющей вид тора («бублика») длиной 26 км и размещенной на территории двух стран на глубине 100 м



**Рис. 1.8.** Электронный микроскоп, используемый для исследования микроструктуры материи





**Рис. 2.** Опыт, демонстрирующий существование проводников и диэлектриков (гравюра середины XVIII в.). Женщина сидит на качелях, подвешенных на шелковых нитях. Мужчина, стоящий справа, приближает наэлектризованную стеклянную палочку к руке женщины, а тот, что стоит слева, прикасается к ее второй руке — появляется искра

применяемые в астрономии, медицине, археологии и т. д., «выросли» из соответствующих законов физики.

3

### Изучаем влияние результатов физических исследований на окружающий мир

Отличительной особенностью последних лет является создание за короткий срок материальных продуктов, применение которых оказывает влияние на жизнь и здоровье целых наций. Примером может быть вышеупомянутый «Урановый проект»: правительства нескольких стран (Советского Союза, Франции, Китая, Великобритании) сосредоточили гигантские ресурсы, чтобы осуществить его в сжатые сроки. В процессе выполнения поставленной задачи сначала ведущие ученые (*Р. Оппенгеймер, А. Д. Сахаров*), а со временем и все человечество задумались о последствиях создания смертоносного оружия. В результате были подписаны международные соглашения об ограничении подобных исследований и создана международная организация МАГАТЭ, одной из задач которой является контроль за распространением ядерных технологий.

Мирное использование атомной энергии — это прежде всего создание АЭС и обеспечение их работы. Формальные показатели влияния АЭС на окружающую среду незначительны: при нормальной работе радиационные выбросы на них даже ниже, чем на тепловых электростанциях, работающих на каменном угле. Но все меняется, если происходит внештатная ситуация. Чернобыльская катастрофа показала, какими серьезными могут быть последствия аварии на АЭС. Опасные по конструкции реакторы ЧАЭС были остановлены, несмотря на большие экономические убытки.

Многие, наверное, считают, что такие глобальные проблемы их почти не касаются: на АЭС работают специалисты, а Чернобыльская авария — это уже далекое прошлое. Однако приведем один простой пример. Сегодня очень распространены мобильные телефоны. И все вы слышали, что излучение, исходящее от них, может быть опасным\*. Вашему поколению, несомненно, придется решить эту проблему.

\* В разделе 1 говорилось о вредном влиянии электрических полей. Электромагнитные волны, излучаемые мобильным телефоном, при определенных условиях могут оказывать негативное влияние на живые организмы.

#### 4 Подводим итоги

Почти за 2500 лет своего существования физическая наука смогла развить общее представление о природе, объединяющее знания людей о мега-, макро- и микромирах. Значительные усилия ученых-физиков были направлены на практическое применение результатов своих исследований.

Начиная с XIX в. физики стали не только объяснять известные факты, но и устанавливать новые законы и, опираясь на них, развивать новые области техники.

Особенностью сегодняшнего времени являются «заказы на разработку»: научные исследования осуществляются специально для решения конкретной практической задачи.

Результаты, полученные учеными-физиками, используются в других науках, в частности в биологии и химии. Физические приборы и методы исследований широко применяются в науке, промышленности, сельском хозяйстве.

Отличительная особенность последних лет — создание в сжатые сроки материальных продуктов, применение которых влияет на жизнь и здоровье целых наций. Наряду с несомненными преимуществами эти продукты, как правило, не лишены недостатков. Например, удобство общения с помощью миниатюрного мобильного телефона сочетается с возможной опасностью от его излучения.

#### Контрольные вопросы

1. С помощью каких приборов изучают мегамир? 2. Какие методы и приборы используют физики для изучения свойств атомов? 3. Приведите доказательства того, что знание закона Ома необходимо инженерам. 4. Приведите «плюсы» и «минусы» воплощения крупных научных проектов.

