

Российская академия наук
Российская академия образования
Издательство «Просвещение»

Академический школьный учебник

ФИЗИКА

Академический
школьный учебник



КОСМОС – ГИГАНТСКАЯ



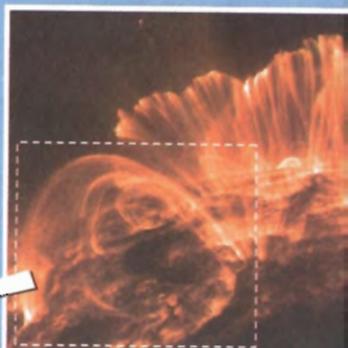
Тень Земли
на лунной
поверхности



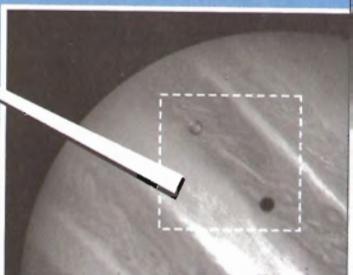
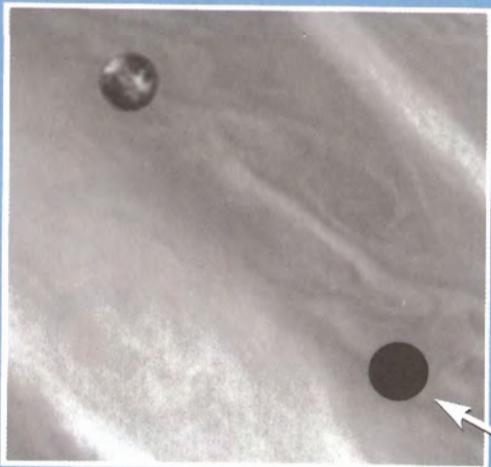
Тень Луны
на земной
поверхности

ФИЗИЧЕСКАЯ ЛАБОРАТОРИЯ

Движение плазмы на Солнце
вдоль линий магнитной
индукции



Тень Ио
на облачном
слое Юпитера





Антон Николаевич Чочов



*Дерзайте ныне ободренны
Раченьем вашим показать,
Что может собственных
Платонов
И быстрых разумом
Невтонов
Российская Земля рождать!*



Российская академия наук
Российская академия образования
Издательство «Просвещение»

Академический школьный учебник

А.А. Фадеева А.В. Засов Д.Ф. Киселев

ФИЗИКА

Электродинамика,
атом и атомное ядро
с основами общей астрономии

9 класс

Учебник для
общеобразовательных
учреждений

Под редакцией А.А. Фадеевой

Рекомендовано Министерством образования
и науки Российской Федерации

2-е издание, дополненное и переработанное

Москва
«ПРОСВЕЩЕНИЕ»
2009

УДК 373.167.1:53
ББК 22.3я72
Ф15

Серия «Академический школьный учебник» основана в 2005 году.

Проект «Российская академия наук, Российская академия образования, издательство «Просвещение» — российской школе».

Руководители проекта: вице-президент РАН акад. **В. В. Козлов**, президент РАО акад. **Н. Д. Никандров**, генеральный директор издательства «Просвещение» чл.-корр. РАО **А. М. Кондаков**.

Научные редакторы серии: акад.-секретарь РАО, д-р пед. наук **А. А. Кузнецов**, акад. РАО, д-р пед. наук **М. В. Рыжаков**, д-р экон. наук **С. В. Сидоренко**.

Работая с учебником, обратите внимание на принятые условные обозначения:

- ? Вопросы, на которые надо ответить после изучения параграфа.
- Выполнить задание.
- Решить задачу.
- ◆ Выполнить лабораторную работу или экспериментальное задание.
- * Задания, вопросы или материал для любознательных.
- ! Обратить внимание.
- ** Запомнить.

Важные для осмыслиения и запоминания термины, понятия, определения выделены специальным шрифтом (*курсивом* и **полужирным**), основные законы или понятия даны на плашке, основные формулы заключены в рамку.

Фадеева А.А.

Ф15 Физика. Электродинамика, атом и атомное ядро с основами общей астрономии. 9 класс : учеб. для общеобразоват. учреждений / А.А. Фадеева, А.В. Засов, Д.Ф. Киселев; под ред. А.А. Фадеевой; Рос. акад. наук, Рос. акад. образования, изд-во «Просвещение». — 2-е изд., доп. и перераб. — М. : Просвещение, 2009. — 224 с. : ил. — (Академический школьный учебник). — ISBN 978-5-09-017177-9.

Учебник знакомит с современными вопросами физики и астрономии, содержит много задач, практических и лабораторных работ. Текст учебника сопровождается большим количеством иллюстраций и таблиц.

УДК 373.167.1:53
ББК 22.3я72

ISBN 978-5-09-017177-9

© Издательство «Просвещение», 2009
© Художественное оформление.
Издательство «Просвещение», 2009
Все права защищены

... Пора узнать, что в мирозданье,
Куда ни обратись, — вопрос, а не ответ.

A. A. Фет

ЭЛЕКТРОДИНАМИКА

В курсе 8 класса вы познакомились с тем, что в природе проявляются четыре вида фундаментальных взаимодействий: гравитационное, слабое, электромагнитное, сильное. Более подробно было рассмотрено гравитационное взаимодействие. Электромагнитное взаимодействие заряженных частиц изучается в разделе «Электродинамика» курса физики. Электромагнитное взаимодействие описывает совокупность электрических и магнитных явлений; оно — проявление существования, движения и взаимодействия электрических зарядов. Электромагнитное взаимодействие ответственно за существование атомов и молекул, а значит, и за разнообразие веществ в природе. Электродинамика — теория электромагнитного взаимодействия как в микромире, так и в макромире.

К созданию электродинамики привела длинная цепочка исследований и случайных открытий, начавшаяся с обнаружения способности янтаря, потертого о шерсть, притягивать легкие предметы и приведшая к созданию стройной и строгой теории о взаимосвязи переменного магнитного поля с переменным электрическим полем. В ее создании и разработке приняли участие Кулон, Ампер, Фарадей, Лоренц, Максвелл и другие ученые. В процессе развития электродинамики впервые в истории человечества научные исследования предшествовали техническим применением.

В настоящее время законы электродинамики нашли широкое применение при передаче электрической энергии на большие расстояния, в преобразовании электрической энергии в другие виды энергии (механическую, внутреннюю и т. д.). Законы электродинамики лежат в основе всей электротехники, радиотехники, включая телевидение, видеозапись, средства связи. Электродинамика составляет фундамент таких важных направлений современной физики, как астрофизика, физика плазмы и проблема управляемых термоядерных реакций, физика элементарных частиц, конструирование ускорителей элементарных частиц и многое другое.

ГЛАВА 1. ЭЛЕКТРОСТАТИКА

Электростатика — раздел электродинамики, изучающий взаимодействие неподвижных (статических) электрических зарядов.

§ 1. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ЗАРЯД. ЗАКОН СОХРАНЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ЗАРЯДА

Электрический заряд. Способность частиц (или тел) к электромагнитному взаимодействию характеризует их электрический заряд. **Электрический заряд** — величина, определяющая электромагнитное взаимодействие частиц (тел) с другими частицами (телами).

Электрический заряд обозначается буквой латинского алфавита q или Q (читается «ку»). Единица заряда в Международной системе единиц (СИ) — кулон (1 Кл). Она названа в честь французского ученого Шарля Кулона. Один кулон (1 Кл) очень большой заряд. Обычно заряды небольших тел выражаются долями кулона — милликулонами (мКл), микрокулонами (мкКл). Электрический заряд — скалярная величина.

Тело, у которого $q \neq 0$, называют **заряженным**; тело, у которого $q = 0$, — **нейтральным** (незаряженным).

Носителями заряда могут быть элементарные частицы, атомы, молекулы, макроскопические тела. Элементарная частица может иметь или не иметь электрический заряд. *Нет заряда без частицы, есть частица без заряда.* Различают два вида электрических зарядов — *положительные и отрицательные*. Экспериментально установлено, что существует минимальный, не равный нулю электрический заряд, одинаковый по модулю для положительных и отрицательных зарядов. Отделить часть этого заряда невозможно. Наименьший электрический заряд имеют элементарные частицы, среди которых частицы, входящие в состав атомов. Это:

протон, обладающий минимальным положительным зарядом (обозначается q_p);

электрон, обладающий минимальным отрицательным зарядом (обозначается q_e или e).

Термин «электрон» для обозначения минимального электрического заряда ввел в 1891 г. ирландский ученый Джордж Стоней (1826—1911). Открыл существование электронов в 1897 г. английский ученый Джозеф Томсон (1856—1940).

К общим характеристикам элементарных частиц относятся масса (m) и электрический заряд (q).

В таблице 1 приведены характеристики электрона и протона.

Таблица 1

Название частицы	Обозначение	Знак заряда	Заряд	Масса частицы
Электрон	q_e или e	Отрицательный	$1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл	$9,10 \cdot 10^{-31}$ кг
Протон	q_p	Положительный	$1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл	$1,67 \cdot 10^{-27}$ кг

Существуют и другие элементарные частицы; с ними вы познакомитесь в старших классах.

Электризация тел трением. Первые наблюдения взаимодействия заряженных тел проводились еще в VI в. до н. э. Древнегреческий ученый Фалéс Милетский (VII—VI вв. до н. э.) заметил, что натертый шерстью янтарь начинает притягивать к себе легкие кусочки других материалов — соломинки, шерстинки и т. п. (Янтарь представляет собой затвердевшую смолу хвойных деревьев, которые росли на Земле десятки миллионов лет назад.) Через две тысячи лет английский ученый Уильям Гильберт (1544—1603) обнаружил, что такой способностью обладают алмаз, сапфир, стекло и другие материалы. Все эти вещества он назвал электрическими, т. е. подобными янтарю (от греч. elektron — янтарь).

Позднее про тело, которое после натирания проявляло свойство притягивать к себе мелкие тела, стали говорить, что оно наэлектризовано. Процесс сообщения телу электрического заряда называется **электризацией**.

Степень электризации тел в результате взаимного трения характеризуется абсолютным значением и знаком электрического заряда, полученного телом. *Эбонит, потертый о мех, приобретает отрицательный заряд* (от греч. ёбенос — черное дерево; каучук с большой примесью серы). *Стекло, потертое о шелк, приобретает положительный заряд*. При этом мех заряжается положительно, а шелк — отрицательно.

Знак заряда тела в результате электризации определяется тем, что одни вещества при трении теряют электроны, а другие их присоединяют. Одно и то же вещество при трении с различными веществами может получить заряд разного знака. Так, если вместо шелка натирать стеклянную палочку асбестом, стеклянная палочка заряжается отрицательно, а асбест — положительно. В таблице 2 приведены результаты эксперимента по электризации трением разных веществ и приобретаемые ими заряды.

Таблица 2

Вещество, электризуемое трением	Приобретаемый заряд при трении			
	о мех	о резину	о бумагу	о шелк
Эбонит	—	+	+	—
Органическое стекло	+	+	+	+
Обычное стекло	+	+	+	+
Сургуч	—	+	+	+
Металл	+	+	+	+

Рисунок 1 иллюстрирует притяжение кусочков бумаги к наэлектризованной палочке, а рисунок 2 — притяжение струи воды к наэлектризованной палочке. Результаты опытов одинаковы при приближении наэлектризованной стеклянной или эбонитовой палочки.

Значительная электризация происходит при трении синтетических тканей. Снимая нейлоновую рубашку при сухом воздухе, можно слышать потрескивание, между заряженными участками труящихся поверхностей проскаивают маленькие искорки. Подобное явление учитывают на производстве: на текстильных фабриках нити пряжи электризуются за счет трения, притягиваются к веретенам и рвутся; пряжа притягивает пыль и загрязняется. В типографии рабочие надевают резиновые перчатки, когда разматывают большие рулоны бумаги: между наэлектризованной бумагой и руками может возникнуть электрический разряд.

Вероятно, вы обращали внимание на то, что сзади машин — цистерн с горючим — прикрепляют металлические цепи, волочащиеся по дороге. При трении шин об асфальт при сухой погоде возникают большие электрические заряды, появляется опасность проскачивания искры. Даже легковые машины снабжаются эластичной лентой из проводящей резины.

Для идентификации личности используется дактилоскопический метод (от греч. *daktylos* — палец и *skorob* — смотрю). Благодаря явлению электризации можно получить дактилоскопический отпечаток, поскольку при соприкосновении пальцев, например, с купюрой на ней остаются мельчайшие положительно заряженные частицы белка.

В медицинской практике используются электроаэрозоли. Они представляют собой лекарственные вещества в виде очень маленьких заряженных капелек. При вдохе лекарственные вещества проникают в легкие человека вплоть до мельчайших легочных ячеек — альвеол.

Трение лишь один из многих способов электризации тел. Тело может заряжаться в результате светового облучения, нагревания, деформации и т. д.



Рис. 1

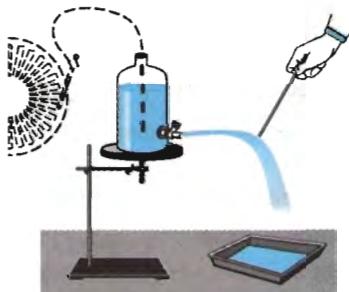


Рис. 2

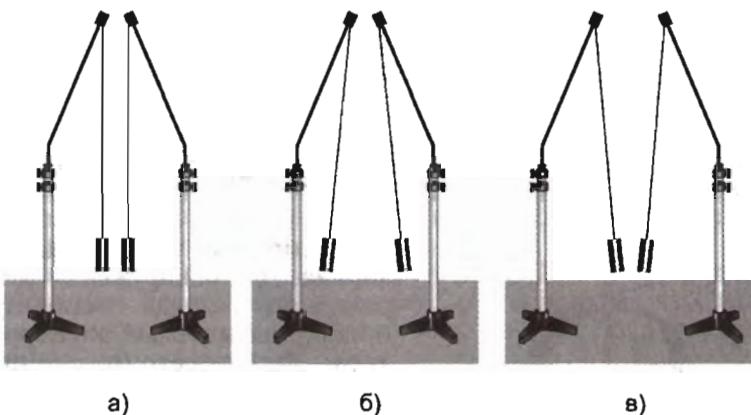


Рис. 3. Взаимодействие электростатических маятников

Электризация при облучении используется в современных копировальных установках (типа «Ксерокс», «Эра» и др.).

Взаимодействие заряженных тел. Взаимодействие заряженных тел можно наблюдать непосредственно. Возьмем два электростатических маятника (рис. 3, а) — станиловые гильзы, подвешенные на шелковых нитях, — и сообщим им вначале одноименные заряды (рис. 3, б), а затем разноименные заряды (рис. 3, в).

Взаимодействие заряженных тел можно наблюдать с помощью электрического султана. Он представляет собой металлический стержень с закрепленными листочками папиросной бумаги. Если стержень бумажного султана закрепить в стойке изолирующего штатива (рис. 4, а) и сообщить ему положительный (или отрицательный) заряд, то листочки разойдутся друг от друга на некоторый угол. Чем больше сообщаемый султану заряд, тем на больший угол отклоняются листочки. Можно сообщить такой заряд, что полоски бумаги будут располагаться радиально

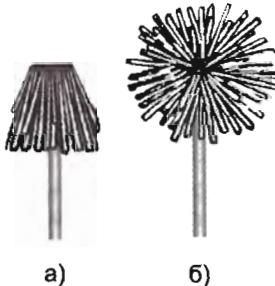


Рис. 4

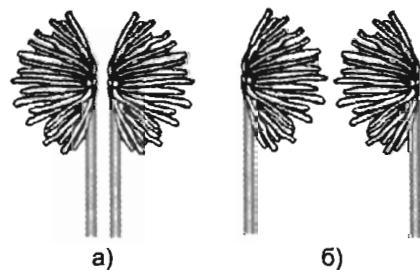


Рис. 5

(рис. 4, б). Если взять два султана, то наблюдается их взаимодействие: при сообщении одноименных зарядов (рис. 5, а) или при сообщении разноименных зарядов (рис. 5, б).

На основе экспериментов можно сделать выводы.

Тела, имеющие заряды одинакового знака, отталкиваются.
Тела, имеющие заряды разного знака, притягиваются.

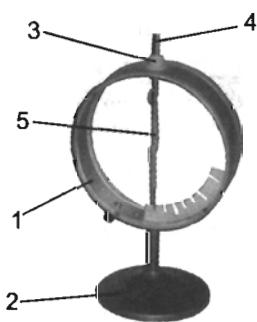


Рис. 6. Электрометр с принадлежностями

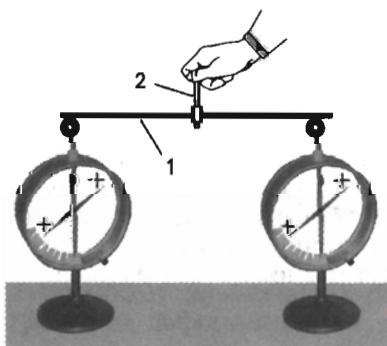


Рис. 7. Делимость электрического заряда

Делимость электрического заряда. Для обнаружения электрического заряда используют прибор, называемый **электрометром**. Электрометр (рис. 6) представляет собой цилиндрический, застекленный с обеих сторон корпус 1, укрепленный на подставке 2. Через изолирующую втулку 3 внутрь корпуса проходит металлическая трубка 4, заканчивающаяся стержнем с установленной на нем стрелкой-указателем 5.

Если взять наэлектризованную стеклянную (или эбонитовую) палочку и несколько раз провести ею по стержню, то стрелка-указатель будет отклоняться на некоторый угол в зависимости от сообщаемого заряда.

Возьмем два одинаковых электрометра и первый из них зарядим. Если соединить их стеклянной палочкой, то никаких изменений не произойдет. Если же возьмем разрядник — металлический стержень¹ 1 на изолирующей ручке² 2 и соединим два электрометра (рис. 7), то увидим, что первоначальный заряд разделился на две равные части.

¹ Тела, через которые проходят электрические заряды, получили название **проводники** электричества. Тело человека, металлы, растворы солей и кислот в воде, почва являются хорошими проводниками.

² Тела, через которые электрические заряды не могут проходить, получили название **непроводники** электричества или **диэлектрики**. К диэлектрикам относят такие вещества, как янтарь, стекло, резина, фарфор, эбонит, пластмасса, шелк, капрон, керосин, воздух.

Разъединим электрометры и коснемся рукой металлической трубки второго электрометра. Так как тело человека является проводником, то заряды уйдут в землю, т. е. от прикосновения электрометр разрядится. Соединим его снова с помощью разрядника с первым электрометром. Оставшийся заряд вновь разделится на две равные части, и первый электрометр покажет четвертую часть первоначального заряда. Таким же образом можно получить одну восьмую, одну шестнадцатую часть первоначального заряда и т. д.

Более точные опыты показали, что электрический заряд нельзя уменьшать бесконечно: он имеет предел делимости. Существует минимальный элементарный электрический заряд, которому кратны все электрические заряды частиц и тел. Наименьший электрический заряд, отрицательный или положительный, равен заряду электрона или протона. *Заряд любого тела кратен элементарному электрическому заряду:*



$$q = nq_e,$$

где n — целое число; q_e — модуль заряда электрона.

Макроскопическое тело электрически заряжено в том случае, если оно содержит избыточное число элементарных зарядов одного знака. Отрицательный заряд тела обусловлен избытком электронов по сравнению с протонами, а положительный — недостатком электронов.

Закон сохранения электрического заряда. Электрический заряд сохраняется для *замкнутой системы*, т. е. для системы, в которую не входят извне и не выходят наружу заряженные частицы.

В замкнутой системе алгебраическая сумма зарядов всех частиц остается неизменной, какие бы процессы ни происходили внутри этой системы:

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

где n — число зарядов в системе,

или

$$\sum_{i=1}^n q_i = \text{const}.$$

Закон сохранения электрического заряда — фундаментальный закон природы. Он установлен в XVIII в.

Согласно закону сохранения электрического заряда разноименные заряды рождаются или исчезают попарно: сколько родилось (исчезло) положительных зарядов, столько же исчезло (родилось) отрицательных зарядов.

Закон сохранения электрического заряда выполняется и при электризации тел. Если, например, эbonитовую палочку потереть о шерсть, то она заряжается отрицательно, а шерсть — положительно. Происходит это потому, что при трении на эbonитовой палочке образуется избыток электронов, а на шерсти — их недостаток. При этом заряды шерсти и эbonитовой палочки оказываются равными по модулю и противоположными по знаку.

Легкие электроны более подвижны, чем более тяжелые протоны. Поэтому именно электроны переходят с одного тела на другое при их трении друг о друга.

* В 1750 г. американский ученый Бенджамин Франклайн (1706—1790) разработал теорию электрических явлений; в ней содержался закон сохранения электрического заряда. Он же впервые ввел представление о положительных и отрицательных зарядах, обозначив их знаками «+» и «-».

? 1. Что такое электрический заряд? 2. Какой буквой обозначается электрический заряд? Какова единица заряда в СИ? 3. В каком случае тело считается заряженным? незаряженным (нейтральным)? 4. Какая частица имеет минимальный положительный заряд? 5. Какая частица имеет минимальный отрицательный заряд? 6. Чему равны заряд и масса электрона? 7. Чему равны заряд и масса протона? 8. Что понимают под электризацией тел? 9. Приведите примеры учета или применения электризации тел. 10. Как взаимодействуют одноименные заряды? разноименные заряды? Приведите примеры. 11. Может ли частица иметь заряд, равный $3,2 \cdot 10^{-19}$ Кл; $5 \cdot 10^{-19}$ Кл; $10 \cdot 10^{-19}$ Кл; $11,2 \cdot 10^{-19}$ Кл? 12. Выполняется ли закон сохранения электрического заряда при натирании стеклянной палочки о шелк? Ответ обоснуйте.