#### Список рекомендованных рефератов

1. Новые конструкционные материалы: сверхпрочные, сверхлегкие, коррозионностойкие.
2. Полупроводниковые материалы для солнечных батарей.
3. Оптоволоконные линии связи: принцип действия и используемые материалы.
4. Принцип работы плазменного экрана.
5. Термоядерные установки для производства энергии.
6. Чернобыльская катастрофа. Хроника трагедии и героизма.
7. Безопасность атомных реакторов.
8. История создания атомной энергетики.
9. Драма идей: история создания атомной бомбы.
10. Зондирование поверхности Земли из космоса. Использование результатов исследований в экологии, сельском хозяйстве, метеорологии.
11. Международный космический проект «Галилео».
12. Активационный анализ состава вещества.
13. Ядерно-физические методы определения возраста археологических находок.
14. Практическое применение явления сверхпроводимости.
15. Ответственность ученого в современном мире.

## Раздел 1 «Электрическое поле»

**№ 1.** 1. Шарик 1 заряжен положительно, шарик 2 — отрицательно. 3. Атом мог утратить от одного до трех электронов. **№ 2.** 1. Может; не может; может. 2.  $6,25 \cdot 10^8$ . 3.  $3 \cdot 10^{-6}$  Н. **№ 3.** 1. Масса положительно заряженной палочки меньше. 2. Может. 3. Положительный. 5.  $3 \cdot 10^{-9}$  Кл. 7. Сначала притянется, а потом оттолкнется. **№ 4.** 1. 90 Н. 2. Уменьшится в 4 раза. 3. Уменьшилось в 3 раза. 4.  $2,3 \cdot 10^{-4}$  Н. 5\*. Увеличилась в 1,8 раза; уменьшилась в 1,25 раза.

### Задания для самопроверки к разделу 1

1. а. 2. г. 3. а. 4. а. 5. в. 6. Происходит электризация трением. 7. Рука человека — проводник. 8. Нельзя. 9. Заряженная гильза притянется к руке. 10. Нужно заземлить незаряженный шарик и поднести к нему заряженный. 11. Увеличилось в 4 раза. 12. Увеличится в 9 раз. 13. 20 мкКл. 14.  $1 \cdot 10^{12}$  электронов. 15.  $0,5 \cdot 10^{-8}$  Кл; 90 мкН.

## Раздел 2 «Электрический ток»

**№ 5.** 3. Движутся хаотически. 4. Влажный воздух является проводником. 5. Материал должен быть диэлектриком. **№ 7.** 3. Гальванический элемент не будет работать. **№ 9.** 1. а) 0,1 А, 0,2 А; б) 0,5 мА, 4,5 мА; в) 0,1 А, 1,8 А. 3. 2 мин. 4. 2,7 кКл. 5. 180 Кл. 6. 3,2 А. **№ 10.** 1. а) 1 В, 4 В; б) 0,5 В, 6 В; в) 1 В, 7 В. 3. 40 В. 4. 48 Дж. 5. 12 В. **№ 11.** 1. 2,7 Ом; 3,3 Ом; 4 Ом; 8 Ом. 2. 225 В. 3. 0,3 А; 1 А; 0,05 А. 4. 8 кОм. 6. 60 Ом. 7. 15 Ом. 8. 0,25 А. 9. Нет. **№ 12.** 1. 1 — из меди; 2 — железа; 3 — свинца. 3. 0,25 Ом. 4. Уменьшилось в 4 раза. 5. 3 Ом; показания амперметра увеличатся, вольтметра не изменятся. 6. 2 м. 7.  $\approx 2$  мм. 8\*. 11,34 кг. **№ 13.** 1. 35 Ом. 2. 60 В. 3. Можно. 4. 250 Ом. 5. 0,2 А; 5,6 В. **№ 14.** 2. 144 В. 3. 0,6 А; 0,4 А; 1 А. 4. В изготовленном из серебра. 5. 4 Ом; 1 А. 6. 2,3 В. 7. К; 0,4 А. **№ 15.** 1. 8,76 кВт·ч; 213 грн 39 к. 3.  $\approx 2,4$  кДж. 4. а) 300 кДж; 120 кДж; б)  $\approx 24$  кДж;  $\approx 61$  кДж. 5. 0,41 А, 0,18 А;  $\approx 538$  Ом, 1210 Ом. 6. 12,5 А. 7\*. 236 Ом. 8\*. При параллельном соединении мощность в 4 раза больше. **№ 16.** 2. 288 кДж. 3. 5 кДж; 2,5 кДж. 4. 17,5 мин. 5. 120,4 В. 6\*. 9,25 м. **№ 17.** 4. 1,32 кВт. **№ 18.** 1. Через гальванометр справа налево. **№ 19.** 4. 12 ч 24 мин. 5. 40,32 г. 6. 0,32 Вт. **№ 20.** 1. 26 мин 47 с; 24,8 кДж. 2. 2 мкм. 3. 5 ч.