● 1. Используя текст § 16 учебника «Физика, 8», ответьте на вопросы: 1) Какие виды фундаментальных взаимодействий вы знаете? 2) Какой вид взаимодействия отражает существование двух разноименных зарядов? 3) Чем определяются свойства различных агрегатных состояний вещества? 4) Какие силы относят к электромагнитному взаимодействию?

2. Расскажите о **законе сохранения электрического заряда** по плану: 1) формулировка закона; 2) математическая запись закона; 3) условия применимости закона.

◆ Исследование электризации различных тел

Приборы и материалы (рис. 8): цилиндр из пенопласта диаметром 5 мм и длиной 50 мм, подвешенный на шелковой нити к лапке штатива, линейка измерительная (из оргстекла), полоска резиновая размером 30×300 мм, пленка полиэтиленовая

размером 30×300 мм, полоска бумаги размером 30×300 мм, кусок капроновой ткани.

1. Наземните линейку из оргстекла и резиновую полоску. С помощью таблицы 2 сделайте вывод о том, как они заряжены.

2. Часть заряда с линейки передайте пенопластовому цилиндрику, висящему на нити.

3. Заряженную линейку и резиновую полоску поочередно поднесите к положительно заряженному пенопластовому цилиндрику, не касаясь его. Как взаимодействуют цилиндрик и линейка? Как взаимодействуют цилиндрик и резиновая полоска?



Рис. 8

! Не подносите слишком близко заряженные тела к цилиндрику, иначе он может перезарядиться, получив другой по знаку заряд. Цилиндрик будет служить индикатором зарядов.

4. Повторите опыты с полиэтиленом, бумагой, капроном.

5. Результаты опытов запишите в таблицу (поставьте знак «+», «-» или «0»).

Электризуемое вещество	Приобретаемый заряд при трении				
	об оргстекло	о резину	о полиэтилен	о бумагу	о капрон
Оргстекло					
Резина					
Полиэтилен					
Бумага					
Капрон					

§ 2. ЗАКОН КУЛОНА – ОСНОВНОЙ ЗАКОН ЭЛЕКТРОСТАТИКИ

Точечный заряд. Вопрос в том, как взаимодействуют наэлектризованные тела, интересовал ученых издавна. Количественное изучение взаимодействия заряженных тел было на-



Кулон Шарль Огюстен (1736—1806) — французский физик и инженер. В 1781 г. сформулировал законы трения качения и скольжения. В 1784 г. изобрел крутильные весы и с их помощью (1785) экспериментально установил основной закон электростатики (закон Кулона). Сконструировал магнитометр. Исследовал взаимодействие полюсов длинных магнитов. Его именем названа единица заряда — кулон.

Что в конце XVIII в. В 1785 г. французский ученый Шарль Огюстен Кулон экспериментально установил основной закон электростатики — закон взаимодействия двух неподвижных точечных заряженных тел или частиц. Только для точечных зарядов понятие расстояния между зарядами имеет определенный смысл.

Точечным зарядом называется заряд тела любой формы, размеры которого малы по сравнению с расстояниями его до других заряженных тел.

Опыты Кулона. Открытию закона послужило то, что силы взаимодействия электрических зарядов достаточно велики и их можно было измерить.

В своих экспериментах Кулон использовал изготовленные им чувствительные *крутильные весы*. На рисунке 9, а изображена упрощенная схема крутильных весов.

Основным элементом крутильных весов был легкий изолирующий стержень (коромысло) 3, подвешенный за середину на серебряной упругой нити 4. На одном конце коромысла закреп-

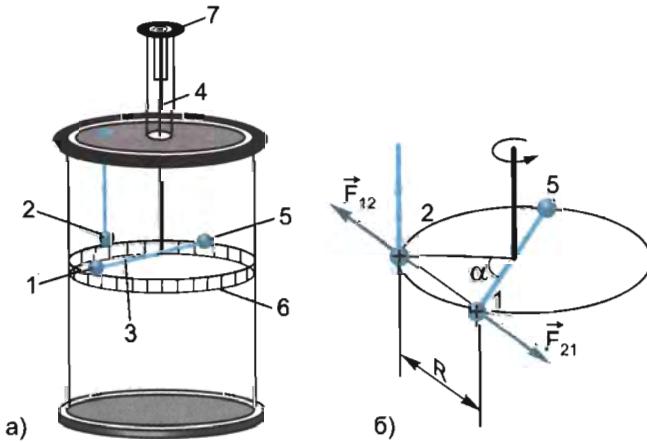


Рис. 9. Определение силы взаимодействия зарядов с помощью крутильных весов: а) схема установки; б) силы взаимодействия зарядов

лялся бузиновый позолоченный шарик 1, а на другом — противовес 5. Бузиновый шарик 2 закреплялся на крышке весов неподвижно. Диаметр шариков выбирался так, чтобы расстояние между ними было значительно больше их размеров (т. е. позволяло считать их точечными зарядами). Это исключало влияние размеров и формы заряженных тел на результаты измерений.

Шарику 2 сообщался заряд. Поворотом коромысла 3 шарики 1 и 2 приводились в контакт, в результате чего заряд делился поровну между шариками. Поскольку шарики имели одноименные заряды (заряды одинакового знака), то они отталкивались, закручивая нить 4 (рис. 9, б). Угол поворота α коромысла фиксировался по наружной шкале 6 прибора. Он был тем больше, чем больше сила, действующая на шарик 1 со стороны шарика 2. Кулон определял силу взаимодействия заряженных шариков по углу поворота коромысла. Шарик 2 можно было вынимать, заряжать и снова опускать. Кулон уменьшал заряд в 2, 4, 8 и более раз. Новое значение силы при новом значении заряда опять определялось экспериментально. Было установлено, что

- сила взаимодействия прямо пропорциональна произведению зарядов шариков:

$$F \sim q_1 q_2.$$

Установка позволяла также изменять расстояние между заряженными шариками поворотом коромысла, снабженного градуированной шкалой 7. Экспериментально установлено, что

- сила взаимодействия двух заряженных шариков обратно пропорциональна квадрату расстояния между ними:

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

Сила взаимодействия заряженных тел зависит от свойств среды между этими телами. Кулон проводил опыты в воздухе. Воздух мало влияет на силу взаимодействия: она оказывается почти такой же, как и в вакууме.

Закон Кулона.

Сила взаимодействия между двумя неподвижными точечными зарядами, находящимися в воздухе (или в вакууме), прямо пропорциональна произведению модулей зарядов, обратно пропорциональна квадрату расстояния между ними и направлена вдоль прямой, соединяющей заряды:

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

где $|q_1|$ и $|q_2|$ — модули зарядов; R — расстояние между зарядами; k — коэффициент пропорциональности, зависящий от выбора системы единиц.

По третьему закону Ньютона силы взаимодействия зарядов равны по модулю и противоположно направлены (рис. 9, б):

$$\vec{F}_{12} = -\vec{F}_{21}.$$

Силы F_{12} и F_{21} будем называть **кулоновскими силами**.

Из закона Кулона можно выразить коэффициент k и ввести его единицу в СИ:

$$k = \frac{F \cdot R^2}{|q_1||q_2|}, \quad [k] = \text{Н} \cdot \text{м}^2/\text{Кл}^2.$$

В СИ коэффициент пропорциональности равен $k = 9 \cdot 10^9 \text{ Н} \cdot \text{м}^2/\text{Кл}^2$.

Это означает, что два точечных заряда, по 1 Кл каждый, расположенные в вакууме (воздухе) на расстоянии 1 м друг от друга, взаимодействовали бы с силой, равной $9 \cdot 10^9 \text{ Н}$.

Как вы уже знаете, 1 Кл очень большой заряд, а заряды небольших тел выражаются в милликулонах. В этом случае смысл коэффициента k можно сформулировать так:

Два небольших заряженных тела, по 1 мКл каждый, расположенные в вакууме (воздухе) на расстоянии 1 м друг от друга, взаимодействуют с силой, равной 9000 Н.

Условия применимости закона Кулона

1. Закон справедлив для точечных неподвижных зарядов, которые могут быть как заряженными макроскопическими телами, так и элементарными частицами. Эксперименты показали, что для элементарных частиц закон Кулона справедлив вплоть до расстояний 10^{-17} м .

2. Закон выполняется также для тел сферической формы, радиусы которых соизмеримы с расстояниями между их центрами, при условии, что заряды распределены равномерно по всему объему тел.

Для большинства реально существующих тел закон Кулона не выполняется или выполняется лишь приблизительно. Так, сила взаимодействия между заряженными пластинами зависит не только от их зарядов, но и от их размера и взаимной ориентации.

Силы взаимодействия двух неподвижных точечных заряженных тел направлены вдоль прямой, соединяющей эти тела. Такие силы называют **центральными**.

Кулоновские силы — центральные силы. Они могут быть как силами отталкивания (рис. 10, а, б), так и силами притяжения (рис. 10, в).

* Первым закон взаимодействия зарядов установил английский ученый Генри Кавендиш. Но своих работ по электричеству Кавендиш не издавал. Около ста лет рукописи находились в архиве семьи Кавендиша. В 1879 г. Максвелл опубликовал никому не известные материалы ученого, из которых научная обществен-

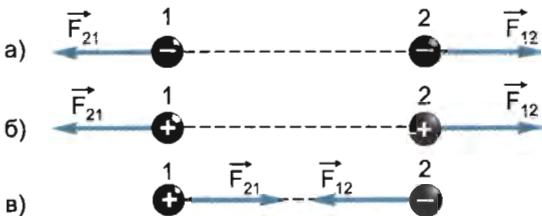


Рис. 10. Направление силы взаимодействия двух неподвижных зарядов

ность узнала, что «закон электрической силы» был открыт Ка- вендишем за 14 лет до того, как это сделал Кулон.

? 1. Какой заряд называют точечным? Существуют ли в приро- де точечные заряды? 2. Чему равен коэффициент пропорциональ- ности в законе Кулона? Каков его физический смысл? 3. Почему кулоновские силы можно считать центральными силами?

- 1. С помощью рисунка 9 расскажите об опыте Кулона.
- 2. Расскажите о **законе Кулона** по плану: 1) формулировка закона; 2) математическая запись закона; 3) связь входящих в закон величин; 4) условия применимости закона.

- 1. Во сколько раз надо изменить расстояние между заряженными телами при увеличении заряда одного из них в 4 раза, чтобы сила взаимо- действия осталась прежней?
- 2. Два заряда, по 10^{-8} Кл каждый, находятся в воздухе на расстоянии 3 см друг от друга. С какой силой они взаимодействуют? Заряды притя- гиваются или отталкиваются?
- 3. Два одинаковых заряда, находясь в воздухе на расстоянии 10 см друг от друга, взаимодействуют с силой 0,1 Н. Чему равен их заряд?

§ 3. ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКОЕ ПОЛЕ. НАПРЯЖЕННОСТЬ ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКОГО ПОЛЯ

Из курса 8 класса вы знаете, что гравитационное поле — особый вид материи. Оно существует вокруг любого тела, обладающего массой; никакой наглядной картины гравитационного поля дать невозможно.

Что такое электростатическое поле. Электрическое по- ле также одна из форм существования материи. Мы не можем его увидеть или потрогать, но можем наблюдать его проявле- ние по воздействию поля на электрические заряды. Электри-

ческое поле в отличие от гравитационного поля существует только вокруг электрически заряженных тел.

Электрическое поле, существующее вокруг неподвижных зарядов, называют электростатическим.

Основные свойства электростатического поля

1. Существует в пространстве, окружающем неподвижный заряд, и неразрывно с ним связано.
2. Действует на электрические заряды, расположенные в этом поле или вносимые в это поле, с некоторой силой.

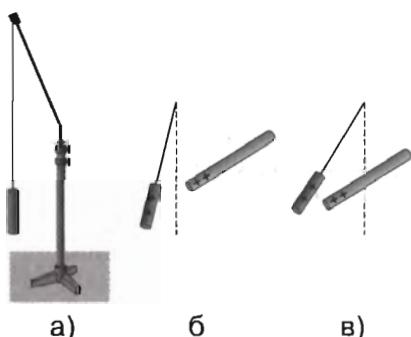


Рис. 11. Обнаружение электрического поля

палочку к гильзе, то гильза будет отклоняться от вертикали на некоторый угол (рис. 11, б). Чем ближе будем приближать заряженную палочку, тем на больший угол станет отклоняться гильза (рис. 11, в). Это означает, что вблизи заряженного тела создаваемое им поле сильнее, чем вдали. Следует иметь в виду, что взаимодействуют электрические поля палочки и гильзы.

Напряженность электростатического поля. Рассмотрим электростатическое поле, созданное точечным положительным зарядом Q (рис. 12). Если поочередно в одну и ту же точку поля (на расстоянии r от заряда Q) будем помещать небольшие заряженные тела (пробные заряды) $q_1, q_2, q_3, \dots, q_n$, то обнаружим, что сила, действующая на электрический заряд со стороны поля, будет различной: $F_1, F_2, F_3, \dots, F_n$. Но отно-

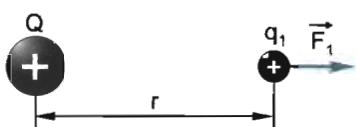


Рис. 12. Исследование электрического поля с помощью пробного заряда

шение силы к пробному заряду для данной точки поля остается неизменным:

$$F_1/q_1 = F_2/q_2 = F_3/q_3 = \dots = F_n/q_n = \text{const.}$$

?? Отношение силы, действующей на помещенный в данную точку поля заряд, к этому заряду не зависит от этого заряда и может рассматриваться как характеристика поля в этой точке. Эта характеристика получила название **напряженность электростатического поля** (обозначается буквой латинского алфавита E — читается «е»).

Напряженность электростатического поля — величина, равная отношению силы, действующей на пробный положительный заряд, помещенный в данную точку поля, к этому заряду:

$$\vec{E} = \vec{F}/q,$$

где F — сила, действующая на заряд; q — пробный заряд.

Пробный заряд — положительный достаточно малый заряд, электрическое поле которого не должно искажать то поле, которое он исследует.

Напряженность — векторная величина, так как при делении вектора (силы) на положительный скаляр (пробный заряд) получается вектор того же направления, что и исходный вектор.

В СИ единица напряженности — ньютон на кулон (1 Н/Кл): $[E] = \text{Н/Кл}$.

За единицу напряженности принимают напряженность такого поля, которое действует на заряд в 1 Кл с силой в 1 Н.

Напряженность — силовая характеристика поля, так как, зная напряженность поля в какой-либо точке пространства, можно рассчитать силу, действующую на заряд, помещенный в эту точку:

$$\vec{F} = \vec{E}q.$$

На рисунке 13 показано направление вектора напряженности поля, созданного положительным зарядом Q (рис. 13, а) и отрицательным зарядом Q (рис. 13, б).

Электростатическое поле считается *однородным*, если напряженность в любой точке поля постоянна и по модулю, и по направлению.

На рисунке 14 изображено однородное поле между двумя разноименно заряженными пластинами. Между пластинами горизонтально вдоль поля расположены полоски папиросной бумаги. В реальном эксперименте размер пластин должен быть значитель-

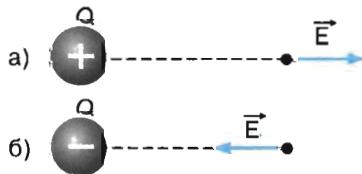


Рис. 13

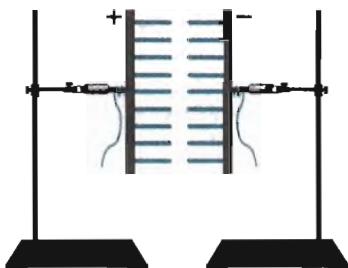


Рис. 14



Рис. 15

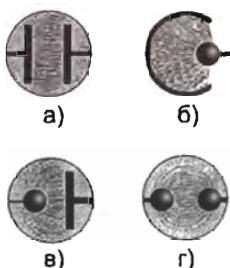


Рис. 16

шерой наглядности электростатическое поле представляют непрерывными линиями напряженности (рис. 17, б). (Идея использовать непрерывные линии принадлежит английскому ученому

Майклу Фарадею.)

Линии напряженности — линии, касательные к которым в каждой точке поля совпадают с направлением вектора напряженности электростатического поля в данной точке.

Линий напряженности в природе не существует; это удобная графическая модель поля.

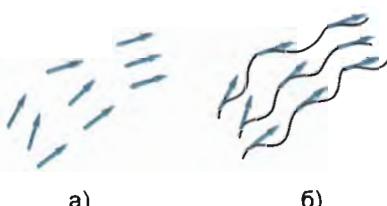


Рис. 17. Линии напряженности электростатического поля

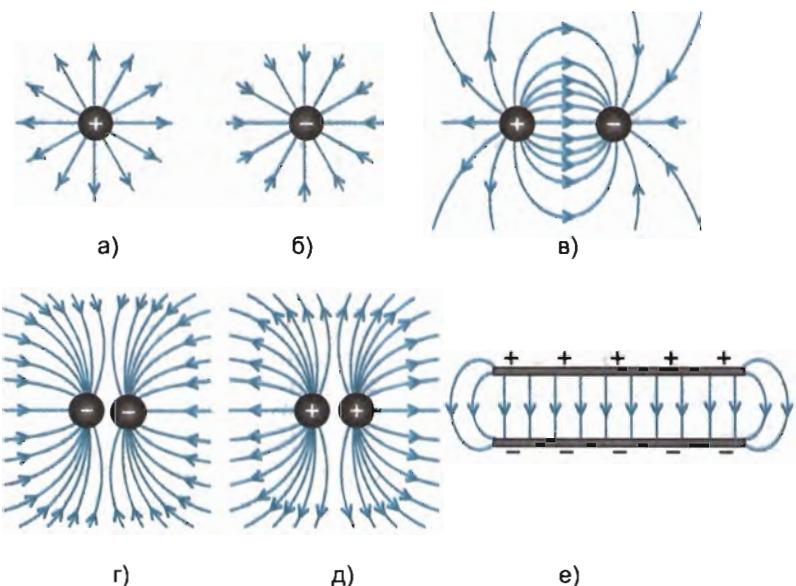


Рис. 18. Графическое изображение электростатического поля: а) положительного заряда; б) отрицательного заряда; в) системы двух разноименно заряженных тел; г) системы двух отрицательно заряженных тел; д) системы двух положительно заряженных тел; е) двух разноименно заряженных пластин

Линии напряженности начинаются у положительных зарядов и заканчиваются у отрицательных (или уходят на бесконечность).

На рисунке 18 изображены линии напряженности полей от разных источников. Линии напряженности поля не пересекаются. Густоту линий напряженности выбирают такой, чтобы она была пропорциональна напряженности поля: *густота линий больше там, где поле сильнее; густота линий меньше там, где поле слабее.*

1. Что понимают под электрическим полем? 2. Что понимают под электростатическим полем? Какими свойствами оно обладает? 3. Как можно убедиться в том, что электрическое поле существует? 4. Какая величина служит характеристикой электростатического поля? 5. Что такое напряженность электростатического поля? 6. Запишите формулу расчета напряженности электростатического поля. Поясните величины, входящие в эту формулу. 7. Каковы особенности пробного заряда? 8. Почему справедливо утверждение: «Напряженность — силовая характеристика электростатического поля»? 9. Что означает утверждение: «Напряженность электростатического поля равна 10^{-2} Н/Кл;

10 Н/Кл»? 10. Какое поле считается однородным? неоднородным? 11. Что понимают под линиями напряженности электростатического поля? Существуют ли линии напряженности реально? 12. Как связана густота линий напряженности с модулем напряженности электростатического поля?

◆ Наблюдение электростатической защиты

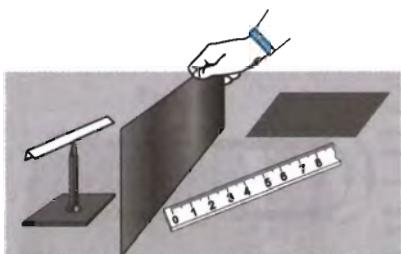


Рис. 19

Приборы и материалы: стрелка бумажная (или из фольги) на острье, линейка измерительная (из оргстекла), кусок капроновой ткани, пластинка жестяная размером 60×90 мм (рис. 19).

1. Наэлектризуйте линейку о кусок капроновой ткани.

2. Поднесите конец заряженной линейки на некоторое расстояние к стрелке.

3. Переместите линейку вправо, а затем влево, наблюдая за движением стрелки.

4. Между линейкой и стрелкой расположите вертикально металлическую пластинку. Повторите опыт (см. п. 3). Что обнаружили в этом опыте?

5. Запишите в тетрадь выводы по результатам наблюдений.

● 1. Используя текст § 16 учебника «Физика, 8», найдите ответ на вопрос: можно ли экранироваться от гравитационного поля?

2. С помощью рисунка 18 определите, на каком из рисунков изображено однородное электростатическое поле, а на каком — неоднородное.

3. Изобразите вектор напряженности поля, созданного зарядами, в точке А (рис. 20, а, б).

4. На рисунке 21 изображен электрон в электростатическом поле. В каком направлении на электрон действует сила (по от-

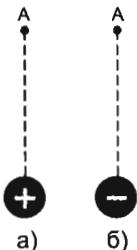


Рис. 20

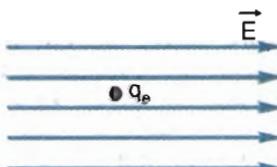


Рис. 21

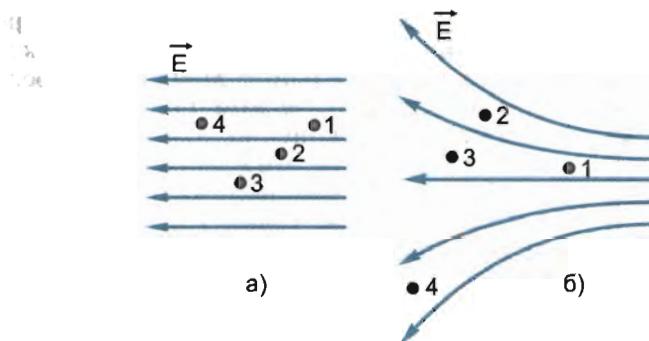


Рис. 22

ношению к линиям напряженности)? Как движется электрон? Ответ обоснуйте.

5. На рисунке 22, *а* и *б* показаны линии напряженности электрических полей и положения точек 1, 2, 3, 4. Существует ли электрическое поле в точках 1, 2, 3, 4? Сравните напряженности поля в этих точках (больше, меньше).

- 1. В некоторой точке электростатического поля на заряд $6 \cdot 10^{-9}$ Кл действует сила, равная $3 \cdot 10^{-4}$ Н. Чему равна напряженность поля в этой точке?
- 2. С какой силой действует электрическое поле напряженностью 10^4 Н/Кл на протон? Необходимые дополнительные данные вы можете найти в таблице 1.
- 3. В однородное электростатическое поле напряженностью $2 \cdot 10^5$ Н/Кл помещен заряд. Со стороны поля на него действует сила, равная 0,6 Н. Какой заряд помещен в это поле?
- ★ 4. Электрон начинает двигаться в однородном электрическом поле напряженностью 5 Н/Кл. На каком расстоянии его скорость возрастет до $2 \cdot 10^6$ м/с? Начальную скорость электрона считать равной нулю. Необходимые дополнительные данные вы можете найти в таблице 1.
- ★ 5. Напряженность поля между разноименно заряженными горизонтально расположенными пластинами равна 6000 Н/Кл. Между пластинами находится в равновесии заряженная пылинка. Заряд пылинки равен $16 \cdot 10^{-12}$ Кл. Чему равна масса пылинки?

§ 4. РАБОТА ПО ПЕРЕМЕЩЕНИЮ ЗАРЯДА В ЭЛЕКТРИЧЕСКОМ ПОЛЕ. ПОТЕНЦИАЛ. РАЗНОСТЬ ПОТЕНЦИАЛОВ

На заряд, находящийся в электрическом поле, действует сила, поэтому при движении заряда q в электрическом поле совершается определенная работа.

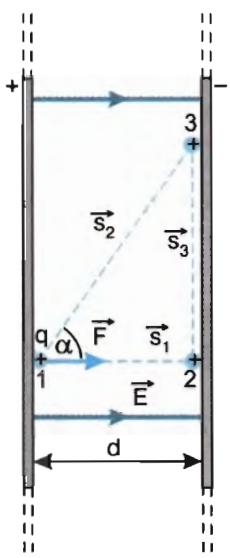


Рис. 23. Движение заряженной частицы в однородном электрическом поле

Работа по перемещению заряда в электрическом поле. Рассмотрим перемещение положительного заряда q в однородном электростатическом поле, образованном двумя бесконечно длинными разноименно заряженными пластинами (рис. 23).

Допустим, что положительный заряд q переместили из точки 1 в точку 2. Работа, совершенная силой по перемещению заряда в поле на расстояние s_1 , определяется равенством

$$A = |\vec{F}| \cdot |\vec{s}_1| \cdot \cos\alpha, \text{ где } \alpha (\vec{F} \wedge \vec{s}_1).$$

Силу рассчитаем по формуле $F = Eq$ и учтем, что $s_1 = d$ (расстояние между пластинами), а $\angle\alpha = 0$.

Тогда получаем $A_{12} = Eqd$.

Переместим заряд из точки 1 в точку 3 (см. рис. 23). Работа, совершенная силой по перемещению заряда в поле на расстояние s_2 , равна:

$$A = |\vec{F}| \cdot |\vec{s}_2| \cdot \cos\alpha, \text{ где } \alpha (\vec{F} \wedge \vec{s}_2).$$

Из прямоугольного треугольника 213 выражим $\cos\alpha = d/s_2$ и, считая $F = Eq$, получаем: $A_{13} = Eqd$.

Следовательно, $A_{12} = A_{13}$.

Переместим заряд q из точки 3 в точку 2. Так как в этом случае угол α между векторами перемещения \vec{s}_3 и силы \vec{F} равен 90° , то $\cos\alpha = 0$ и работа $A_{32} = 0$. Отсюда следует, что работа на пути 12 равна работе на пути 132:

$$A_{12} = A_{132}.$$

Этот пример иллюстрирует важный вывод:

работа сил электрического поля по перемещению заряда из одной точки поля в другую не зависит от траектории его движения, а зависит только от начального и конечного положений заряда.

Этот вывод подтверждается точными экспериментами.

Если начальные и конечные точки траектории заряда совпадают (т. е. заряд перемещается по любому замкнутому контуру), то совершаемая работа равна нулю. Такие поля называются потенциальными полями. *Электростатическое поле — потенциальное поле.*

Работа по перемещению заряда в электрическом поле рассчитывается по формуле

$$A = Eqd,$$

где d — расстояние, на которое смещается заряд в однородном электрическом поле напряженностью E вдоль линий напряженности.

В СИ единица работы: $[A] = \text{Н}/\text{Кл} \cdot \text{Кл} \cdot \text{м} = \text{Н} \cdot \text{м} = \text{Дж}$.

Потенциал электрического поля. Рассмотрим еще один параметр, связанный с работой, совершающейся электрическим полем. На рисунке 24 с помощью линий напряженности изображено электрическое поле, созданное положительным зарядом q . Будем перемещать положительный заряд q_0 из точки 1 в точку 2, при этом полем будет совершаться определенная работа A .

Эта работа пропорциональна переносимому заряду и зависит от того, из какой точки и в какую точку поля заряд перемещается. Однако, как и в случае однородного поля, отношение совершающей работы к перемещаемому заряду не зависит от заряда, а зависит только от выбора начального и конечного положений заряда. Причем, как мы выяснили, форма траектории значения не имеет.

Представим себе, что мы вносим заряд в электростатическое поле из бесконечно удаленной точки поля, т. е. из такой точки, напряженность поля в которой равна нулю. В этом случае величина, равная отношению работы против сил электрического поля к перемещаемому заряду, будет зависеть только от положения конечной точки.

Величина, определяемая отношением работы, совершающейся при перемещении положительного заряда из бесконечности в данную точку поля, к перемещаемому заряду, называется потенциалом поля в данной точке.

Обозначается потенциал буквой греческого алфавита ϕ (читается «фи»):

$$\phi = A/q_0.$$

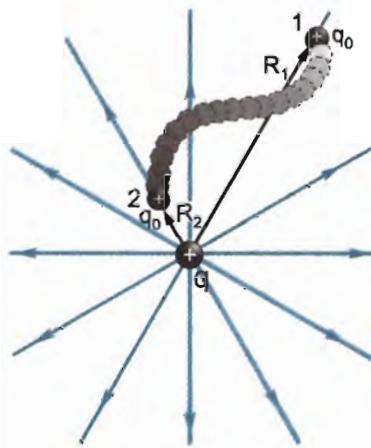


Рис. 24. Разность потенциалов в неоднородном электрическом поле

В СИ единица потенциала — вольт (1 В): $[\phi] = \text{Дж}/\text{Кл} = \text{В}$. Единица названа в честь итальянского ученого АLESSANDRO ВОЛЬТА.

Потенциал — скалярная величина; он может быть как положительной, так и отрицательной величиной.

Разность потенциалов. Каждая точка электростатического поля характеризуется своим потенциалом. Между любыми двумя точками можно найти значение разности их потенциалов.

Величина, определяемая отношением работы поля по перемещению положительного заряда из одной точки поля в другую точку к перемещаемому заряду, называется разностью потенциалов:

$$\Phi_1 - \Phi_2 = A_{12}/q_0,$$

где Φ_1 и Φ_2 — потенциалы поля в начальной и конечной точках.

Разность потенциалов обозначается так: $\Delta\phi = \Phi_1 - \Phi_2$.

Единицей разности потенциалов в СИ является вольт (1 В).

Для электростатического поля разность потенциалов между двумя точками часто называют напряжением между этими точками. Обозначается напряжение буквой латинского алфавита U (читается «у»):

$$U_{12} = \Delta\phi = \Phi_1 - \Phi_2.$$

Напряжением называется отношение работы, совершаемой электрическим полем по перемещению положительного заряда из одной точки поля в другую, к перемещаемому заряду:

$$U = A/q_0.$$

В СИ единица напряжения — вольт (1 В): $[U] = \text{Дж}/\text{Кл} = \text{В}$.

Измерение разности потенциалов. Для измерения разности потенциалов между двумя проводниками один из них можно присоединить к стержню электрометра, а другой — к его корпусу. (Если хотят измерить потенциал тела относительно земли, то тело соединяют со стержнем, а корпус заземляют.) Между корпусом и стержнем возникает разность потенциалов, которую нужно измерить. Электрическое поле внутри электрометра зависит только от этой разности потенциалов. (Внешнее электростатическое поле заряженных тел не проникает сквозь металлический корпус электрометра.) По углу отклонения стрелки электрометра от стержня судят о разности потенциалов между стрелкой и корпусом прибора.

Соединим пробный шарик со стержнем электрометра длинным гибким проводником, корпус электрометра заземлим. Потенциал земли будем считать равным нулю. Прикоснемся шариком конусообразного заряженного проводника и будем перемещать шарик по всей поверхности (наружной и внутренней) проводника (рис. 25). При этом показания электрометра остаются одинаковыми. Это означает, что поверхность заряженного проводника имеет одинаковый потенциал относительно земли.

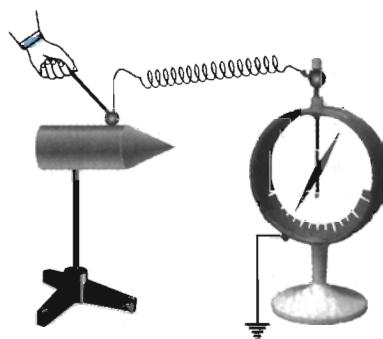


Рис. 25. Исследование потенциала заряженного проводника

? 1. Запишите формулу расчета работы по перемещению заряда в электрическом поле. Поясните величины, входящие в эту формулу. 2. Что такое потенциал электрического поля? 3. Какова формула расчета потенциала? Поясните величины, входящие в эту формулу. 4. Какова единица потенциала в СИ? 5. Что такое разность потенциалов? 6. Какова формула расчета разности потенциалов? 7. Какова единица разности потенциалов в СИ? 8. Что такое напряжение? 9. Какова формула расчета напряжения? Поясните величины, входящие в эту формулу. 10. Какова единица напряжения в СИ? 11. Что означает утверждение: «Напряжение между двумя точками поля равно 127 В; 220 В; 600 В»? 12. Как можно измерить разность потенциалов?

● 1. В однородном электрическом поле между двумя пластинами положительный заряд перемещают из точки 1 в точку 2 двумя способами: 1—*a*—2, 1—*b*—2 (рис. 26). Сравните работы для этих случаев. Ответ обоснуйте.

2. В однородном электрическом поле между двумя пластинами положительный заряд перемещают из точки 1 тремя способами: 1—2, 1—3, 1—4 (рис. 27). Сравните работы для всех случаев. Ответ обоснуйте.

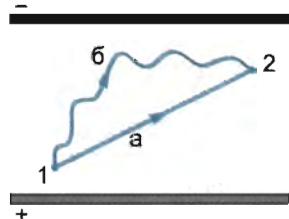


Рис. 26

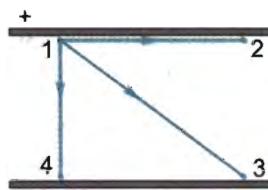


Рис. 27

■ 1. В однородное электрическое поле напряженностью 1000 Н/Кл помещен заряд 2 нКл. Какая работа совершается при перемещении заряда на расстояние 2 см?

2. В ясную погоду напряженность электрического поля в атмосфере равна 150 Н/Кл. Работа, совершаемая по перемещению протона в этом поле, равна $7,2 \cdot 10^{-26}$ Дж. На какое расстояние может переместиться протон? Начальную скорость протона считать равной нулю. Необходимые дополнительные данные вы найдете в таблице 1.

3. При лечении электростатическим душем к электродам электрической машины прикладывают разность потенциалов 100 кВ. Электрическое поле за время сеанса совершает работу по перемещению заряда, равную 1800 Дж. Какой заряд проходит между электродами за это время?

4. Какую работу совершает электрическое поле при перемещении электрона из точки с потенциалом 700 В в точку с потенциалом 200 В? Необходимые дополнительные данные вы найдете в таблице 1.

5. Протон под действием электрического поля переместился из одной точки поля в другую. Чему равно напряжение между этими точками, если совершенная работа равна $3,2 \cdot 10^{-18}$ Дж? Необходимые дополнительные данные вы найдете в таблице 1.

ГЛАВА 2. ПОСТОЯННЫЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ТОК

§ 5. ОСНОВЫ ЭЛЕКТРОННОЙ ПРОВОДИМОСТИ МЕТАЛЛОВ

В электростатике было рассмотрено взаимодействие неподвижных электрических зарядов, которые находились в равновесии.

Если заряды под действием внешнего электрического поля начинают направленное движение, то возникает новое явление — **электрический ток**.

Электрическим током называется упорядоченное (направленное) движение электрических зарядов под действием электрического поля.

Для возникновения электрического тока в веществе необходимы *два условия*:

1. Наличие в веществе электрических зарядов, которые могут перемещаться на макроскопические расстояния (т. е. на расстояния, значительно большие, чем размеры атомов и молекул).

2. Создание внутри вещества электрического поля.

Рассмотрим подробнее первое условие. Все вещества состоят из атомов или молекул. Все разнообразие физических свойств веществ определяется строением атомов, из которых они состоят. Согласно классической теории атом состоит из ядра, в котором сосредоточено некоторое число протонов, равное числу электронов, образующих электронные оболочки вокруг этого ядра. Существуют атомы, которые легко отдают свои электроны, становясь положительными ионами, и атомы, которые приобретают лишние электроны, становясь при этом отрицательными ионами. Такие ионы могут образовываться, например, в жидкости и перемещаться по всему ее объему, в силу чего они получили название свободных зарядов. *Свободные заряды* — заряженные частицы (положительные или отрицательные), способные перемещаться под действием электрического поля.

В твердых телах ионы атомов, из которых они состоят, образуют различные устойчивые структуры, в частности кристаллические решетки. В одних случаях электроны и ионы крепко связаны друг с другом и под действием внешнего поля могут только смещаться в разные стороны от положения равновесия порядка расстояний между соседними ионами. В таких парах заряды называются *связанными*; они не могут перемещаться по объему кристалла. В других телах положительные ионы образуют кристаллическую решетку, а все электроны обобщаются, образуя «электронный газ», который «окутывает» каждый положительный ион, обеспечивая электронейтральность всего тела. При этом каждый электрон может перемещаться по кристаллу, являясь, таким образом, свободным зарядом. К таким телам относятся все металлы.

Проводники, диэлектрики, полупроводники. Все вещества по способности образовывать свободные заряды делятся на три группы: проводники, диэлектрики, полупроводники.

Проводник — вещество, в котором свободные заряды могут перемещаться по всему объему. К проводникам относят металлы, растворы и расплавы электролитов, плазму, влажный воздух, тело человека и животных.

Диэлектрик — вещество, содержащее только связанные заряды. (Dielectric от греч. dia — через, сквозь и англ. electric — электрический. Термин «диэлектрик» ввел английский физик М. Фарадей.) Свободные заряды в диэлектрике отсутствуют, поэтому диэлектрик практически не проводит электрический ток и является хорошим изолятором. К диэлектрикам относят газы, некоторые жидкости (дистиллированная вода, масла и др.) и твердые тела (стекло, фарфор, слюда и др.).

Полупроводник — вещество, в котором количество свободных зарядов зависит от внешних условий (температуры, содержания примесей и др.). К полупроводникам относят германий, кремний, селен, некоторые минералы, оксиды, сульфиды, теллуриды и другие вещества.

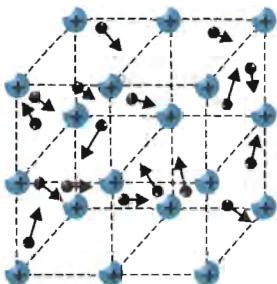


Рис. 28. Движение свободных электронов между узлами кристаллической решетки

разрабатываться теории, объясняющие высокую электропроводность металлов наличием свободных электронов. Основоположниками классической электронной теории металлов (1900) являются немецкий ученый П. Друде (1863—1906) и английский физик Дж. Томсон (1856—1940). Позже эта теория получила развитие в работах нидерландского физика Х. Лоренца (1853—1928).

Металлы в твердом состоянии имеют кристаллическое строение — образуют кристаллическую решетку. В узлах кристаллической решетки располагаются положительные ионы, а в пространстве между ними движутся свободные электроны («электронный газ» — термин предложен П. Друде) (рис. 28). Отрицательный заряд всех электронов по абсолютному значению равен положительному заряду всех ионов решетки. Поэтому в обычных условиях металлы электрически нейтральны.

Экспериментальное доказательство существования свободных электронов в металлах. То, что переносчиками электрических зарядов в металлах следует считать свободные электроны, было доказано экспериментально. Первые опыты были проведены в 1912 г. российскими учеными Л. И. Мандельштамом (1879—1944) и Н. Д. Папалекси (1880—1947). Но результаты опытов ими не были изданы. В 1916 г. американские физики Томас Стюарт и Ричард Толмен опубликовали результаты своих опытов, оказавшиеся аналогичными результатам Мандельштама и Папалекси.

Идея опытов состояла в следующем: если в металле есть свободные заряды, обладающие массой, то они должны подчиняться закону инерции. Быстро движущийся проводник представляет собой совокупность движущихся в этом же направлении атомов металла, которые увлекают вместе с собой и свободные заряды. Если проводник внезапно остановится, то остановятся входящие в его состав атомы; свободные же заряды по инерции должны продолжать движение. Это явление подоб-

Деление веществ на проводники и непроводники условно, так как проводимость зависит от различных факторов (агрегатного состояния вещества, температуры, электрического поля, содержания примесей и др.).

Электронная проводимость металлов. Из всех известных в настоящее время химических элементов 83 являются металлами. Металлы — простые вещества, обладающие в обычных условиях высокой электропроводностью и теплопроводностью.

Когда в 1897 г. английский ученый Дж. Дж. Томсон открыл электрон, стали

но тому, которое наблюдается при неожиданной остановке автобуса или трамвая, когда неприкрепленные предметы и свободно стоящие люди по инерции некоторое время продолжают двигаться вперед.

Схема опыта, проведенного Стюартом и Толменом, приведена на рисунке 29. На катушке укреплялась проволочная спираль 1. Концы спирали припаивались к полуосям O_1O_2 и при помощи скользящих контактов 2 (щеток) присоединялись к чувствительному электроизмерительному прибору — гальванометру 3. Катушку сначала приводили в быстрое вращение и затем резко останавливали. В момент остановки катушки стрелка гальванометра отклонялась. По направлению отклонения стрелки гальванометра было установлено, что носителями заряда являются отрицательно заряженные частицы. Для проведения опытов проволочная спираль изготавливалась из разных веществ: меди, алюминия, серебра. Во всех случаях измеренное отношение заряда частицы к ее массе (q/m) — *удельный заряд частицы* — оказывалось близким к значению удельного заряда электрона (e/m). Удельный заряд электрона, определенный более точными способами, равняется $e/m = 1,76 \cdot 10^{11}$ Кл/кг. В опытах удельный заряд оказался равным: у меди $1,60 \times 10^{11}$ Кл/кг, у серебра $1,49 \cdot 10^{11}$ Кл/кг, у алюминия $1,54 \cdot 10^{11}$ Кл/кг. Разница между полученными результатами и удельным зарядом электрона составляет от 9 до 15%, что для таких сложных опытов не выходит за пределы погрешности измерений. Таким образом, опыты показали, что в металлах имеются *свободные электроны*. Эти опыты явились одним из наиболее важных подтверждений справедливости электронной теории металлов.

Движение электронов в металле. В металлическом проводнике свободные электроны из-за многочисленных столкновений с атомами кристаллической решетки движутся беспорядочно (хаотично) в разных направлениях (см. рис. 28). На рисунке 30, а изображено тепловое (хаотическое) движение одного из электронов.