### Задания для самопроверки к разделу 2

#### Часть 1

1. б. 2. г. 3. б. 4. б. 5. г. 6. а. 7. г. 8. в. 9. б. 10. а. 11. в. 12. 6 А. 13. 3,6 В. 14. 4 А. 15. 6 В; 9 В. 16.  $V_1$  — не изменится;  $V_2$  — увеличится;  $V_3$  — уменьшится; А — увеличится.

#### Часть 2

1. а. 2. в. 3. г. 4. б. 5. в. 6. г. 7. в. 8. а. 9. в. 10. в. 11. 24 Вт; 48 Вт; 72 Вт. 12. 1,75 А. 13. 1,1 °С. 14. 12 Вт; 12 Вт; 24 Вт. 15. 4,5 мкм.

## Раздел 3 «Магнитное поле»

**№ 23.** 2. От В до А. 4. Магнит притянется к катушке. 5. Справа — отрицательный, слева — положительный. 6. а) катушка притянется к магниту; б) оттолкнется. **№ 24.** 1. Слева — северный; справа — южный. 2. К зажимам В и С. 4. Увеличится. **№ 25.** 1. Внизу — северный, сверху — южный. 2. От нас. 3. Вправо. 4. По левой стороне рамки — вверх; по правой — вниз. 7. Гвоздь будет колебаться. **№ 27.** 1. Не возникает. 2. При условии изменения силы тока в другой катушке.

### Задания для самопроверки к разделу 3

1. а. 2. б. 3. в. 4. в. 5. в. 6. в. 7. б. 8. Для очищения зерна от металлических предметов. 9. Слева — отрицательный, справа — положительный. 10. Слева — отрицательный, справа — положительный. 11. Да; нет. 12. Вверху — северный, внизу — южный. 13. Вверху — южный; внизу — северный; уменьшится. 14. Уменьшится в 3 раза.

## Раздел 4 «Атомное ядро. Ядерная энергетика»

**№ 28.** 1. 5 электронов. 2. Галлий. 3. 18 протонов; 22 нейтрона. 4. Стийбий (Sb). 5. Количеством нейтронов в ядрах. **№ 29.** 1.  $^{222}_{86}\text{Rn}$ . 2.  $^{234}_{92}\text{U}$ . 4. Наибольшая — активность Радона. 5.  $\approx 7,2 \cdot 10^{17}$  ядер. 6.  $2,7 \cdot 10^{10}$  Бк. 7.  $16 \cdot 10^3$  Бк. **№ 30.** 1.  $7,2 \cdot 10^{-6}$  Гр. 2. 1,66 мЗв. 3.  $H = 90$  мЗв.

### Задания для самопроверки к разделу 4

1. б. 2. б. 3. г. 4. г. 5. б. 6. а. 7. в. 8. 600 мкР. 9.  $2 \cdot 10^7$  Бк. 10. 0,0025 мЗв/ч. 11.  $^{233}_{91}\text{Pa}$ . 12.  $^{210}_{83}\text{Bi}$ . 13. Безопасно (10,4 мГр). 14. 1650 ядер.