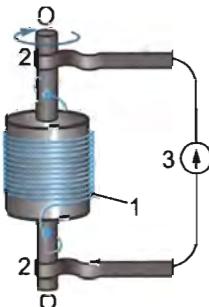
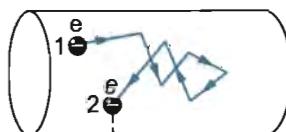


Рис. 29. Схема опыта Стюарта—Толмена

а)



б)

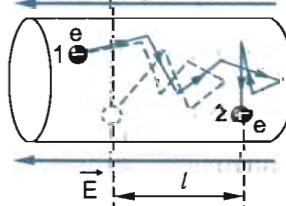


Рис. 30. Траектория движения электрона в металлическом проводнике: а) хаотическое движение электрона; б) наложение упорядоченного движения электрона на хаотическое в электрическом поле

Если в проводнике создать однородное электрическое поле, то на каждый электрон со стороны поля будет действовать сила. Под действием этой силы электроны, сохраняя свое тепловое движение, приобретают дополнительную, *дрейфовую* скорость и начинают медленно перемещаться по направлению, противоположному направлению линий напряженности приложенного электрического поля (рис. 30, б). Расчеты показывают, что скорость теплового движения электронов превышает среднюю скорость их упорядоченного движения примерно в миллиард раз.

В металлическом проводнике, помещенном в электрическое поле, происходит наложение упорядоченного движения электронов на их хаотическое (тепловое) движение.

Основные положения классической электронной теории металлов. Теория, объясняющая электрические свойства тел наличием в них свободных электронов и их движением, носит название **электронная теория**.

Основные положения классической электронной теории металлов

1. Металлы имеют кристаллическую решетку, в узлах которой находятся положительные ионы. Ионы совершают колебательное движение около своих положений равновесия.

2. Между узлами кристаллической решетки движутся свободные электроны, называемые электронами проводимости. Свободные электроны (электроны проводимости) могут перемещаться по всему объему металла.

3. В отсутствие электрического поля из-за многочисленных столкновений движение свободных электронов хаотично (беспорядочно).

4. При наличии внешнего электрического поля на хаотическое движение свободных электронов накладывается их упорядоченное (направленное) движение. При этом дрейф каждого электрона будет определяться двумя факторами: действием внешнего электрического поля и столкновениями со встречными частицами.

Построить количественную теорию движения электронов в металле на основе классической механики оказалось невозможным. Она была создана на основе более общей теории — квантовой теории.

-
- ? 1. Какие заряды называют свободными зарядами? связанными зарядами? 2. Какие вещества относятся к проводникам? диэлектрикам? полупроводникам? Приведите примеры проводников, диэлектриков, полупроводников. 3. Как было доказано, что в металлах движутся свободные электроны? 4. Почему электроны движутся противоположно линиям напряженности электрического поля? 5. Назовите основные положения классической электронной теории металлов.
-

● * Используя рисунки 28 и 30, расскажите об особенностях движения свободных электронов в металлах (при отсутствии и при наличии электрического поля). Какие факторы влияют на дрейф электронов проводимости?

§ 6. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ТОК В МЕТАЛЛАХ. СИЛА ТОКА

Что такое электрический ток. В предыдущем параграфе мы выяснили, что положительные ионы образуют «остов» металла и не могут перемещаться по проводнику. Движение ионов — это колебания около узлов кристаллической решетки металлов. Свободные электроны могут перемещаться по всему объему. Если внутри металла электрического поля нет, то движение электронов хаотично. Вследствие хаотичности в каждом направлении будет двигаться столько же электронов, сколько и в противоположном. Поэтому суммарный заряд, переносимый через любую площадку внутри металла, будет равен нулю. Если же создать электрическое поле, то наряду с беспорядочным (тепловым) движением свободные электроны будут перемещаться как целое, возникает **электрический ток**. Электрический ток существует только тогда, когда происходит перенос электрических зарядов с одного места проводника на другое.

Электрический ток в металлах — упорядоченное (направленное) движение свободных электронов под действием электрического поля.

Впервые термин «электрический ток» был введен французским ученым Андре-Мари Ампером в 1820 г. в «Труде, представленном Королевской Академии наук...».

Ампér Андрé-Мari (1775—1836) — французский физик, математик и химик. Основные научные достижения по электродинамике. В 1826 г. вышел его основной труд «Теория электродинамических явлений», выведенная исключительно из опыта». Разграничивал электростатические и электромагнитные явления, ввел терминологию, связанную с током (электродинамика, электрический ток, напряжение, гальванометр, соленоид и др.). Открыл взаимодействие проводников с током и установил, что параллельные проводники с токами, текущими в одном направлении, притягиваются, а в противоположных — отталкиваются. Объяснил природу магнетизма. Обнаружил влияние магнитного поля Земли на движущиеся проводники с током. Его именем названа единица силы тока — ампер.



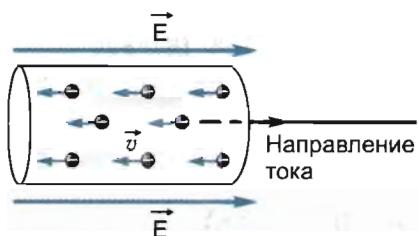


Рис. 31. Направление тока в металлическом проводнике

направление тока считают противоположным направлению движения частиц (т. е. противоположным скорости упорядоченного движения электронов \vec{v}) (рис. 31).

?? Направление тока в металлическом проводнике противоположно направлению движения электронов, но всегда совпадает с направлением напряженности электрического поля.

Действия электрического тока. Электрический ток имеет большое практическое значение: дает тепло и свет, приводит в движение станки и аппараты, создает радиоволны, циркулирует во всех компьютерах, телефонах, многочисленных электро-приборах. Движение заряженных частиц в проводнике мы видеть не можем. Однако о наличии тока можно судить по различным явлениям, которые вызывает электрический ток. Такие явления называют *действиями тока*.

Проводник, по которому идет ток, нагревается. В этом случае проявляется *тепловое действие тока*. Благодаря тепловому действию тока раскаляется добела вольфрамовая нить в лампе накаливания, нагревается нагревательный элемент в утюге, кипятильнике, чайнике или электроплитке. Тепловое действие тока отсутствует только в сверхпроводниках (причину этого вы узнаете в старших классах).

Электрический ток может изменять химический состав проводника. Это *химическое действие тока*. Химическое действие тока проявляется при прохождении тока через растворы или расплавы электролитов. Так, при пропускании электрического тока через подкисленную воду она разлагается на водород и кислород, при пропускании тока через раствор медного купороса из раствора на одном из электродов выделяется медь.

Электрический ток оказывает *магнитное действие*. Убедиться в этом позволяет эксперимент. Если вдоль проводника расположить ось магнитной стрелки (рис. 32, а), то при пропускании тока магнитная стрелка поворачивается (рис. 32, б). При изменении направления тока изменяется направление

Направление электрического тока. Электрический ток имеет определенное направление. Выбор направления тока был предложен Ампером:

• за направление тока принимают направление движения положительно заряженных частиц. Поскольку в металлах движутся отрицательно заряженные электроны, то

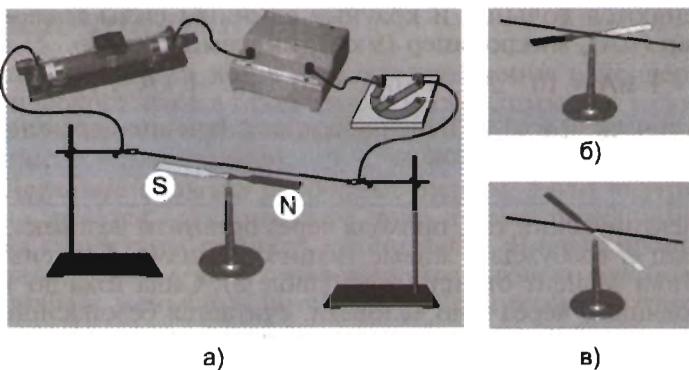


Рис. 32. Магнитное действие электрического тока

поворота магнитной стрелки (рис. 32, в). Впервые действие электрического тока на магнитную стрелку обнаружил датский физик Ханс Кристиан Эрстед в 1820 г. На магнитном действии электрического тока основана работа электрических двигателей, электроизмерительных приборов и др. Магнитное действие тока проявляется всегда.

Сила тока. Для количественной характеристики тока введено понятие **сила тока**.

Силой тока называется величина, равная отношению электрического заряда, прошедшего через поперечное сечение проводника, ко времени его прохождения:

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

где I — сила тока; *скалярная величина*; q — заряд, прошедший через поперечное сечение проводника; t — время прохождения тока.

Единица силы тока в СИ — ампер (А): $[I] = \text{Кл}/\text{с} = \text{А}$.

Единица силы тока названа в честь А.-М. Ампера. Ампер является одной из основных единиц в Международной системе единиц (СИ). (Более строгое определение ампера будет дано в старших классах.)

Эрстед Ханс Кристиан (1777—1851) — датский физик. Работы посвящены электродинамике, молекулярной физике. В 1820 г. обнаружил действие электрического тока на магнитную стрелку. Одним из первых высказал (1821) мысль, что свет — электромагнитное явление. Экспериментально изучал сжимаемость и упругость жидкостей и газов. Блестящий лектор и популяризатор науки.



Применяются дольные и кратные единицы силы тока — миллиампер (mA), микроампер (мкА), килоампер (кА):

• $1 \text{ mA} = 10^{-3} \text{ A}$, $1 \text{ мкA} = 10^{-6} \text{ A}$, $1 \text{ кA} = 10^3 \text{ A}$.

Электрический ток, не изменяющийся с течением времени, называется постоянным током.

• Электрический ток, проходя через организм человека, раздражает и возбуждает живые ткани организма. Степень воздействия зависит от силы тока (табл. 3). Сила тока до 1 mA, проходящего через тело человека, считается безопасной.

Таблица 3
Воздействие постоянного тока на человека

Сила тока I , mA	Характер воздействия
До 3	Не ощущается
5—10	Зуд, ощущение нагрева
12—15	Усиление нагрева
20—25	Сокращение мышц рук
50—80	Судороги в руках, затруднение дыхания
90—100	Паралич дыхания

? 1. Дайте определение электрического тока. 2. Кто из ученых впервые ввел термин «электрический ток»? 3. Движение каких частиц Ампер предложил считать за направление тока? 4. Каково направление тока в металлическом проводнике? 5. По каким действиям можно судить о наличии тока в проводнике? Ответ обоснуйте примерами. Какое действие тока проявляется всегда? 6. Какой ток называют постоянным?

• 1. Расскажите о **силе тока** по следующему плану: 1) определение силы тока; 2) формула для расчета силы тока; величины, входящие в эту формулу; 3) единицы силы тока.

2. Постоянный электрический ток оказывает влияние на организм человека. Используя данные таблицы 3, найдите характер воздействия на человека тока 10 mA и 60 mA. Какой ток не ощущается человеком?

■ 1. Молния воспринимается глазом как вспышка. При вспышке молнии по ее каналу протекает заряд 20 Кл. Длительность вспышки равна 0,2 с. Чему равен ток, протекающий по каналу молнии?

2. Сила тока в цепи электрического фонарика равна 0,3 А. Какой электрический заряд проходит за 5 мин работы фонарика?

§ 7. ИСТОЧНИКИ ТОКА

Роль источника тока. Для возникновения и поддержания электрического тока в проводнике необходимы два условия:

1. Наличие свободных заряженных частиц (в металлическом проводнике — электронов).

2. Действие силы на свободные заряды. Если внутри проводника имеется электрическое поле, то между концами проводника существует разность потенциалов. Внутри проводника свободные заряды могут перемещаться только от большего потенциала к меньшему потенциальному. Если разность потенциалов не изменяется с течением времени, в проводнике устанавливается постоянный ток.

Для поддержания в проводнике тока необходимо устройство, в котором постоянно совершаются работы по разделению положительно и отрицательно заряженных частиц, чтобы между концами проводника поддерживалась определенная разность потенциалов. Разделенные частицы накапливаются на полюсах устройства — местах, к которым с помощью клемм или зажимов подсоединяются проводники. Один полюс источника заряжается *положительно*, другой — *отрицательно*.

Устройство, создающее и поддерживающее разность потенциалов на концах проводника, называют **источником тока**.

В источниках тока в процессе работы по разделению заряженных частиц происходит превращение механической, внутренней, химической или какой-нибудь другой энергии в электрическую.

Гальванические элементы. Аккумуляторы. В начале XIX в. был создан первый источник постоянного тока — *гальванический элемент* (назван по имени итальянского врача и анатома Луиджи Гальвани (1737—1798)). В гальваническом элементе энергия, выделяемая в электрической цепи, получается за счет энергии, которая освобождается при химических реакциях. (С устройством и принципом действия гальванического элемента вы познакомитесь в старших классах.)

Разнообразные гальванические элементы широко используются и в настоящее время. Наиболее распространенные гальванические элементы — источники тока — изображены на рисунках 33, 34. Такие гальванические элементы применяются в радиотехнике для питания приемников, в портативных магнитофонах, в электронных часах и калькуляторах, в некоторых измерительных приборах, в слуховых аппаратах для людей, потерявшими слух, в детских игрушках, в карманных фонариках и т. д.

В современной электротехнике, в автомобильном транспорте широко используются *аккумуляторы* (от лат. *accumulator* — собиратель, накопитель) — устройства для накопления энергии с целью последующего получения электрического тока. В от-



Рис. 33. Ртутная батарейка:
а) внешний вид; б) схема уст-
ройства



Рис. 34. Батарейки — источники тока:
а) внешний вид плоской батарейки; б) внеш-
ний вид цилиндрической батарейки; в) схе-
ма устройства цилиндрической батарейки

личие от батареек аккумуляторы можно заряжать энергией по мере ее расходования.

Аккумуляторы, используемые в автомобилях, нужны для запуска двигателя при помощи стартера (специального электродвигателя) или для освещения салона при остановках. Аккумуляторы применяют для освещения на стоянках железнодорожных составов, курсирующих по дорогам, где нет электротяги.

Аккумуляторы применяются на небольших электростанциях, использующих энергию ветра. Когда дует ветер и электрические генераторы работают на полную мощность, часть энергии идет на зарядку аккумуляторов. Затем запасенную энергию расходуют по мере необходимости и независимо от метеорологических условий.

Аккумуляторы используются в подводных лодках (кроме атомных), в электро карах (электрических грузовых тележках), в электромобилях (автомобилях с электрическими двигателями), для питания переносной радиоаппаратуры, мобильных телефонов и во многих других случаях.

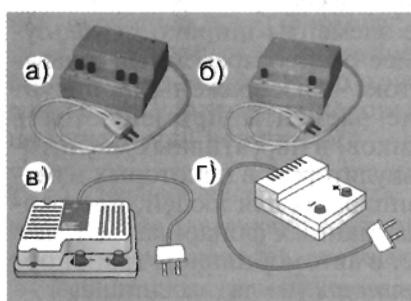


Рис. 35. Источники электропитания

В лабораторных экспериментах вы будете применять специальные источники тока — источники электропитания. На рисунке 35 изображены различные источники электропитания. Обратите внимание: на всех источниках имеются клеммы с указанием знаков «+» и «-». На рисунке 35, а две клеммы, рядом с которыми стоит знак «~». Этот знак означает переменный ток.

? 1. Какие условия необходимы для возникновения и поддержания электрического тока в проводнике? 2. Какое устройство называется источником тока? 3. Какие превращения энергии происходят в источнике тока?

- 1. Выясните, в каких устройствах или приборах у вас дома используются гальванические элементы.
- * 2. На рисунке 33, б изображено устройство батарейки, используемой в часах, калькуляторах, лазерных указках, слуховых аппаратах. Каков принцип действия такой батарейки? (Если вопрос вызвал затруднение, то попросите дополнительный материал у учителя.)
- * 3. На рисунке 34, в изображено устройство батарейки, используемой в часах, в радиоприемниках. Каков принцип действия такой батарейки? (Если вопрос вызвал затруднение, то попросите дополнительный материал у учителя.)

§ 8. ИЗМЕРЕНИЕ СИЛЫ ТОКА

Амперметр. Для измерения силы тока пользуются специальным прибором — *амперметром*. На рисунке 36 изображен внешний вид демонстрационного (рис. 36, а) и лабораторного (рис. 36, б) амперметров, а также условное обозначение (рис. 36, в). (С устройством и принципом действия этого измерительного прибора познакомитесь позже — см. § 21.) Сейчас обратите внимание на правила пользования амперметром.

? *При измерении силы тока надо помнить:*

1. Амперметр включают в цепь *последовательно* с тем прибором, силу тока в котором измеряют.

2. Клемму со знаком «+» нужно обязательно соединять с проводом, идущим от положительного полюса источника тока. Клемму со знаком «—» (иногда знака «—» нет) — с проводом, идущим от отрицательного полюса источника тока.

3. Амперметр можно включать в любое место электрической цепи, соблюдая полярность включения (см. п. 2).

4. Лабораторный амперметр — прибор горизонтального расположения. Поэтому при измерениях он должен располагаться горизонтально относительно поверхности стола.

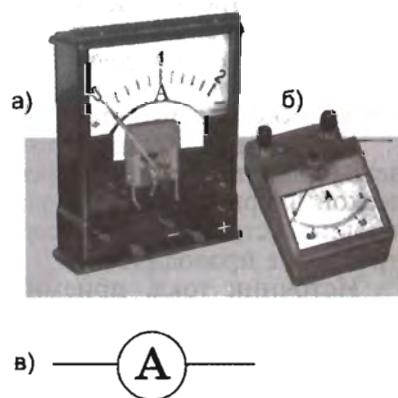


Рис. 36. Амперметр

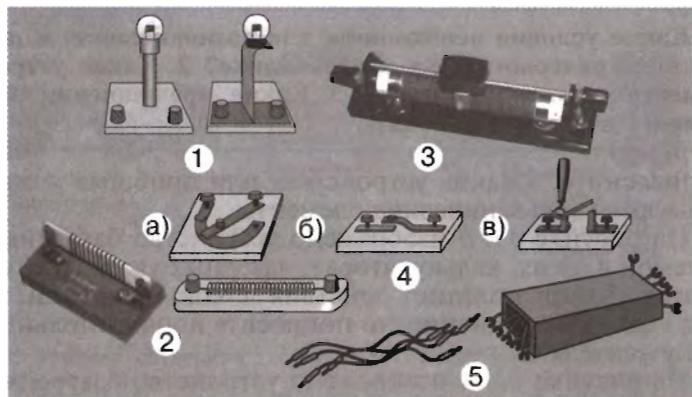


Рис. 37. Элементы электрической цепи: 1 — лампочка на подставке; 2 — резистор проволочный; 3 — реостат ползунковый; 4 — ключ (а — обычный; б — кнопочный; в — демонстрационный); 5 — соединительные провода

Составные части электрической цепи. Энергия источника тока используется приемником или потребителем электрической энергии. К нему относятся: лампы, электродвигатели, разнообразные приборы и устройства.

Для того чтобы электрическую энергию доставить к приемникам, используют соединительные провода.

Чтобы включить или выключить потребители электрической энергии, применяют замыкающие или размыкающие устройства: ключи, выключатели, кнопки, рубильники.

На рисунке 37 изображены некоторые приемники электрической энергии (1, 2, 3), замыкающие устройства (4), соединительные провода (5).

Источник тока, приемники электрической энергии, замыкающие устройства, соединенные между собой проводами, составляют **электрическую цепь**. Для того чтобы в цепи был ток, она

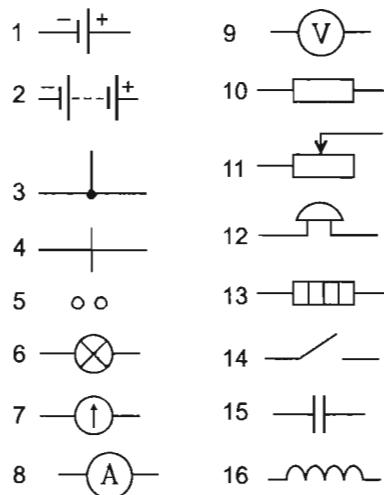


Рис. 38. Условные обозначения, применяемые на схемах: 1 — источник тока; 2 — батарея источников тока; 3 — соединение проводов; 4 — пересечение проводов (без соединения); 5 — зажимы для подключения какого-нибудь прибора; 6 — лампа накаливания; 7 — гальванометр; 8 — амперметр; 9 — вольтметр; 10 — резистор проволочный; 11 — реостат ползунковый; 12 — электрический звонок; 13 — нагревательный элемент; 14 — ключ; 15 — конденсатор; 16 — катушка

должна быть замкнутой проводниками электрического тока. При обрыве провода или разомкнутом ключе ток в цепи прекращается.

Соединение проводников, способы включения различных приборов графически изображают на специальных чертежах — **электрических схемах**. При этом применяют стандартные обозначения. На рисунке 38 приведены условные обозначения составных частей электрической цепи.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 1

СБОРКА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЦЕПИ И ИЗМЕРЕНИЕ СИЛЫ ТОКА НА РАЗЛИЧНЫХ УЧАСТКАХ ЦЕПИ

Приборы и материалы: источник тока, амперметр, резистор, лампочка на подставке, ключ, соединительные провода.

1. Начертите схему электрической цепи (рис. 39). Назовите составные части этой схемы, обозначенные цифрами 1, 2, 3, 4, 5.

2. Изучите шкалу амперметра. Каковы нижний и верхний пределы измерения прибора? Какова цена деления и инструментальная погрешность измерительного прибора?

3. Используя схему (рис. 40), соберите электрическую цепь. Замкните цепь и запишите в таблицу показание амперметра с учетом инструментальной погрешности прибора.

4. Соберите электрическую цепь, подключив амперметр между лампочкой 4 и резистором 3. Замкните цепь и запишите в таблицу показание амперметра с учетом инструментальной погрешности прибора.

5. Соберите электрическую цепь, подключив амперметр между лампочкой 4 и ключом 5. Замкните цепь и запишите в таблицу показание амперметра с учетом инструментальной погрешности прибора.