- А** Аккумуляторы 38  
 Активность образца 186  
 Альфа (а)-излучение 175, 181  
 Ампер 46  
 Амперметр 48
- Б** Батарея гальванических элементов 39  
 Беккерель 186  
 Бета (Р)-излучение 181
- В** Вольт 52,53  
 Вольт-амперная характеристика 58  
 Вольтметр 53
- Г** Газовый разряд 117, 118  
 Гальванический элемент 37  
 Гамма (у)-излучение 182, 196  
 Генератор электрической энергии 165  
 Гипотеза Ампера 146  
 Грей 190  
 Громкоговоритель 162
- Д** Делитель напряжения (потенциометр) 74  
 Диссоциация электролитическая 106  
 Диэлектрики 14,31  
 Доза ионизирующего излучения  
 — поглощенная 189  
 — эквивалентная 190  
 — экспозиционная 190
- З** Закон: Джоуля — Ленца 95  
 — Кулона 22  
 — Ома 59  
 — электролиза (первый закон Фарадея) 108  
 — сохранения электрического заряда 13  
 Зиверт 190
- И** Измерительные приборы 160-162  
 Ионизация 117  
 Источник электрического тока 36, 41
- К** Коэффициент качества 190  
 Крутильные весы 21  
 Кулон 6, 47
- Л** Линий магнитного поля 140,146
- М** Магнитное поле 139,146  
 Магнитные аномалии 144  
 Магнитные бури 143  
 Магнитные материалы 139  
 Мощность: электрического тока 88  
 — дозы излучения 191
- Н** Направление: линий магнитного поля 140,146  
 — тока 43  
 Нейтроны 7,175  
 Нуклоны 175  
 Нуклонное (массовое) число 175
- П** Период полураспада 185  
 Полюса магнита 138  
 Полупроводники 32, 125  
 Постоянная радиоактивного распада радионуклида 185
- Потребитель электрической энергии 41  
 Правила смещения 184  
 Правило: буравчика 146  
 — левой руки 155  
 — правой руки 147  
 Проводники 14,31  
 Протоны 175  
 Протонное (зарядное) число 175
- Р** Работа тока 52,87  
 Радиоактивность 180, 184  
 Радиоактивные ряды 186  
 Радиоактивные элементы (радионуклиды)  
 — искусственные 180  
 — природные 180  
 Рекомбинация 117  
 Рентген 191  
 Реостат 63
- С** Сверхпроводимость 103  
 Сила: Ампера 155  
 — Кулона 22  
 — тока 46  
 Сильное взаимодействие 178  
 Соединение проводников  
 — параллельное 41, 79  
 — последовательное 41, 71  
 Счетчик Гейгера — Мюллера 192
- Т** Тепловыделяющий элемент 199  
 Термистор 129  
 Термометр сопротивления 103  
 Терморезистор 129
- У** Удельное сопротивление вещества 62
- Ф** Фоторезистор 129
- Ц** Цепная ядерная реакция 198
- Э** Электризация тел 5,6, 12,14  
 Электрическая схема 43  
 Электрическая цепь 40  
 Электрический заряд 5,6  
 Электрический ток 30  
 — в газах 117  
 — металлах 102  
 — полупроводниках 126  
 — электролитах 106  
 Электрическое напряжение 52  
 Электрическое поле 9  
 Электрическое сопротивление 58  
 Электродвигатель 156, 157  
 Электролиз 107  
 Электролит 106, 107  
 Электромагнит 150  
 Электромагнитная индукция 165  
 Электрометр 16  
 Электростатическая индукция 14  
 Электросчетчик 87  
 Электрохимический эквивалент 108
- Я** Ядерный реактор 199  
 Ядерная физика 174  
 Ядерный цикл 200

## Раздел 1. Электрическое поле

§ 1. Заряд и электромагнитное взаимодействие.....	4
§ 2. Электрическое поле. Взаимодействие заряженных тел.....	8
§ 3. Механизм электризации. Электроскоп.....	12
<i>Лабораторная работа № 1</i> .....	18
§ 4. Закон Кулона.....	20
Подводим итоги раздела 1 «Электрическое поле».....	24
Задания для самопроверки к разделу 1 «Электрическое поле».....	26
Энциклопедическая страница.....	28

## Раздел 2. Электрический ток

§ 5. Электрический ток. Электрическая проводимость материалов.....	30
§ 6. Действия электрического тока.....	33
§ 7. Источники электрического тока. Гальванические элементы и аккумуляторы.....	36
§ 8. Электрическая цепь и ее элементы.....	40
§ 9. Сила тока. Единица силы тока. Амперметр.....	46
<i>Лабораторная работа №2</i> .....	51
§ 10. Электрическое напряжение. Единица напряжения. Вольтметр.....	52
<i>Лабораторная работа №3</i> .....	56
§ 11. Электрическое сопротивление. Закон Ома.....	57
§ 12. Удельное сопротивление вещества. Расчет сопротивления проводника. Реостаты.....	61
<i>Лабораторная работа №4</i> .....	67
<i>Лабораторная работа №5</i> .....	69
§ 13. Последовательное соединение проводников.....	71
<i>Лабораторная работа №6</i> .....	77
§ 14. Параллельное соединение проводников.....	79
<i>Лабораторная работа № 7</i> .....	85
§ 15. Работа и мощность электрического тока.....	87
<i>Лабораторная работа № 8</i> .....	93
§ 16. Тепловое действие тока. Закон Джоуля — Ленца.....	94
§ 17. Электрические нагревательные устройства. Предохранители. . .	98
§ 18. Электрический ток в металлах.....	102
§ 19. Электрический ток в жидкостях.....	105
§ 20. Применение электролиза.....	110
<i>Лабораторная работа № 9</i> .....	114
§ 21. Электрический ток в газах.....	116
§ 22. Виды самостоятельных газовых разрядов.....	120
§ 23. Электрический ток в полупроводниках.....	125
Подводим итоги раздела 2 «Электрический ток».....	130
Задания для самопроверки к разделу 2 «Электрический ток».....	132
Энциклопедическая страница.....	136

### Раздел 3. Магнитное поле

§ 24. Постоянные магниты. Магнитное поле. Линии магнитной индукции.....	138
§ 25. Магнитное поле Земли .....	142
§ 26. Магнитное действие тока. Магнитное поле проводника с током.....	145
§ 27. Электромагниты и их применение. ....	149
<i>Лабораторная работа №10</i> .....	153
§ 28. Действие магнитного поля на проводник с током. Правило левой руки. Электрические двигатели.....	154
§29. Электроизмерительные приборы. Громкоговоритель.....	160
§ 30. опыты Фарадея. Явление электромагнитной индукции.....	164
Подводим итоги раздела 3 «Магнитное поле» .....	168
Задания для самопроверки к разделу 3 «Магнитное поле».....	170
Энциклопедическая страница.....	172

### Раздел 4. Атомное ядро. Ядерная энергетика

§ 31. Атом и атомное ядро.....	174
§32. Радиоактивное излучение.....	179
§ 33. Активность радионуклида. Правила смещения.....	184
§ 34. Поглощенная и эквивалентная дозы ионизирующего излучения.....	189
§ 35*. Получение и использование радиоактивных изотопов.....	194
§ 36*. Цепная ядерная реакция. Ядерный реактор.....	198
§ 37. Экологические проблемы атомной энергетики. Естественный радиационный фон.....	201
<i>Лабораторная работа №11</i> .....	205
Подводим итоги раздела 4 «Атомное ядро. Ядерная энергетика» . . .	208
Задания для самопроверки к разделу 4. «Атомное ядро. Ядерная энергетика».....	210
Энциклопедическая страница.....	212
Физика и научно-технический прогресс.....	214
Ответы к упражнениям и заданиям для самопроверки.....	220
Алфавитный указатель.....	221

# ИНСТРУКЦИЯ ПО БЕЗОПАСНОСТИ ДЛЯ КАБИНЕТА ФИЗИКИ

## 1 Общие положения

1.1. Инструкция по безопасности для кабинета физики учебного заведения системы всеобщего среднего образования распространяется на всех участников учебно-воспитательного процесса во время проведения занятий по физике (демонстрационных опытов, лабораторных и практических работ).