Нельзя присоединять амперметр к зажимам источника тока без какого-либо приемника тока, соединенного последовательно с амперметром.

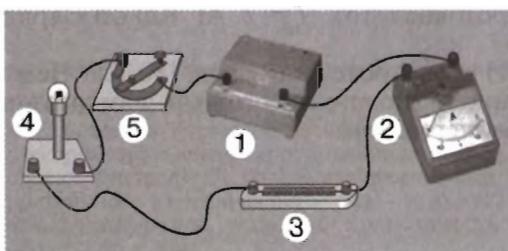


Рис. 39

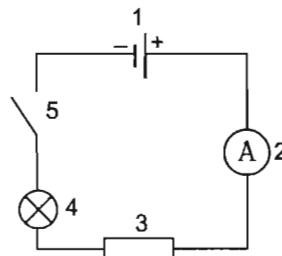


Рис. 40

№ опыта	Положение амперметра	Показание амперметра I , А
1	1—3	
2	3—4	
3	4—5	

6. Проанализируйте результаты измерений и запишите вывод в тетрадь.

? 1. Какие правила необходимо соблюдать при включении амперметра в электрическую цепь? 2. Из каких частей состоит электрическая цепь? 3. Какие условия должны выполняться, чтобы в цепи был ток?

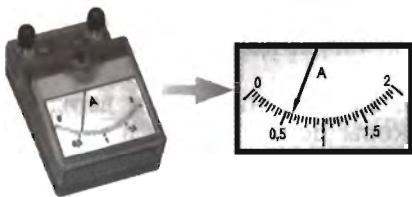


Рис. 41

Часть 2

1. Выясните: а) какие потребители электрической энергии имеются у вас дома; б) какие замыкающие и размыкающие устройства имеются у вас дома.

2. На рисунке 41 изображен измерительный прибор.

1) Как называется этот прибор? 2) Как этот прибор включается в электрическую цепь?

3) Какова полярность включения прибора в электрическую цепь? 4) Используя рисунок 41, заполните таблицу.

Предел измерения		Цена деления	Инструментальная погрешность	Показание прибора
нижний	верхний			

5) Используя показания прибора, рассчитайте заряд, прошедший по проводнику за 5 мин.

3. По проводнику протекает ток $I = 2$ А. Какой заряд пройдет по нему за 5 мин?

4. По проводнику за 15 мин протекает заряд 180 Кл. Чему равна сила тока в проводнике? Можно ли этот ток измерить с помощью лабораторного амперметра?

§ 9. ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ НАПРЯЖЕНИЕ. ИЗМЕРЕНИЕ НАПРЯЖЕНИЯ

Электрическое напряжение. Ранее мы выяснили (см. § 7), что электроны в проводнике (во внешней части цепи) могут перемещаться от большего потенциала к меньшему потенциалу; в цепи возникает электрический ток. Таким образом, для получения тока достаточно создать разность потенциалов между какими-либо точками проводника. При этом электрическое поле совершает работу по перемещению электронов.

Отношение работы, совершающейся электрическим полем по перемещению положительного заряда из одной точки поля в другую, к перемещаемому заряду называют электрическим напряжением (или просто напряжением).

Напряжение на зажимах источника тока измеряется работой электрического поля по перемещению положительного заряда вдоль пути, лежащего вне источника. В этом случае электрическое напряжение равно разности потенциалов на зажимах источника тока.

Формула расчета напряжения



$$U = A/q,$$

где U — электрическое напряжение; A — работа, совершающаяся электрическим полем по перемещению зарядов в проводнике; q — перемещаемый заряд.

Единица напряжения в СИ — вольт (1 В): $[U] = \text{Дж}/\text{Кл} = \text{В}$. Названа в честь итальянского ученого Александра Вольта.

• Один вольт (1 В) равен такому электрическому напряжению на концах проводника, при котором при перемещении заряда в один кулон (1 Кл) электрическим полем совершается работа, равная одному джоулю (1 Дж).

Применяются дальние и кратные единицы напряжения — милливольт (мВ), микровольт (мкВ), киловольт (кВ), мегавольт (МВ):

$$\begin{aligned} 1 \text{ мВ} &= 10^{-3} \text{ В} \\ 1 \text{ кВ} &= 10^3 \text{ В} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 1 \text{ мкВ} &= 10^{-6} \text{ В} \\ 1 \text{ МВ} &= 10^6 \text{ В} \end{aligned}$$

Вольта Александро (1745–1827) — итальянский физик, химик и физиолог. В числе его изобретений — электрометр, электроскоп, конденсатор и др. Описал проект телеграфа. В 1800 г. изобрел первый источник постоянного электрического тока — вольтов столб. Наблюдал диффузию, установил проводимость пламени, обнаружил метан.

Его именем названа единица электрического напряжения — вольт.



В таблице 4 приведены значения напряжений, используемые в различных технических устройствах и в бытовых приборах.

Таблица 4
Напряжения, встречающиеся на практике

Устройство, прибор	Напряжение U , В
Аппарат для контактной сварки	0,1
Батарейка	1—9
Электрическая бритва, пылесос, электрическая плитка и другие бытовые приборы	220
Двигатель троллейбуса	550
Контактная сеть постоянного тока троллейбусов и трамваев	600
Контактная сеть постоянного тока электропоездов метрополитена	800
Двигатель электровоза	1500
Контактная сеть постоянного тока магистральных электровозов	3000
Кинескоп телевизора	16 000
Рентгеновская медицинская установка	70 000
Электронный микроскоп	130 000

Безопасным для человека считается электрическое напряжение, равное 12 В (в сыром помещении) и 36 В (в сухом помещении). Осторожность необходимо соблюдать и при использовании приборов, работающих при низких напряжениях: в зависимости от внешних условий (влажности, температуры и др.), состояния организма напряжение в несколько десятков вольт может оказаться опасным для жизни. Высокое же напряжение опасно для живых организмов.

Вольтметр. Для измерения электрического напряжения используют специальный прибор — *вольтметр*. На рисунке 42 изображен внешний вид демонстрационного (рис. 42, а) и лабораторного (рис. 42, б) вольтметров и указано их условное обозначение (рис. 42, в). (С устройством и принципом действия измерительного прибора вы познакомитесь, изучив § 21.) Сейчас обратите внимание на правила пользования вольтметром.

• *При измерении напряжения надо помнить:*

1. Вольтметр включают в цепь *параллельно* с тем прибором, напряжение на клеммах которого измеряют (т. е. зажимы вольтметра присоединяют к тем точкам цепи, между которыми надо измерить напряжение).

2. Полярность включения вольтметра: клемму со знаком «+» нужно обязательно соединять с проводом, идущим от положительного полюса источника тока. Клемму со знаком «-» — с проводом, идущим от отрицательного полюса источника тока.

3. Вольтметр можно подключать параллельно к любому прибору электрической цепи, соблюдая полярность включения.

4. Для измерения напряжения на полюсах источника тока вольтметр подключают непосредственно к клеммам источника тока, соблюдая полярность включения (рис. 43).

5. Лабораторный вольтметр — прибор горизонтального расположения. Поэтому при измерениях он должен располагаться горизонтально относительно поверхности стола.

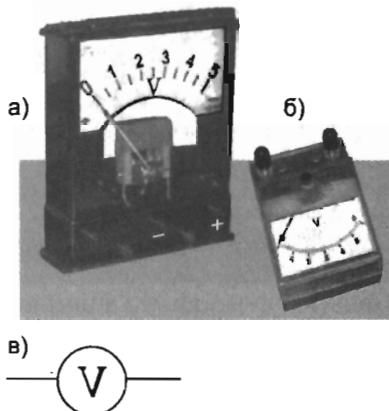


Рис. 42. Вольтметр

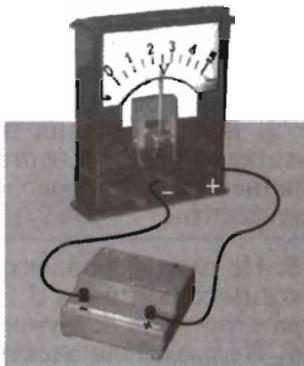


Рис. 43. Измерение напряжения на полюсах источника тока

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 2

ИЗМЕРЕНИЕ НАПРЯЖЕНИЯ НА РАЗЛИЧНЫХ УЧАСТКАХ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЦЕПИ

Приборы и материалы: источник тока, реостат, лампочка на подставке, резистор, ключ замыкания тока, вольтметр, соединительные провода.

◆ 1. Начертите схему электрической цепи (рис. 44). Назовите составные части этой схемы, обозначенные цифрами 1, 2, 3, 4, 5.

2. Изучите шкалу вольтметра. Каковы нижний и верхний пределы измерения прибора? Какова инструментальная погрешность вольтметра?

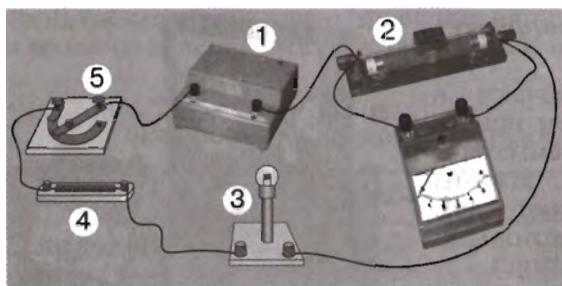


Рис. 44

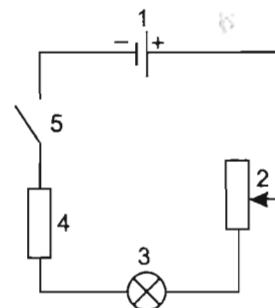


Рис. 45

3. Используя схему (рис. 45), соберите электрическую цепь. Замкните цепь и с помощью ползунка реостата 2 добейтесь яркого свечения лампочки.

4. Не размыкая электрическую цепь, измерьте напряжение на зажимах реостата 2 (см. рис. 44). Запишите в таблицу показание вольтметра с учетом инструментальной погрешности прибора.

! 1. При измерении напряжения вольтметр можно присоединять к любой точке соединительного провода.

2. Для измерения напряжения на концах какого-либо участка к концам этого участка достаточно прикоснуться наконечниками проводов от вольтметра, не закрепляя их под зажимы.

5. Не размыкая электрическую цепь, измерьте напряжение на зажимах лампочки 3. Запишите в таблицу показание вольтметра с учетом инструментальной погрешности прибора.

6. Не размыкая электрическую цепь, измерьте напряжение на зажимах проволочного резистора 4. Запишите в таблицу показание вольтметра с учетом инструментальной погрешности прибора.

7. Не размыкая электрическую цепь, измерьте напряжение на зажиме реостата 2, соединенного с ползунком, и на зажиме проволочного резистора 4, обращенного к ключу. Запишите в таблицу показание вольтметра.

№ опыта	Положение вольтметра	Показание вольтметра U , В
1	2	
2	3	
3	4	
4	2—4	

8. Проанализируйте результаты измерений и запишите вывод в тетрадь.

? 1. Каким прибором можно измерить напряжение? 2. Какие правила необходимо соблюдать при включении вольтметра в электрическую цепь? 3. Что означает утверждение: «Напряжение на зажимах лампочки равно 4 В»?

■ 1. Расскажите об **электрическом напряжении** по следующему плану: 1) определение напряжения; 2) формула для расчета напряжения; 3) величины, входящие в эту формулу; 4) единица напряжения.

2. Используя данные таблицы 4, определите: а) в каком устройстве или приборе наибольшее и наименьшее напряжение; б) какое напряжение в контактной сети постоянного тока троллейбусов, трамваев, электропоездов метрополитена, магистральных электровозов.

3. Используя рисунок 43, запишите в тетрадь показание вольтметра с учетом инструментальной погрешности прибора.

4. На рисунке 46 изображен измерительный прибор.

1). Как называется измерительный прибор? 2) Как этот прибор включается в электрическую цепь? 3) Какова полярность включения прибора в электрическую цепь? 4) Используя рисунок, заполните таблицу.

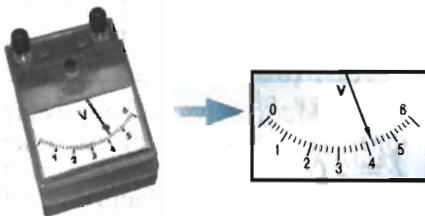


Рис. 46

Предел измерения		Цена деления	Инструментальная погрешность	Показание прибора
нижний	верхний			

5. Какую работу может совершить электрическое поле по перемещению электрического заряда в 12 Кл, если показание вольтметра такое же, как на рисунке 46?

§ 10. ЗАКОН ОМА ДЛЯ УЧАСТКА ЦЕПИ. ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ

Для любого проводника (твердого, жидкого, газообразного, плазменного) существует определенная зависимость силы тока от приложенного напряжения (разности потенциалов). Эту зависимость для металлического проводника вы можете получить самостоятельно, выполнив лабораторную работу.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 3

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТИ СИЛЫ ТОКА ОТ НАПРЯЖЕНИЯ ДЛЯ ДАННОГО ПРОВОДНИКА

Приборы и материалы: источник тока, реостат, резистор, амперметр, вольтметр, ключ, соединительные провода.

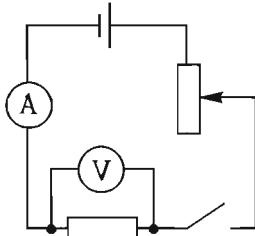


Рис. 47

1. По схеме, изображенной на рисунке 47, соберите электрическую цепь.

2. Установите ползунок реостата в такое положение, при котором вольтметр и амперметр показывают целое число. Запишите показания приборов в таблицу с учетом их инструментальной погрешности.

3. Изменяя положение ползунка реостата, снимите и запишите в таблицу показания амперметра и вольтметра с учетом их инструментальной погрешности. Опыты проведите не менее трех раз.

№ опыта	Сила тока I , А	Напряжение U , В

4. Используя экспериментальные данные, постройте график зависимости силы тока от приложенного напряжения $I = I(U)$. По оси абсцисс отложите напряжение, по оси ординат — силу тока. Масштаб выберите самостоятельно. Что является линией графика?

5. На основе анализа графика сделайте вывод о зависимости силы тока в проводнике от приложенного напряжения.

Нет сомнения в том, что по результатам эксперимента вами получена зависимость $I \sim U$. Эту функциональную зависимость можно записать в следующем виде:

$$I = kU,$$

где k — коэффициент пропорциональности, называемый *проводимостью проводника*.

Сила тока для данного проводника прямо пропорциональна приложенному напряжению.

Впервые такую зависимость между током I и напряжением U для металлов экспериментально получил немецкий физик Георг Симон Ом. Он проводил эксперименты с проволоками разной длины и разной толщины, изготовленными из разных металлов, и даже проводил опыты при различных темпера-

турах. Результаты экспериментов были опубликованы Омом в 1826 г. В честь его эта зависимость получила название **закон Ома для участка цепи**.

Закон Ома для участка цепи — один из основных законов электродинамики. Закон Ома для участка цепи является эмпирическим, а не фундаментальным законом природы. Однако для металлов он выполняется достаточно точно в широких пределах. Закон Ома справедлив для любых проводников: и твердых, и жидкых.

График зависимости силы тока в проводнике от приложенного к нему напряжения называют *вольт-амперной характеристикой*. Вольт-амперной характеристикой металлического проводника является *прямая, проходящая через начало координат* (рис. 48). Для металлических проводников, температура которых значительно меняется при прохождении по ним тока, форма вольт-амперной характеристики может быть более сложной.

★ Получение соотношения между силой тока, напряжением и свойствами проводника (закон Ома для участка цепи) оказалось очень сложной экспериментальной задачей. Во времена Г. Ома изучение свойств электрических токов только начиналось, еще не существовало амперметров и вольтметров. К тому же источники тока — гальванические элементы — отличались нестабильностью. Ом создал экспериментальную установку, в которой сила тока измерялась по отклонению магнитной стрелки, помещенной над проволокой, по которой пропускался ток.

Электрическое сопротивление. В законе Ома для участка цепи коэффициент пропорциональности k — проводимость проводника — не зависит от напряжения на концах проводника и от силы тока в нем.

Величину, обратную проводимости проводника, называют **электрическим сопротивлением** или просто **сопротивлением** проводника.

Сопротивление обозначается буквой латинского алфавита R (читается «эр»).



$$R = 1/k.$$

Выразим проводимость проводника $k = 1/R$ и подставим в закон Ома для участка цепи: $I = k \cdot U \Rightarrow$



$$I = U/R.$$

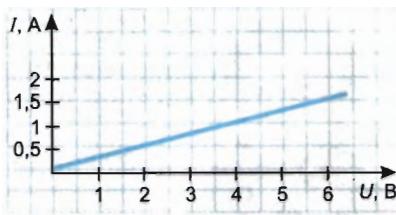


Рис. 48



Ом Георг Симон (1787—1854) — немецкий физик. В 1826 г. экспериментально открыл основной закон электрической цепи, связывающий силу тока, напряжение и сопротивление (закон Ома). Ввел понятия: электродвижущая сила, падение напряжения, проводимость. Его именем названа единица электрического сопротивления — ом.

Из закона Ома для участка цепи выражим сопротивление: $R = U/I$.

Отсюда получаем единицу сопротивления в СИ — ом (1 Ом): $[R] = \text{В/А} = \text{Ом}$. Названа в честь Г. Ома.

Один ом (1 Ом) — сопротивление проводника, в котором при напряжении на его концах в один вольт (1 В) сила тока в нем равна одному амперу (1 А).

• Термин «сопротивление» употребляется в двух смыслах:

1) *электрическое сопротивление* — величина, определяющая силу тока при заданном напряжении. В этом смысле говорят: провод имеет сопротивление 4 Ом или лампа накаливания обладает сопротивлением 800 Ом;

2) *резистор* (от лат. *resisto* — сопротивляюсь) — проводник с определенным постоянным сопротивлением. Резистор предназначен для включения в электрическую цепь с целью регулирования, уменьшения или ограничения тока в цепи. Резисторы широко используются в электрических приборах и устройствах, в микроэлектронике.

Причина электрического сопротивления. Вы знаете, что в металлическом проводнике носителями тока являются свободные электроны. Почему же для поддержания длительного тока в проводнике нужно все время поддерживать разность потенциалов (напряжение) на концах проводника? Причина в том, что электроны при своем движении испытывают соударения с ионами кристаллической решетки (см. рис. 28). При этом электроны, обладавшие перед соударением некоторой скоростью упорядоченного движения, после соударения будут отскакивать в произвольных, случайных направлениях, что уменьшает скорость упорядоченного движения электронов (электрический ток). Если электрическое поле внутри проводника станет равным нулю, то ток прекратится из-за соударений электронов с узлами кристаллической решетки.

Энергия упорядоченного движения электронов переходит в энергию теплового движения электронов и ионов — проводник нагревается.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 4

ИЗМЕРЕНИЕ СОПРОТИВЛЕНИЯ ПРОВОДНИКА С ПОМОЩЬЮ АМПЕРМЕТРА И ВОЛЬТМЕТРА

Приборы и материалы: источник тока, резистор, реостат, амперметр, вольтметр, ключ, соединительные провода.

◆ 1. Используя закон Ома для участка цепи, выразите сопротивление проводника: $R = U/I$.

2. Начертите в тетради схему электрической цепи, изображенной на рисунке 49.

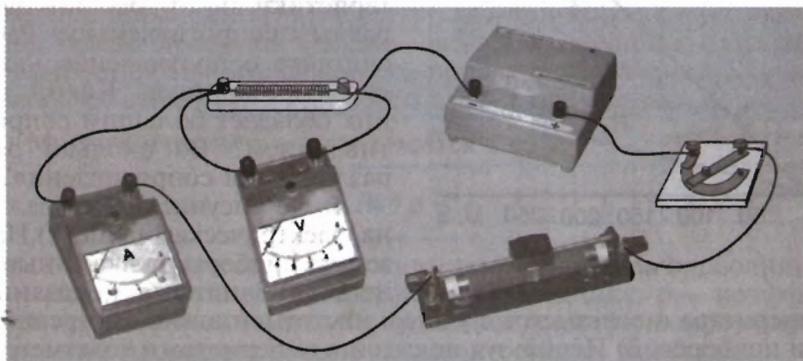


Рис. 49

3. Соберите электрическую цепь, снимите показания приборов и запишите их в таблицу с учетом инструментальной погрешности амперметра и вольтметра.

4. Изменяя положение ползунка реостата, снимите показания амперметра и вольтметра, запишите их в таблицу с учетом инструментальной погрешности приборов. Проведите не менее трех измерений.

5. Рассчитайте сопротивление проводника и запишите его значение в таблицу.

№ опыта	Сила тока I , А	Напряжение U , В	Сопротивление R , Ом

6. Сравните полученное вами значение сопротивления с тем, которое указано на пластмассовом основании резистора.

? 1. Почему закон Ома для участка цепи относят к эмпирическим законам? 2. Что понимают под электрическим сопротивлением? 3. Какова единица сопротивления? 4. Какова причина электрического сопротивления металлического проводника?

1. Расскажите о **законе Ома для участка цепи** по следующему плану: 1) связь между какими величинами выражает закон; 2) какова формулировка закона; 3) какова математическая запись закона; 4) изобразите вольт-амперную характеристику для металлического проводника; 5) каковы условия применимости закона.

2. Используя рисунок 48, определите сопротивление резистора.

3. На рисунке 50 изображены вольт-амперные характеристики двух проводников с разным сопротивлением. Расчитайте сопротивление каждого проводника. Какой из них обладает большим сопротивлением? Во сколько раз различаются сопротивления?

4. На рисунке 51 изображена электрическая цепь. 1) Назовите приборы, включенные в цепь. 2) Запишите показания

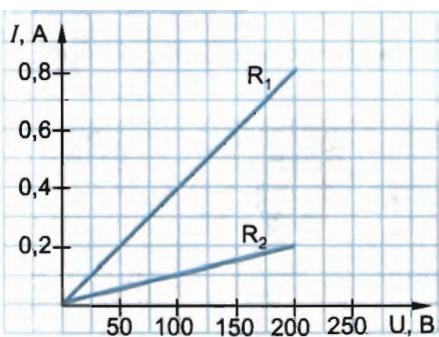


Рис. 50

амперметра и вольтметра с учетом инструментальной погрешности приборов. 3) Используя показания амперметра и вольтметра, рассчитайте сопротивление электрической лампочки.

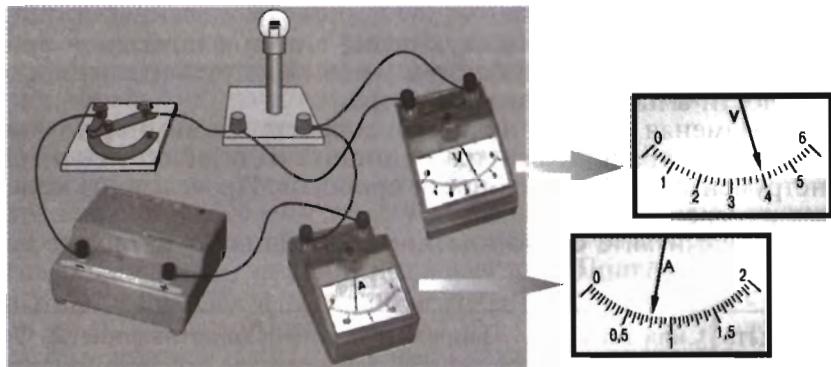


Рис. 51

1. Школьный прибор «спираль-резистор» включен в сеть напряжением 4 В. Электрическое сопротивление спирали равно 1,5 Ом. Какой ток протекает по спирали?

2. Карманный радиоприемник рассчитан на ток 0,1 А. Сопротивление обмотки катушки равно 90 Ом. Какую батарейку вы вставили бы в радиоприемник: на 1,4; 4,5 или 9 В?

3. В обмотке двигателя магистрального электровоза сила тока $I = 350$ А. Чему равно сопротивление обмотки? Дополнительные данные вы найдете в таблице 4. Ответ запишите с точностью до десятых.

§ 11. УДЕЛЬНОЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ ВЕЩЕСТВА

Вы знаете, что Г. Ом проводил эксперименты с проволоками разной длины и толщины, изготовленными из разных металлов (висмута, меди, латуни). Он установил,

что при неизменной температуре электрическое сопротивление прямо пропорционально длине l проводника, обратно пропорционально площади его поперечного сечения S и зависит от вещества, из которого сделан проводник.

Математически это записывается так:

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

где R — электрическое сопротивление; l — длина проводника; S — площадь поперечного сечения проводника; ρ — коэффициент пропорциональности — **удельное электрическое сопротивление проводника**, одна из характеристик вещества.

Удельное электрическое сопротивление проводника зависит от рода вещества, из которого сделан проводник, и других факторов (температуры, наличия примесей и др.).

В справедливости зависимости удельного электрического сопротивления от геометрических размеров проводника (l, S) и рода вещества, из которого сделан проводник (ρ), можно убедиться в эксперименте. На рисунке 52 изображена установка

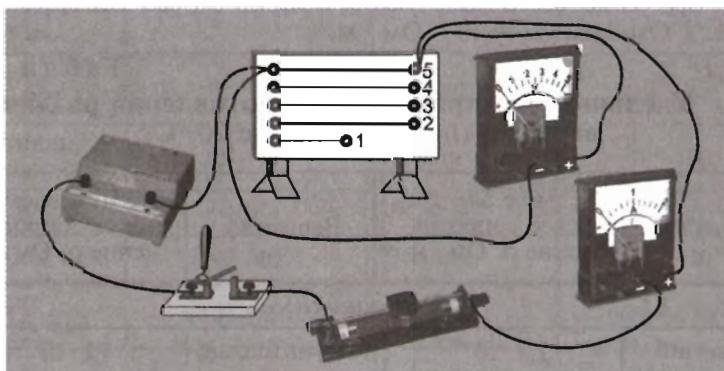


Рис. 52. Зависимость сопротивления проводника от его длины, площади поперечного сечения и материала: 1, 2, 3, 4 — никелиновые проволоки; 5 — никромовая проволока

для проведения эксперимента: источник тока, панель с проволочными резисторами, амперметр, вольтметр, реостат, ключ для замыкания демонстрационный, соединительные провода.

На панели укреплены:

никелиновые проволоки одинаковой площади поперечного сечения, но разной длины (1 и 4);

никелиновые проволоки одинаковой длины, но разной площади поперечного сечения (2 и 3);

никелиновая и никромовая проволоки одинаковой длины и площади поперечного сечения (2 и 5).

Подключив поочередно проволоки в цепь, можно измерить с помощью амперметра силу тока в цепи, с помощью вольтметра напряжение на концах проводника. Зная силу тока и напряжение, можно рассчитать сопротивление каждого проводника: $R = U/I$.

По результатам эксперимента можно сделать выводы:

1. Из двух никелиновых проволок одинаковой площади поперечного сечения более длинная имеет большее сопротивление.

2. Из двух никелиновых проволок одинаковой длины большее сопротивление имеет проволока с меньшим поперечным сечением.

3. Никелиновая и никромовая проволоки одинакового размера имеют разное сопротивление ($R_{\text{никрома}} > R_{\text{никелина}}$).

Из формулы расчета сопротивления выражим удельное электрическое сопротивление проводника: $\rho = R \cdot S/l$.

Отсюда видно, что единица удельного электрического сопротивления в СИ: $[\rho] = \text{Ом} \cdot \text{м}^2/\text{м} = \text{Ом} \cdot \text{м}$ (читается «ом-метр»).

Один ом-метр (1 Ом · м) равен удельному электрическому сопротивлению проводника площадью поперечного сечения один квадратный метр (1 м^2) и длиной 1 метр (1 м), имеющего сопротивление один ом (1 Ом).

На практике часто пользуются в миллион раз меньшей единицей: $1 \text{ Ом} \cdot \text{мм}^2/\text{м} = 10^{-6} \text{ Ом} \cdot \text{м}$.

Таблица 5
Удельные электрические сопротивления различных веществ (при температуре 20 °C)

Вещество	Удельное электрическое сопротивление ρ , $\text{Ом} \cdot \text{м}$	Вещество	Удельное электрическое сопротивление ρ , $\text{Ом} \cdot \text{м}$
<i>Проводники</i>			
Алюминий	$2,8 \cdot 10^{-8}$	Латунь (сплав)	$7,1 \cdot 10^{-8}$
Висмут	$106,5 \cdot 10^{-8}$	Олово	$12 \cdot 10^{-8}$
Вольфрам	$5,5 \cdot 10^{-8}$	Платина	$10,5 \cdot 10^{-8}$

Продолжение

Вещество	Удельное электрическое сопротивление ρ , Ом · м	Вещество	Удельное электрическое сопротивление ρ , Ом · м
Дуралюминий (сплав)	$3,3 \cdot 10^{-8}$	Ртуть	$95,8 \cdot 10^{-8}$
Железо	$9,8 \cdot 10^{-8}$	Серебро	$1,6 \cdot 10^{-8}$
Медь	$1,7 \cdot 10^{-8}$	Сплав Вуда	$5,2 \cdot 10^{-7}$
Константан (сплав)	$4,9 \cdot 10^{-7}$	Сталь (сплав)	$2 \cdot 10^{-7}$
Никелин	$4,5 \cdot 10^{-7}$	Фехраль (сплав)	$1,3 \cdot 10^{-6}$
Нихром (сплав)	$1,1 \cdot 10^{-6}$	Хром	$1,4 \cdot 10^{-7}$
<i>Полупроводники</i>			
Бор	$1,4 \cdot 10^4$	Кремний	2300
Германий	0,47	Селенид свинца(PbSe)	$9,1 \cdot 10^{-6}$
<i>Диэлектрики</i>			
Алмаз	$10^{10} - 10^{11}$	Масло трансформаторное	$10^{10} - 10^{13}$
Бумага	10^{10}	Мрамор	$10^5 - 10^6$
Вода чистейшая, перегнанная в вакууме	$2 \cdot 10^5$	Полиэтилен	$10^{13} - 10^{15}$
Воздух (при 0 °C)	$10^{15} - 10^{18}$	Стекло	$10^9 - 10^{13}$
Дистиллированная вода	$10^3 - 10^4$	Слюдя	$10^{11} - 10^{15}$
Дуб сухой	10^{10}	Фарфор	$10^{10} - 10^{13}$
Капрон	$10^8 - 10^9$	Эбонит	$10^{12} - 10^{14}$
Масло касторовое	$10^8 - 10^{10}$	Янтарь	$10^{15} - 10^{17}$

Проанализируем табличные данные. Из металлов наименьшим удельным электрическим сопротивлением обладают серебро и медь. Они — лучшие проводники электрического тока. При

проводке электрических сетей используют алюминиевые, медные провода. Фарфор, слюда и эбонит имеют большое удельное сопротивление и поэтому почти совсем не проводят электрический ток; их используют в качестве изоляторов.

Поразительна зависимость сопротивления вещества от наличия малых примесей. Тщательная очистка меди уменьшает удельное электрическое сопротивление до $1,69 \cdot 10^{-8}$ Ом · м. Если же добавить к меди 1% марганца, то $\rho = 4,8 \cdot 10^{-8}$ Ом · м, т. е. возрастает почти в три раза. Примерно так же влияют на удельное сопротивление добавки железа, кобальта, иридия и других веществ.

У сплавов, содержащих примеси в большом количестве, сопротивление очень велико. Так, сплав константан состоит из 54% меди, 45% никеля, 1% марганца. Константан имеет $\rho = 4,9 \cdot 10^{-7}$ Ом · м, в то время как у чистой меди $\rho = 1,7 \cdot 10^{-8}$ Ом · м, у никелина $\rho = 4,5 \cdot 10^{-7}$ Ом · м. Поскольку во многих случаях нужны приборы и устройства, имеющие большое сопротивление, то изготавливают их из сплавов.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 5

ОПРЕДЕЛЕНИЕ УДЕЛЬНОГО ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ПРОВОДНИКА

Приборы и материалы: источник тока, амперметр, вольтметр, проволока из фехраля длиной 65—70 см, ключ, лента измерительная, соединительные провода.

◆ 1. Начертите схему электрической цепи, используя стандартные обозначения (рис. 53).

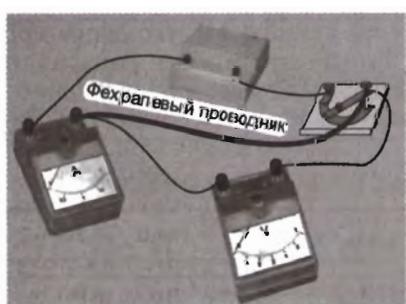


Рис. 53

2. Измерьте лентой длину фехралевого проводника (т. е. расстояние между металлическими наконечниками провода).

3. Соберите электрическую цепь (см. рис. 53), соблюдая полярность включения приборов.

4. Замкните электрическую цепь. Запишите в таблицу показания амперметра и вольтметра (с учетом инструментальной погрешности приборов).

5. Рассчитайте сопротивление фехралевой проволоки по формуле $R = U/I$. Значение запишите в таблицу.

6. Рассчитайте удельное электрическое сопротивление фехрала по формуле $\rho = R \cdot S/I$. Значение запишите в таблицу.

Значение площади поперечного сечения проволоки спросите у учителя.

$I, \text{ А}$	$U, \text{ В}$	$R, \text{ Ом}$	$S, \text{ м}^2$	$l, \text{ м}$	$\rho, \text{ Ом} \cdot \text{м}$

7. Сравните полученное вами значение удельного электрического сопротивления фехраля с табличным (см. табл. 5).

Пример решения задачи

Кусок медной проволоки диаметром 1 мм и длиной 90 см подключили в цепь постоянного тока. Сила тока в цепи равна 1,5 А. Чему равно напряжение на зажимах проволоки?

$U - ?$	<i>Решение</i>
$\rho = 1,7 \cdot 10^{-8} \text{ Ом} \cdot \text{м}$	$I = U/R \Rightarrow U = IR, \quad (1)$
$d = 1 \text{ мм} = 10^{-3} \text{ м}$	$R = \rho \cdot l/S, \quad (2)$
$l = 90 \text{ см} = 0,9 \text{ м}$	$S = \pi d^2/4 \quad (3)$
$I = 1,5 \text{ А}$	$(3) \Rightarrow (2) \quad R = 4\rho \cdot l/\pi d^2 \quad (4)$
	$U = 4\rho \cdot lI/\pi d^2.$

$$[U] = \text{Ом} \cdot \text{м} \cdot \text{А}/\text{м}^2 = \text{В/А} \cdot \text{А} = \text{В.}$$

$$U = 2,9 \cdot 10^{-2} \text{ В} = 29 \text{ мВ.}$$

Ответ: напряжение на зажимах медной проволоки равно 29 мВ.

? 1. Как зависит сопротивление проводника от его длины и площади поперечного сечения? 2. Что понимают под удельным электрическим сопротивлением проводника? От чего оно зависит? 3. Какова единица удельного электрического сопротивления в СИ? 4. Какая единица удельного электрического сопротивления используется на практике? Каково соотношение этой единицы с единицей в СИ? 5. Какие вещества использовал Г. Ом в своих экспериментах? 6. Какое из веществ имеет большее удельное электрическое сопротивление? 7. Целесообразно ли в лабораторной работе 5 вместо фехралевого проводника использовать образец из сухого дуба такой же длины и толщины?

● 1. Что означает утверждение: «Удельное электрическое сопротивление железа равно $9,8 \cdot 10^{-8} \text{ Ом} \cdot \text{м}$; кремния — 2300 $\text{Ом} \cdot \text{м}$; бумаги — $10^{10} \text{ Ом} \cdot \text{м}$ »?

2. Фехраль — сплав, состоящий из 80% железа, 15% хрома, 5% алюминия. Используя данные таблицы 5, сравните удельные электрические сопротивления фехрала, железа, хрома и алюминия. Какой вывод вы можете сделать?

3. Используя данные таблицы 5, определите, при каких значениях удельного электрического сопротивления вещество можно считать проводником, полупроводником, диэлектриком.

4. Используя данные таблицы 5, определите: а) какой из проводников обладает наибольшим удельным электрическим сопротивлением; б) какой из полупроводников обладает наименьшим удельным электрическим сопротивлением; в) какой из диэлектриков обладает наименьшим удельным электрическим сопротивлением; г) у каких диэлектриков одинаковое значение удельного электрического сопротивления.

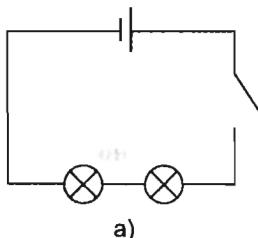
1. Рассчитайте сопротивление алюминиевой проволоки длиной 150 м и площадью поперечного сечения $0,4 \text{ mm}^2$.

2. Сопротивление стального цилиндрического провода площадью поперечного сечения 3 mm^2 равно 2 Ом. Чему равна длина провода?

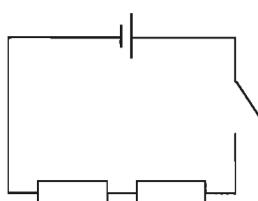
3. Проволока из сплава Вуда длиной 5 м и площадью поперечного сечения $0,52 \text{ mm}^2$ включена в цепь постоянного тока. Напряжение на зажимах проволоки 0,5 В. Какой ток проходит по проволоке?

4. Какая масса никрома потребовалась бы на изготовление электропровода длиной 50 м, чтобы его сопротивление составляло 20 Ом? Плотность никрома примите равной $8400 \text{ кг}/\text{м}^3$.

§ 12. СОЕДИНЕНИЕ ПРОВОДНИКОВ



а)



б)

Рис. 54. Последовательное соединение потребителей электрического тока

В электрической цепи к зажимам источника может быть подключено несколько потребителей тока: резисторы, лампы накаливания, нагревательные или измерительные приборы и др. Каждый из потребителей тока является проводником с определенным сопротивлением.

Основными видами соединений проводников являются последовательное и параллельное соединения.

Последовательное соединение проводников. Соединение, при котором конец предыдущего проводника соединяется с началом следующего, называется *последовательным соединением* проводников.

На рисунке 54 изображены схемы последовательного соединения ламп накаливания (рис. 54, а) и резисторов (54, б).

Выполняя лабораторную работу 1 «Сборка электрической цепи и измерение силы тока на различных участках цепи»,

вы подключали потребители тока (лампу и резистор) последовательно (см. рис. 39 и 40). Включая амперметр в различные участки цепи, вы убедились, что сила тока везде одинакова.

При последовательном соединении проводников сила тока, протекающего через потребители, остается постоянной:

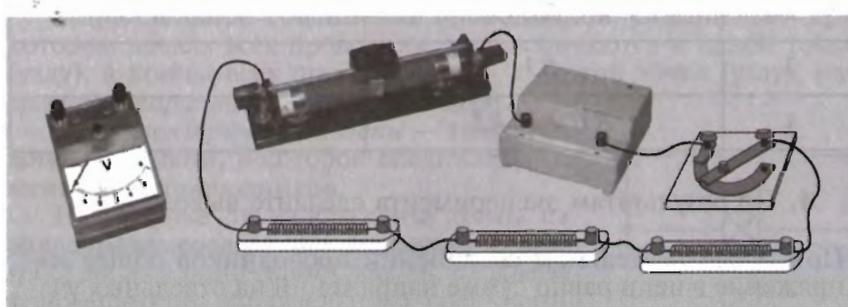
$$I_1 = I_2 = I_3 = \dots = I_n \text{ или } I = \text{const.}$$

Вторую закономерность последовательного соединения проводников также получим на основе эксперимента.

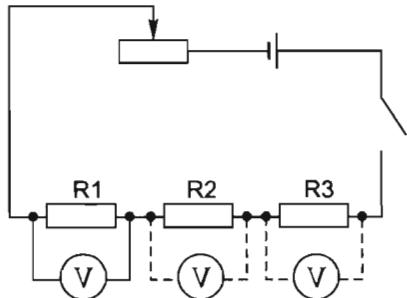
◆ **Измерение напряжения на различных участках цепи при последовательном соединении резисторов**

Приборы и материалы: источник тока, три проволочных резистора сопротивлениями 1, 2 и 4 Ом, реостат, вольтметр, ключ, соединительные провода.

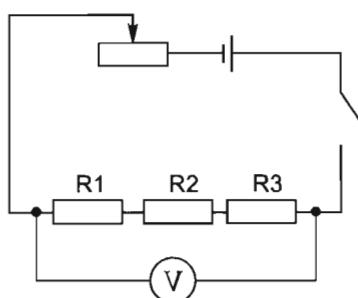
1. Соберите электрическую цепь, изображенную на рисунке 55, а. Как соединены приборы в электрической цепи?



a)



б)



в)

Рис. 55. Электрическая цепь и схемы к экспериментальному заданию

2. Замкните цепь и измерьте напряжение на концах каждого резистора (рис. 55, б). Результаты измерений напряжения запишите в таблицу с учетом инструментальной погрешности вольтметра.

При измерении достаточно прикоснуться наконечниками проводов, идущих от вольтметра, к клеммам проволочных резисторов.

• Чтобы было удобно вести отсчет по шкале вольтметра, установите при первом измерении ползунок реостата в такое положение, при котором вольтметр показывает целое число делений.

3. Измерьте напряжение на концах трех резисторов (рис. 55, в). Результаты измерений напряжения запишите в таблицу (с учетом инструментальной погрешности вольтметра).

№ опыта	Резистор	Напряжение U , В
1	R_1	
2	R_2	
3	R_3	
4	R_1, R_2, R_3	

4. По результатам эксперимента сделайте вывод.

При последовательном соединении проводников общее напряжение в цепи равно сумме напряжений на отдельных участках цепи:

$$U = U_1 + U_2 + U_3 + \dots + U_n.$$

Используя закон Ома для участка цепи $I = U/R$, выразим напряжение на каждом из участков цепи:

$$IR = IR_1 + IR_2 + IR_3 + \dots + IR_n.$$

Разделив обе части уравнения на I , получим

$$R = R_1 + R_2 + R_3 + \dots + R_n.$$

При последовательном соединении проводников общее сопротивление равно сумме сопротивлений на каждом из участков цепи.

Если сопротивления резисторов одинаковы $R_1 = R_2 = R_3 = \dots = R_n = R_0$, то общее сопротивление

$$R = nR_0,$$

где n — число проводников; R_0 — сопротивление одного проводника.

При последовательном соединении проводников с одинаковыми сопротивлениями общее сопротивление в n раз больше сопротивления одного из них.

Применим закон Ома для участка цепи для любой пары проводников:

$$I = U_1/R_1 \text{ и } I = U_2/R_2 \Rightarrow U_1/R_1 = U_2/R_2 \Rightarrow$$

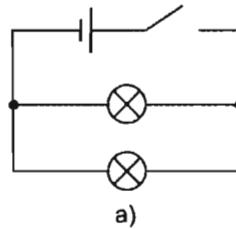
$$U_1/U_2 = R_1/R_2.$$

При последовательном соединении проводников **напряжения** на концах проводников **прямо пропорциональны** их сопротивлениям.