1.2. Во время проведения учебно-воспитательного процесса в кабинетах физики общеобразовательных учебных заведений учащиеся проходят инструктаж по безопасности труда и обучения, оказанию первой (доврачебной) помощи при характерных повреждениях. Инструктаж проводит учитель физики перед началом занятий в кабинете физики, о чем производится запись в журнале.

## 2 Требования безопасности перед началом работы

2.1. Четко уясните порядок и правила безопасного проведения опыта.

2.2. Освободите рабочее место от всех не нужных для работы предметов и материалов.

2.3. Проверьте наличие и надежность соединительных проводов, приборов, других предметов, необходимых для выполнения задания.

2.4. Приступайте к выполнению задания только с разрешения учителя.

2.5. Выполняйте только ту работу, которая предусмотрена заданием или поручена учителем.

## 3 Требования безопасности в экстремальных ситуациях

3.1. В случае травмирования (ранения, ожоги и т. д.), недомогания и т. п. следует немедленно обратиться к учителю.

3.2. В случае возникновения непредвиденного загорания, пожара и т. п. следует немедленно обратиться к учителю.

## 4 Требования безопасности во время выполнения работы

- 4.1. Будьте внимательны и дисциплинированы, точно выполняйте указания учителя.
- 4.2. Размещайте приборы, материалы, оборудование на своем рабочем месте так, чтобы не допустить их падения или опрокидывания.
- 4.3. Во время проведения опытов не допускайте предельных нагрузок измерительных приборов.
- 4.4. Следите за исправностью всех креплений в приборах и устройствах. Не прикасайтесь к вращающимся частям машин и не наклоняйтесь над ними.
- 4.5. Для сборки экспериментальных установок пользуйтесь проводниками с клеммами и предохранительными чехлами с прочной изоляцией и без видимых повреждений.
- 4.6. Собирая электрическую цепь, избегайте пересечения проводников; запрещается пользоваться проводниками с ветхой изоляцией и выключателями открытого типа.
- 4.7. Источник тока в электрическую цепь включайте в последнюю очередь. Собранный цепь включайте только после проверки и с разрешения учителя. Наличие напряжения в сети можно проверять только приборами или указателями напряжения.
- 4.8. Не прикасайтесь к элементам цепи, не имеющим изоляции и находящимся под напряжением. Не выполняйте повторно соединений в цепях и не заменяйте предохранители до выключения источника электропитания.
- 4.9. Пользуйтесь инструментом с заизолированными ручками.
- 4.10. После окончания работы выключите источник электропитания, а затем разберите электрическую цепь.
- 4.11. Не оставляйте рабочее место без разрешения учителя.
- 4.12. Обнаружив неисправность в электрических устройствах, находящихся под напряжением, немедленно выключите источник электропитания и сообщите о неисправности учителю.
- 4.13. Для подключения потребителей к сети пользуйтесь штепсельными соединениями.

## 5 Требования безопасности после окончания работы

- Уборку рабочих мест после окончания практических занятий выполняйте с разрешения учителя.