◆ **Параллельное соединение проводников.** Соединение, при котором начала всех проводников подключаются к одной точке (узлу), а концы всех проводников — к другой точке (узлу), называется **параллельным соединением**.

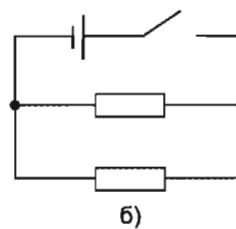
Узел **электрической цепи** — точка разветвления цепи, в которой соединяется не менее двух проводников.

На рисунке 56 изображены схемы параллельного соединения ламп накаливания (рис. 56, а) и резисторов (рис. 56, б). Две закономерности параллельного соединения проводников получим на основе выполнения экспериментального задания.



◆ **Измерение напряжения и силы тока на различных участках цепи при параллельном соединении проводников**

Приборы и материалы: источник тока, три резистора сопротивлениями 1, 2 и 4 Ом, амперметр, вольтметр, реостат, ключ, соединительные провода.



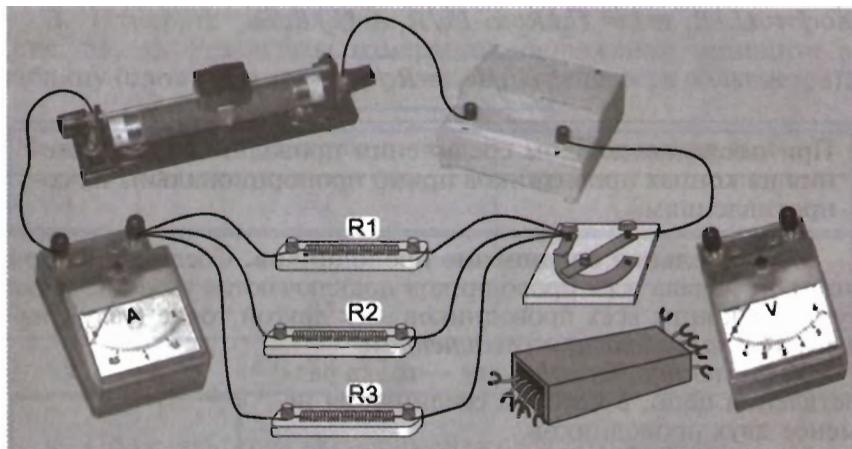
1. Соберите электрическую цепь, изображенную на рисунке 57, а. Как соединены приборы в электрической цепи?

2. Замкните цепь и измерьте напряжение на клеммах каждого из резисторов.

Рис. 56. Параллельное соединение потребителей электрического тока

При измерении прикасайтесь наконечниками проводов, идущих от вольтметра, к концам проволочных резисторов. Показание вольтметра запишите в таблицу с учетом инструментальной погрешности прибора.

№ опыта	Резистор	$U, \text{ В}$	$I, \text{ А}$
1	$R1$		
2	$R2$		
3	$R3$		
4	$R1, R2, R3$		



a)

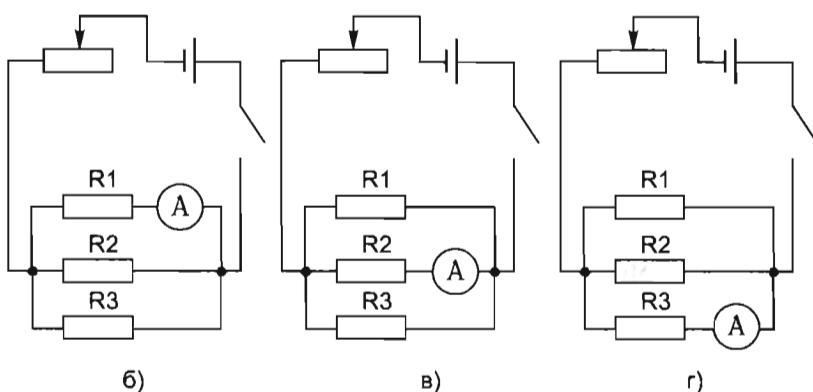


Рис. 57

3. Измерьте силу тока и запишите показание амперметра в таблицу с учетом инструментальной погрешности прибора.

4. Включите амперметр поочередно в цепь первого резистора R_1 (рис. 57, б), второго R_2 (рис. 57, в), третьего R_3 (рис. 57, г). Показания амперметра запишите в таблицу (с учетом инструментальной погрешности прибора).

5. Проанализируйте результаты эксперимента и запишите выводы в тетрадь.

На основе экспериментальных данных можно сделать вывод.

При параллельном соединении проводников напряжение на концах проводников остается величиной постоянной:

$$U_1 = U_2 = U_3 = U_4 = \dots = U_n \quad \text{или} \quad U = \text{const.}$$

При параллельном соединении проводников сила тока в цепи равна сумме сил токов на отдельных ее участках:

$$I = I_1 + I_2 + I_3 + \dots + I_n.$$

Используя закон Ома для участка цепи, получаем

$$U/R = U/R_1 + U/R_2 + U/R_3 + \dots + U/R_n \Rightarrow$$

$$1/R = 1/R_1 + 1/R_2 + 1/R_3 + \dots + 1/R_n.$$

Величина, обратная общему сопротивлению цепи, равна сумме обратных сопротивлений каждого из проводников.

Если сопротивления всех проводников одинаковы $R_1 = R_2 = R_3 = \dots = R_n = R_0$, то общее сопротивление

$$R = R_0/n,$$

где n — число проводников; R_0 — сопротивление одного проводника.

При параллельном соединении проводников с одинаковыми сопротивлениями общее сопротивление в n раз меньше сопротивления одного из них.

Применим закон Ома для участка цепи для любой пары проводников. Так как $U_1 = U_2$, то $I_1 R_1 = I_2 R_2 \Rightarrow$

$$I_1/I_2 = R_2/R_1.$$

При параллельном соединении проводников силы токов на отдельных участках цепи обратно пропорциональны сопротивлениям проводников.

На практике часто применяют *смешанное* соединение проводников — соединение, включающее последовательное и параллельное соединения проводников.

? 1. Какое соединение называется последовательным? 2. Какое соединение называется параллельным?

■ 1. На рисунке 58 изображен участок электрической цепи.

1) Рассчитайте общее сопротивление цепи.

2) Рассчитайте напряжение на концах второго резистора, если сила тока в цепи равна 1,5 А.

2. На рисунке 59 изображена схема электрической цепи.

1) Назовите составные части электрической цепи. Как соединены резисторы?

2) Рассчитайте общее сопротивление участка цепи.

3) Рассчитайте силу тока в цепи резисторов R_1 , R_2 и R_3 , если напряжение между точками AB равно 4 В.

4) Какую силу тока показывает амперметр?

* 3. Амперметр и три одинаковые лампы накаливания включены так, как показано на рисунке 60. Сопротивление лампы 40 Ом. Напряжение поддерживается постоянным, равным 12 В. Различаются ли показания амперметра при разомкнутом и замкнутом ключе? Если различаются, то во сколько раз?

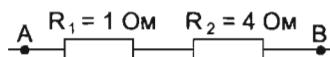


Рис. 58

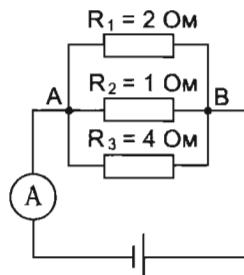


Рис. 59

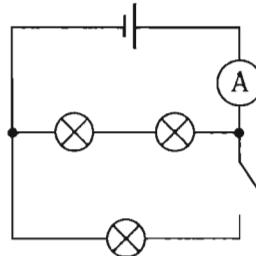


Рис. 60

§ 13. РАБОТА И МОЩНОСТЬ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ТОКА

Работа, совершаемая электрическим полем. В металлическом проводнике, на концах которого создана разность потенциалов, электрические силы совершают работу по переме-

щению свободных электронов. Работу электрического поля по перемещению свободных зарядов называют **работой тока**.

Если за время t через поперечное сечение проводника проходит заряд q , то электрическое поле за это время совершают работу:

$$A = qU,$$

где U — напряжение на концах проводника.

Так как сила тока определяется по формуле $I = q/t$, то $q = It$ и

$$A = IUt.$$

Работа тока на участке цепи равна произведению силы тока, напряжения на этом участке и времени, в течение которого совершилась работа.

Единица работы в СИ — джоуль (1 Дж): $[A] = \text{А} \cdot \text{В} \cdot \text{с} = \text{Кл} \cdot \text{В} = \text{Дж}$.

Так как по закону Ома для участка цепи $I = U/R$, то

$$A = \frac{U^2}{R}t.$$

Эту формулу для расчета работы тока удобно использовать при параллельном соединении проводников, так как напряжение на концах всех проводников одинаково ($U = \text{const}$). R — полное сопротивление участка цепи.

Из закона Ома для участка цепи выражим напряжение $U = IR$ и подставим в формулу для расчета работы тока. Получим

$$A = I^2Rt.$$

Этой формулой удобно пользоваться при последовательном соединении проводников, так как сила тока одинакова во всех проводниках ($I = \text{const}$). R — полное сопротивление участка цепи.

Мощность электрического тока. Любой электрический прибор (электрическая лампа накаливания, электродвигатель, телевизор, холодильник, утюг, компьютер и т. д.) рассчитан на потребление определенной энергии в единицу времени. Поэтому наряду с работой тока важное значение имеет понятие **мощность электрического тока** или просто **мощность тока**. Мощность тока обозначается буквой латинского алфавита P (читается «пэ»).

Мощность тока равна отношению работы тока ко времени, в течение которого по проводнику протекает ток:

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

Единица мощности тока в СИ — ватт (1 Вт): $[P] = \text{Дж}/\text{с} = \text{Вт}$. Используют также единицы мощности, кратные ватту, — гектоватт (гВт), киловатт (кВт), мегаватт (МВт):

$$1 \text{ гВт} = 10^2 \text{ Вт}, \quad 1 \text{ кВт} = 10^3 \text{ Вт}, \quad 1 \text{ МВт} = 10^6 \text{ Вт}.$$

Учитывая, что $A = IUt$, получаем

$$\boxed{P = IU.}$$

Мощность постоянного тока на любом участке цепи равна произведению силы тока в проводнике на напряжение между концами проводника.

Используя закон Ома для участка цепи, получаем

$$\boxed{P = I^2 R.}$$

При последовательном соединении проводников мощность тока прямо пропорциональна сопротивлению проводников.

$$\boxed{P = U^2/R.}$$

При параллельном соединении проводников мощность тока обратно пропорциональна сопротивлению проводников.

В быту о мощности электрического тока, потребляемой от сети, говорят, что при прохождении тока через электроприборы совершается работа. Поэтому на приборах обозначается их мощность, т. е. мощность тока, необходимая для нормальной работы. В таблице 6 приведены значения мощностей некоторых электрических приборов и устройств.

Таблица 6

Мощность различных электрических приборов и устройств

Электрические приборы и устройства	Мощность P , Вт	Электрические приборы и устройства	Мощность P , Вт
Электронагревательные приборы		Электро-кипятильники	300, 500, 700, 1000, 1250
Электроплитки	1600, 2000, 2200	Электро-чайники	750, 1000, 1250
Электрокамины	1000, 1250	Электро-самовар	1000
Электро-радиаторы	500, 1000, 1250	Электроутюги	250, 400, 750, 1000

Продолжение

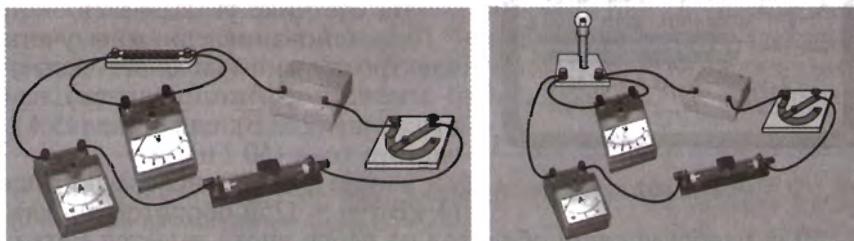
Электрические приборы и устройства	Мощность P , Вт	Электрические приборы и устройства	Мощность P , Вт
Электро-паяльники	25, 40, 50, 65, 100	Компьютер	60
<i>Бытовые машины с электроприводом</i>		Копировальный аппарат	700
Стиральные машины	180, 300, 500, 2000, 2200	<i>Различные устройства</i>	
Электрохолодильники	75, 140, 160	Двигатель трамвая	$5 \cdot 10^4$
Электро-пылесосы	140, 280, 400, 600	Двигатель электровоза	$65 \cdot 10^4$
Электро-вентиляторы	35, 45, 55	Электродвигатель прокатного стана	$9 \cdot 10^6$
<i>Другие бытовые электрические устройства</i>		Лампы в звездцах башен Московского Кремля	$5 \cdot 10^3$
Телевизоры	45, 75, 90, 100, 185, 250		

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 6

ИЗМЕРЕНИЕ РАБОТЫ И МОЩНОСТИ ТОКА

Приборы и материалы: источник тока, резистор и (или) лампочка на подставке, реостат, амперметр, вольтметр, ключ, часы, соединительные провода.

- ◆ 1. Соберите электрическую цепь по схеме (рис. 61, а, б).
- 2. Замкните электрическую цепь. Снимите и запишите в таблицу показания амперметра и вольтметра с учетом инструментальной погрешности приборов.



а)

б)

Рис. 61

3. Рассчитайте работу электрического тока за время $t = 1$ мин по формуле $A = IUt$.

Запишите значение работы тока в таблицу.

4. Рассчитайте мощность электрического тока по формуле $P = IU$. Запишите значение мощности тока в таблицу.

$I, \text{ А}$	$U, \text{ В}$	$t, \text{ с}$	$A, \text{ Дж}$	$P, \text{ Вт}$

5. Сравните работу и мощность тока лампочки и резистора.

Внесистемная единица работы тока. В устройствах, потребляющих электрическую энергию, ток производит работу в течение длительного времени. Поэтому на практике широко используется внесистемная единица работы тока.

Из формулы для расчета мощности выразим работу тока: $A = Pt$. Время удобнее выражать в часах. Тогда единицей работы тока будет ватт · час (1 Вт · ч): $[A] = \text{Вт} \cdot \text{ч}$:

• $1 \text{ Вт} \cdot \text{ч} = 3600 \text{ Дж} (3,6 \cdot 10^3 \text{ Дж}),$
 $1 \text{ гВт} \cdot \text{ч} = 360 000 \text{ Дж} (3,6 \cdot 10^5 \text{ Дж}),$
 $1 \text{ кВт} \cdot \text{ч} = 3 600 000 \text{ Дж} (3,6 \cdot 10^6 \text{ Дж}).$

Расчет электрической энергии, потребляемой бытовыми приборами. Учет электроэнергии, потребляемой всеми электроустановками в квартире, осуществляется электроизмерительными приборами — **электрическими счетчиками**. На рисунке 62 изображен щиток электрического счетчика.

Отсчет электроэнергии производится в киловатт-часах ($\text{kВт} \cdot \text{ч}$). В отдельных случаях на счетчиках написано «гектоватт-час» ($1 \text{ кВт} \cdot \text{ч} = 10 \text{ гВт} \cdot \text{ч}$). Счетчики устанавливаются в сухих закрытых помещениях на специальных щитках (или на квартирных распределительных щитках) в местах, доступных для контроля за их показаниями.

На счетчике указывается:
наименование единицы учета электроэнергии (киловатт-часы);
расчетное (номинальное) напряжение (220 В), сила тока (15 А), частота тока (50 Гц);

передаточное число счетчика ($1 \text{ кВт} \cdot \text{ч} = 1250$ оборотов диска).

Для удобства счета оборотов на ребре диска имеется метка. Стрелка у прорези диска указывает направление вращения, при котором показания счетного механизма увеличиваются.

Ежемесячно, желательно в один и тот же день (но не позднее дня, указанного в абонентской расчетной книжке), снимаются показания электросчетчика и определяется разность показаний, зафиксированных в предыдущем и текущем месяцах. Например, 10 апреля счетчик показывает 11906, а 10 мая — 12096. На щитке счетчика написано «киловатт·часы». Расход электроэнергии будет составлять: $12096 - 11906 = 190 \text{ кВт} \cdot \text{ч}$. Затем расход электроэнергии за месяц умножается на стоимость потребляемой энергии за $1 \text{ кВт} \cdot \text{ч}$.

?

1. Как можно рассчитать работу тока? 2. Какова единица работы тока? 3. Что понимают под мощностью тока? 4. Как можно рассчитать мощность тока? 5. Какова единица мощности тока? 6. Почему в таблице 6 у электроприборов и бытовых машин указано несколько значений мощности? 7. Какой внесистемной единицей работы тока пользуются на практике? 8. Каким прибором пользуются для учета электроэнергии, потребляемой электроустановками в квартире?

■ 1. Используя данные таблицы 6, определите: а) какой электронагревательный прибор имеет большую мощность; б) какая бытовая машина с электроприводом имеет меньшую мощность.

2. Рассмотрите два-три электрических прибора, используемые дома. Найдите на приборе (или в его паспорте) мощность. Расчитайте работу тока в нем за время $t = 15 \text{ мин}$.

3. На рисунке 63 изображена электрическая цепь. 1) Запишите показания амперметра и вольтметра с учетом их инструментальной погрешности.

2) Используя показания приборов, рассчитайте работу электрического поля по перемещению зарядов в течение 3 мин. 3) Чему равна мощность электрической лампы накаливания? Сравните полученное вами значение мощности лампы с расчетным (номинальным). Номинальная мощность указана на цоколе лампы.

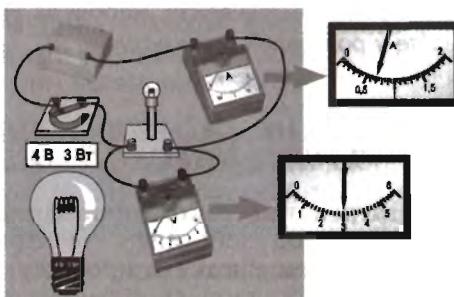


Рис. 63

■ 1. Какая работа совершается в проводнике сопротивлением 4 Ом за 10 мин при прохождении тока 1,5 А?

2. Лампа накаливания для лабораторных работ рассчитана на напряжение 3,5 В и силу тока 0,25 А. Какова работа тока в спирале лампы за время $t = 15 \text{ мин}$?

- а) Показания счетчика
на 1 ноября



- б) Показания счетчика
на 1 декабря



Рис. 64

3. Спираль-резистор, используемая в лабораторных работах, рассчитана на напряжение 4 В. Сопротивление спирали равно 1,5 Ом. Чему равна мощность тока?

4. На ручке скользящего контакта ползункового реостата, используемого в лабораторных работах, написано «6 Ом, 2 А». Чему равна мощность тока? Какое максимальное напряжение может быть приложено к клеммам реостата?

5. На рисунке 64 приведены показания счетчика электрической энергии за 30 дней. Рассчитайте стоимость электрической энергии за этот период (стоимость 1 кВт · ч узнайте у родителей или учителя).

- * 6. Используя счетчик электрической энергии своей квартиры, выполните задания: 1) Снимите и запишите показания счетчика. 2) Сравните эти показания с показаниями счетчика за предыдущий месяц. 3) Рассчитайте стоимость электрической энергии за этот период (стоимость 1 кВт · ч узнайте у родителей или учителя).

§ 14. ЗАКОН ДЖОУЛЯ—ЛЕНЦА. ЭКОНОМИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ В БЫТУ

Нагревание током проводников. Закон Джоуля—Ленца. Двигаясь под действием электрического поля, электроны в металлах ускоряются в промежутках между столкновениями с ионами кристаллической решетки и приобретают кинетическую энергию. При приближении к положительному иону электрон притягивается к нему, изменяя направление своего движения. При этом часть энергии ускоренного электрона передается



Джоуль Джеймс Прескотт (1818–1889) — английский физик. Работы по электродинамике, молекулярной физике. В 1841 г. установил зависимость количества теплоты, выделяемого в проводнике при прохождении через него электрического тока, от силы тока и сопротивления. Один из первооткрывателей закона сохранения энергии. Вычислил скорость движения молекул газа и установил ее зависимость от температуры. Его именем названа единица энергии и работы — джоуль.

Ленц Эмилий Христианович (1804—1865) — русский физик. Основные работы в области электромагнетизма. В 1833 г. установил правила определения электродвижущей силы индукции (закон Ленца), в 1842 г. — закон теплового действия тока (независимо от Дж. Джоуля). Придавал большое значение преподаванию физики. Его научный труд «Руководство к физике, составленное... для русских гимназий» (1839) издавался II раз.



ионам решетки. Столкновение электрона с ионом увеличивает амплитуду колебаний ионов. Таким образом, при наличии тока в проводнике все время происходит переход энергии упорядоченного движения электронов *во внутреннюю энергию тела*.

Если на участке цепи не совершается механическая работа и ток не оказывает химического действия, то происходит только нагревание проводника — его температура повышается. Нагретый проводник отдает теплоту (внутреннюю энергию) окружающим телам, и рост температуры со временем прекращается. К проводнику за счет работы электрического поля непрерывно поступает энергия. Но его внутренняя энергия остается неизменной, так как проводник передает окружающей среде количество теплоты, равное работе тока ($Q = A$).