## ЧТО НЕОБХОДИМО ЗНАТЬ

### о физическом явлении

- 1) внешние признаки протекания данного явления, условия, при которых оно происходит;
- 2) связь данного явления с другими;
- 3) физические величины, характеризующие данное явление;
- 4) возможности практического использования, способы предупреждения вероятных отрицательных последствий

### о приборе или устройстве

- 1) назначение;
- 2) конструкция, схема;
- 3) принцип действия;
- 4) сфера применения;
- 5) правила пользования;
- 6) преимущества и недостатки

### о физическом законе

- 1) формулировка, связь между какими явлениями устанавливает данный закон;
- 2) математическое выражение;
- 3) сведения об эксперименте, который послужил основанием для установления закона или подтверждает его справедливость;
- 4) границы применения

### о физической величине

- 1) свойство, которое характеризует данная физическая величина;
- 2) определение (дефиниция);
- 3) формула, положенная в основу определения, связь с другими физическими величинами;
- 4) единицы;
- 5) способы измерения

## ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ЗАРЯД

### Электрический заряд

Электрический заряд, Кл      Количество электронов

$$|q| = N |e|$$

Модуль заряда электрона,  $1,6 \cdot 10^{-19}$  Кл

### Закон Кулона

Сила Кулона, Н      Расстояние между зарядами, м

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

Коэффициент пропорциональности,  $9 \cdot 10^9 \frac{\text{Н} \cdot \text{м}^2}{\text{Кл}^2}$

### Закон сохранения электрического заряда

Сумма зарядов до взаимодействия

$$q_1 + q_2 + \dots + q_n = q'_1 + q'_2 + \dots + q'_n$$

Сумма зарядов после взаимодействия

## ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ТОК

### Сила тока

Сила тока, А

$$I = \frac{q}{t}$$

Время, с

### Напряжение

Электрическое напряжение, В

$$U = \frac{A}{q}$$

Работа тока, Дж

### Сопротивление

Удельное сопротивление, Ом · м      Длина, м

$$R = \rho \frac{l}{S}$$

Сопротивление, Ом      Площадь поперечного сечения, м<sup>2</sup>

### Закон Ома

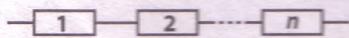
Сила тока, А      Напряжение, В

$$I = \frac{U}{R}$$

Сопротивление, Ом

## Виды соединения проводников

### Последовательное

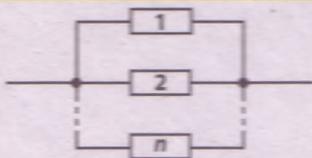


$$I = I_1 = I_2 = \dots = I_n$$

$$U = U_1 + U_2 + \dots + U_n$$

$$R = R_1 + R_2 + \dots + R_n$$

### Параллельное



$$I = I_1 + I_2 + \dots + I_n$$

$$U = U_1 = U_2 = \dots = U_n$$

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_n}$$

## Закон Фарадея

Электрохимический эквивалент,  $\frac{\text{кг}}{\text{Кл}}$

$$m = kIt$$

Масса, кг

Сила тока, А

Время проведения электролиза, с

$$m = kq$$

Заряд, Кл

## Работа тока

Работа тока, Дж

Напряжение, В

$$A = UIt$$

Сила тока, А

Время прохождения тока, с

## Мощность тока

Мощность тока, Дж

Сила тока, А

$$P = UI$$

Напряжение, В

## Закон Джоуля — Ленца

Количество теплоты, Дж

Время, с

$$Q = I^2 R t$$

Сила тока, А

Сопротивление, Ом

## РАДИОАКТИВНОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ

### Активность

Постоянная радиоактивного распада,  $\frac{1}{\text{с}}$

Активность, Бк

$$A = \lambda N$$

Количество ядер радионуклида на данный момент времени

### Доза ионизирующего излучения

#### Поглощенная

Поглощенная доза, Гр

$$D = \frac{W}{m}$$

Масса, кг

Энергия излучения, Дж

#### Экспозиционная

Экспозиционная доза,  $\frac{\text{Кл}}{\text{кг}}$

$$D_{\text{эксп}} = \frac{q}{m}$$

Масса, кг

Заряд, Кл

#### Эквивалентная

Эквивалентная доза, Зв

Коэффициент качества

$$H = K \cdot D$$

Поглощенная доза, Гр

### Мощность дозы ионизирующего излучения

Мощность дозы

$$P = \frac{D}{t}$$

Время облучения, с