Исследуя нагревание проводников током, английский физик Джеймс Джоуль в 1841 г. и русский физик Э. Х. Ленц в 1842 г. (независимо от Джоуля) установили, что

количество теплоты, выделяемое проводником с током при прохождении через него электрического тока, прямо пропорционально квадрату силы тока, сопротивлению проводника и времени протекания тока.

Математически закон Джоуля—Ленца, установленный экспериментально, записывается так:

⋮

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

Эта запись показывает, что

при последовательном соединении нескольких проводников в каждом выделяется количество теплоты, прямо пропорциональное сопротивлению проводника.

Пользуясь законом Ома для участка цепи, мы можем получить другую формулу расчета количества теплоты:

⋮

$$Q = \frac{U^2}{R} t.$$

При параллельном соединении нескольких проводников в каждом выделяется количество теплоты, обратно пропорциональное сопротивлению проводника.

Закон Джоуля—Ленца справедлив не только для металлических проводников, но и для растворов (расплавов) электролитов, газов. В этих случаях внутренняя энергия жидкого или газообразного проводящего ток вещества также увеличивается из-за столкновений упорядоченно движущихся заряженных частиц с другими заряженными или нейтральными частицами.

Экономия и бережливость — дело всех и каждого. В нашей стране экономика базируется на собственных сырьевых ресурсах. Давно и прочно удерживаем мы передовые позиции по добыче и переработке руд, нефти, газа, лесоматериалов. В обжитых местах многие месторождения уже исчерпаны, а новые приходится искать в труднодоступных районах России. Экономить сырье выгоднее, чем его добывать. Бережно расходовать топливо и энергию — значит экономить не только труд миллионов людей, но и капитальные вложения.

Крупным потребителем топлива и энергии является коммунально-бытовое хозяйство: на его долю приходится почти 20% топливно-энергетических ресурсов. Потребление электроэнергии в жилом секторе достигает 100 млрд кВт · ч, из них около 40% расхода электроэнергии приходится на электробытовые приборы, 30% расходуется на освещение и более 12% — на приготовление пищи.

Из-за простоты и доступности электроэнергии у многих людей сложилось представление о неисчерпаемости наших энергоресурсов, притупилось чувство необходимости ее экономии.

Как можно сэкономить электроэнергию в быту? Один из путей — рациональное освещение квартиры. Для улучшения естественного освещения комнат отделку стен и потолка рекомендуется делать светлой. Искусственное освещение создается электрическими светильниками. Приемы искусственного освещения позволяют изменять освещенность квартиры за счет переключения светильников, изменения их положения в пространстве. Правильное освещение не должно создавать больших яркостей в поле зрения, нежелательного блеска освещаемых поверхностей.

Ощутимую экономию электроэнергии при использовании ламп накаливания можно получить, если:

применить криptonовые лампы накаливания, имеющие световую отдачу на 10% выше, чем у ламп накаливания с аргоновым наполнителем;

заменить две лампы меньшей мощности на одну большей мощности;

применить местное освещение рабочего места; при освещении рабочего места настольной лампой экономится 70—80%

электроэнергии; использование осветительных приборов с люминесцентными и галогенными лампами позволяет существенно повысить освещенность рабочего места, увеличить равномерность яркости рабочей поверхности, снизить тепловое излучение;

периодически чистить от пыли и грязи лампы, плафоны и осветительную арматуру; пыль на светильнике — это уменьшение освещенности на 10—15%;

применить светорегуляторы, позволяющие изменять освещенность;

применить реле времени для отключения светильника через определенное время.

Уходя из дома, выключайте все осветительные установки и электроприборы, за исключением холодильника.

?

1. На что расходуется энергия упорядоченного движения заряженных частиц в проводнике? 2. От каких физических величин зависит количество теплоты, выделяемое в проводниках при их последовательном соединении? 3. От каких физических величин зависит количество теплоты, выделяемое в проводниках при их параллельном соединении? 4. Как можно сэкономить электроэнергию в быту? * 5. Возрастет или уменьшится мощность электронагревательного прибора, если укоротить нагревательную спираль?

На рисунке 65 изображена электрическая цепь. Рядом с лампой указаны номинальное (расчетное) напряжение и сила тока. При протекании тока лампа нагревается. Какое количество теплоты выделится при протекании тока через лампу в течение 15 мин?

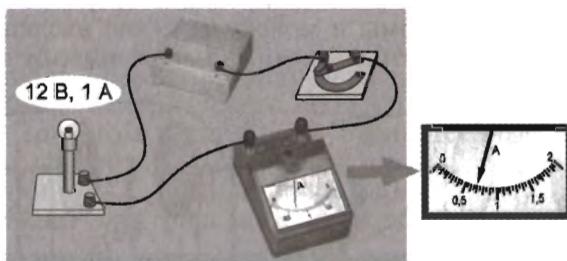


Рис. 65

■ 1. Спираль-резистор, используемая в лабораторных работах, рассчитана на напряжение 4 В. Сопротивление спирали равно 1,5 Ом. Какое количество теплоты выделяется нагревательным элементом прибора при протекании тока в течение 5 мин?

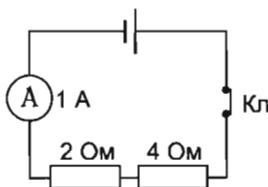


Рис. 66

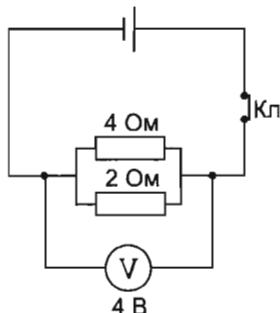


Рис. 67

2. Изучая закономерности соединения резисторов, ученик собрал электрическую цепь по схеме, изображенной на рисунке 66. Какое количество теплоты выделится во внешней части цепи при протекании тока в течение 10 мин? Необходимые данные указаны на схеме.

3. Изучая закономерности соединения резисторов, ученица собрала электрическую цепь по схеме, изображенной на рисунке 67. Какое количество теплоты выделится во внешней части цепи при протекании тока в течение 3 мин? Необходимые данные указаны на схеме.

*§ 15. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ТОК В ГАЗАХ. МОЛНИЯ. ГРОЗОЗАЩИТА

Проводимость газов. При комнатной температуре сухой воздух не проводит ток, т. е. является диэлектриком. В этом легко убедиться на опыте. Возьмем два диска и присоединим их к источнику постоянного тока. Подключенный к дискам электрометр показывает некоторое значение разности потенциалов между дисками (рис. 68, а). Изолирующие свойства воздуха объясняются тем, что атомы и молекулы газов, входящих в состав воздуха, являются нейтральными, незаряженными частицами.

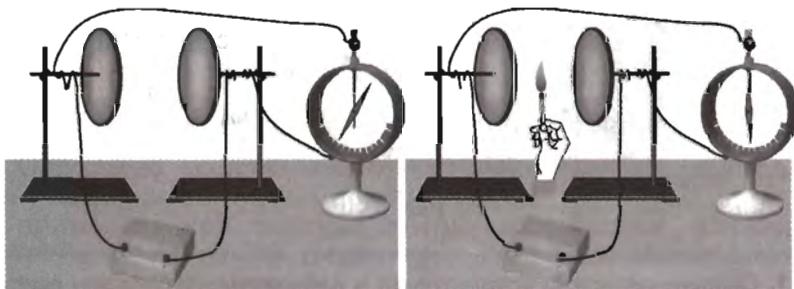


Рис. 68. Проводимость воздуха

Нагреем воздух между дисками пламенем спички (рис. 68, б). При этом стрелка электрометра быстро приблизится к нулю. Следовательно, нагретый газ становится проводником тока. Процесс протекания тока через газ называют **газовым электрическим разрядом**.

Вследствие нагревания (или других причин) часть атомов *ионизуется* — распадается на положительно заряженные ионы и электроны (рис. 69). В газе могут образовываться и отрицательные ионы: они появляются из-за присоединения электронов к нейтральным атомам.

Если ионизатор (пламя спички) перестанет действовать, то заряженный электрометр снова будет сохранять заряд. Это указывает на то, что после прекращения действия ионизатора газ становится диэлектриком. Ток прекратится после того, как все ионы и электроны достигнут электродов (дисков).

Кроме того, количество свободных зарядов резко падает по той причине, что при сближении электрона и положительно заряженного иона они соединяются, образуя нейтральный атом (рис. 70). Такой процесс называют *рекомбинацией* атомов.

Если газом наполнить герметический сосуд, частично ионизовать газ и поместить в него два электрода, то при наличии между ними электрического поля через ионизованный газ пойдет ток. При этом электроны и отрицательные ионы начнут двигаться к положительному заряженному электроду, а положительные ионы — к отрицательно заряженному электроду; в цепи возникнет электрический ток (рис. 71).

Электрический ток в газах — упорядоченное (направленное) движение электронов, положительных и отрицательных ионов под действием электрического поля.

Когда разряд в газе происходит только под действием внешнего ионизатора, его называют *несамостоятельным разрядом*. Газовый разряд, продолжающийся и после прекращения действия внешнего ионизатора, называют *самостоятельным раз-*

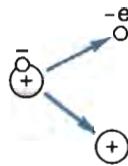


Рис. 69. Схема ионизации атома

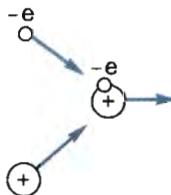


Рис. 70. Схема рекомбинации заряженных частиц

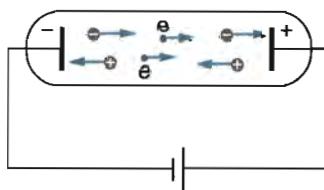


Рис. 71. Схема движения заряженных частиц в газе под действием электрического поля



а)



б)

Рис. 72. Получение искрового разряда

рядом. С причинами возникновения самостоятельного разряда и его видами вы познакомитесь в старших классах. Сейчас остановимся только на одном типе самостоятельного разряда — на искровом разряде.

Искровой разряд. Электрическую искру, имеющую вид ярко светящегося извилистого канала, соединяющего два электрода, можно наблюдать в лабораторных условиях с помощью электрофорной машины (рис. 72, а) или источника высокого напряжения (рис. 72, б). Газ вблизи искры нагревается до высокой температуры и быстро расширяется; при этом возникают звуковые волны, и мы слышим треск.

При наступлении искрового разряда газ быстро (скакком) утрачивает свои диэлектрические свойства и становится хорошим проводником. Напряженность поля, при которой наступает искровой разряд, имеет различное значение у разных газов и зависит от его состояния (давления, температуры).

Молния. Молния представляет собой искровой разряд в атмосфере.

В середине XVIII в. обратили внимание на внешнее сходство молнии с электрической искрой. То, что грозовые облака несут в себе большие электрические заряды и что молния — гигантская искра, было доказано на опыте русским ученым М. В. Ломоносовым в 1752—1753 гг. и независимо от него американским исследователем Бенджамином Франклином в 1753 г.

Разные части грозового облака несут заряды различных знаков. Чаще всего нижняя часть облака (обращенная к Земле) бывает заряжена отрицательно, а верхняя — положительно. Когда два облака сближаются разноименно заряженными частями, то между ними проскаивает молния.

Разряд может произойти и иначе: проходя над Землей, грозовое облако наводит на ее поверхности заряды противоположного знака. Между облаком и поверхностью Земли может произойти пробой — молния. Извилистый канал искрового разря-

да — это и есть путь зарядов, движущихся сквозь газ (см. Вклейку I). Ток в молнии может достигать значений в десятки тысяч ампер, а температура воздуха в шнуре молнии — десятки тысяч градусов, что и объясняет яркость молнии. Длина молнии между облаком и Землей составляет обычно несколько километров, между облаками — десятки километров.

Гром, возникающий после молнии, объясняется тем, что воздух внутри канала молнии сильно разогревается и быстро расширяется, от этого образуются звуковые волны. Эти волны, отражаясь от облаков, гор, поверхности Земли, создают громовые раскаты (длительное эхо).

Грозозащита. Защита от молний представляет собой серьезную проблему. В земной атмосфере происходит одновременно около 2000 гроз, число грозовых разрядов над Землей составляет примерно 100 в секунду. Вспышки молний космонавты могут видеть даже из космоса. Вероятность поражения человека молнией незначительна, тем не менее молния может вызвать лесные пожары. Около половины аварий в линиях электропередачи вызывается молниями.

Современная грозозащита — комплекс мероприятий и технических средств, предохраняющих здания, сооружения, а также оборудование электрических устройств от повреждений при прямых попаданиях молний. К грозозащитным устройствам относятся молниеподводы, грозозащитные тросы, разрядники и др.

Идея о молниеподводе появилась у Б. Франклина в 1748 г., а в 1749 г. он описал способ защиты «домов, храмов, кораблей и т. п. от удара молний...»: «...устанавливать на самых высоких местах... зданий вертикальные железные прутки, заостренные как иглы... а от их оснований опускать вниз проволоку снаружи здания до земли или вдоль одного из винтов корабля по борту до воды».

Молниеподвод представляет собой металлический стержень или трос, верхний конец которого заостряется и укрепляется выше самой высокой точки здания (рис. 73). Сопротивление молниеподвода около 10 Ом. Нижний конец стержня хорошо заземляют. С этой целью его припаивают к металлическому листу, а лист закапывают в землю на уровне подпочвенных вод. Во время грозы на Земле наводятся заряды и у поверхности Земли возникает сильное электрическое поле. Напряженность поля особенно велика возле острых проводников. Наведенный заряд стекает с острия молниеподвода, уменьшая разность потенциалов между ним и облаком. Когда молния ударяет в молниеподвод, то заряды уходят в землю, не причиняя разрушений.



Рис. 73. Молниеподвод

-
- ? 1. Как на опыте доказать, что воздух диэлектрик? 2. В каком случае воздух становится проводником? 3. Что называют газовым зарядом? 4. Что такое ионизация заряженных частиц? рекомбинация заряженных частиц? 5. Какие частицы являются носителями электрического тока в газах? Дайте определение электрического тока в газах. 6. Какой заряд называют несамостоятельный? 7. Как можно получить искровой разряд в лабораторных условиях? 8. Что представляет собой молния? 9. Кто из ученых на опыте доказал, что молния — гигантская искра? 10. При каком условии может происходить искровой разряд в атмосфере (молния)? 11. Почему молнию сопровождает гром? 12. С какой целью применяется грозозащита?
-

* § 16. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ТОК В ПОЛУПРОВОДНИКАХ И ЭЛЕКТРОЛИТАХ

Электропроводность полупроводников. В современных компьютерах, системах автоматики и робототехники, лазерах, телевизорах используются интегральные схемы, которые содержат огромное число элементов: диодов, транзисторов и др. В наручных электронных часах около 5000 транзисторов, в карманном калькуляторе около 20 000, а в компьютерном чипе их число может превышать миллион. Составной частью этих миниатюрных элементов схем являются **полупроводники**. К широко используемым полупроводникам относятся германий, кремний, селен, а также соединения алюминия с мышьяком, галлия с мышьяком и др.

Полупроводники обладают двумя важными особенностями. Во-первых, электропроводность полупроводников сильно возрастает при их нагреве. Во-вторых, электропроводность полупроводников очень чувствительна к загрязнениям (примесям). Всего лишь один процент примесей может изменить проводимость в миллион раз и более. В чем причина этих особенностей?

В полупроводниках, как и в металлах, с повышением температуры свободные электроны испытывают более частые столкновения с атомами кристаллической решетки, но сила тока тем не менее не уменьшается, как в металлах, а увеличивается. Объясняется это следующим образом: при низкой температуре практически все электроны связаны с атомами кристаллов, а свободных электронов почти нет (как в диэлектрике). С ростом температуры возрастает энергия теплового движения электронов, и все большая часть из них разрывает связь с атомами кристаллической решетки, и они становятся свободными (хотя абсолютное большинство электронов и в полупроводниках остается в связанном состоянии при любой температуре). Таким

образом, проводимость полупроводника при повышении температуры увеличивается по причине резкого возрастания концентрации в нем свободных электронов, способных переносить заряд. Нагрев полупроводника на несколько сотен градусов может привести к возрастанию концентрации свободных электронов в миллионы раз. Под действием внешнего электрического поля электроны упорядоченно перемещаются между узлами кристаллической решетки, образуя электрический ток. Проводимость полупроводников, связанную с движением свободных электронов, называют **электронной проводимостью** (проводимостью *n*-типа) (от лат. *negativus* — отрицательный).

В кристалле полупроводника (как и в металле) соседние атомы связаны «общими» (валентными) электронами, причем число возможных электронов, «скрепляющих» между собой соседние атомы, является строго определенным. Если один электрон связи потерян (например, он получил дополнительную энергию и стал свободным), то это можно рассматривать как появление одного вакантного места для электрона. Вакантным оно остается лишь на короткое время — пока его не займет другой связанный электрон, перешедший от одного из соседних атомов. Но пока этого не произошло, вакантное место, или как принято называть, электронную *дырку*, можно условно рассматривать как положительно заряженную частицу, которая исчезает, когда дырка заполняется электроном, но появляется на соседнем месте — там, где электрон был до этого. Благодаря тепловому движению атомов и электронов соседние группы атомов «отнимают» электроны друг от друга, заполняя ими непрерывно образующиеся вакантные места. Поэтому эти места (дырки) непрерывно перемещаются внутри полупроводника. При этом число дырок всегда остается несравненно меньше, чем число связанных электронов в кристалле.

В присутствии электрического поля процесс движения дырок в кристалле становится упорядоченным: они, словно свободные положительно заряженные частицы, перемещаются вдоль электрического поля, к отрицательному полюсу. Проводимость, обусловленная дырками, называется **дырочной проводимостью** (проводимостью *p*-типа) (от лат. *positivus* — положительный).

Таким образом, в чистых полупроводниках возможна электронная проводимость, обусловленная движением свободных электронов, и дырочная — движением дырок. При этом, поскольку проводники электронейтральны, число свободных электронов всегда равно числу дырок.

Электрический ток в полупроводниках — упорядоченное (направленное) движение электронов и дырок под действием электрического поля.

Добавляя в полупроводник те или иные посторонние вещества, можно добиться того, что полупроводник будет преимуще-

ственno обладать p - или n -проводимостью. Некоторые из добавок (например, фосфор), внедряясь в кристаллическую решетку полупроводника (кремния или германия), приводят к ослаблению связи электронов с атомами. При этом концентрация свободных электронов при данной температуре многократно возрастает. Проводимость таких полупроводников будет электронной (проводимостью n -типа). Другие вещества (например, бор, алюминий, индий) оказывают противоположное действие. Их включение в состав полупроводника приводит к более прочному удерживанию электронов в кристаллах, где находятся атомы примеси. Атомы кристаллической решетки, в которой имеются такие добавки, стремятся присоединить и удержать вблизи себя дополнительные электроны, «отняв» их у соседних атомов полупроводника. В результате в кристалле возникают и непрерывно перемещаются многочисленные дырки, и их оказывается больше, чем свободных электронов. Такой полупроводник обладает дырочной проводимостью (проводимостью p -типа).

Если соединить между собой полупроводники с p - и n -проводимостями или металл с полупроводником, то небольшая часть электронов перетекает через границу соединения в сторону того вещества, в котором много дырок, а часть дырок, наоборот, оказывается на стороне с электронной проводимостью. Поэтому оба соединенных полупроводника безо всякого внешнего воздействия окажутся электрически заряженными (с противоположными знаками заряда), а на границе между такими соединениями, в очень тонком слое возникнет разность потенциалов. Такой пограничный слой называется зоной $p-n$ -перехода или *запирающим слоем*. Он обладает большим или малым сопротивлением току в зависимости от его направления. Прикладывая разность потенциалов к полупроводникам, можно изменять разность потенциалов на противоположных сторонах пограничного слоя и тем самым управлять токами, проходящими через полупроводники.

Систему полупроводников с $p-n$ -переходом называют *полупроводниковым диодом* (рис. 74). Диоды обладают односторон-

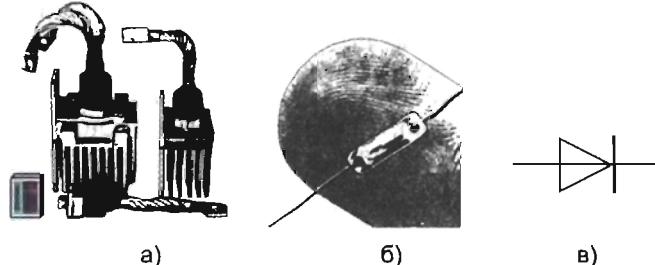


Рис. 74. Полупроводниковые диоды: а) мощные полупроводниковые диоды; б) точечный полупроводниковый диод; в) схематическое изображение

ней проводимостью, т. е. проводят ток только в одном направлении. Они широко используются в устройствах, где необходимо пропускание тока в одном направлении (например, для выпрямления переменного тока или в качестве детектора в радиоприемниках).

Современная техника позволяет, вводя в разные части одного полупроводникового кристалла (например, кремния) различные добавки, получать участки с *p*- и *n*-проводимостью, граничащие между собой. Полупроводниковый кристалл, имеющий три различные зоны, прилегающие друг к другу (*p-n-p* или *n-p-n*), называется *транзистором* (от англ. transfer — переносить и resistor — сопротивление) или триодом (рис. 75). Транзисторы используются в радиосхемах самого различного назначения для усиления электрических сигналов или их генерации. Благодаря малым размерам, большому сроку службы и малому расходу энергии транзисторы практически вытеснили электронные лампы из радиоэлектронных приборов.

Развитие микроэлектроники привело к широкому использованию в современной электронной технике не только отдельно изготавливаемых транзисторов, но и интегральных микросхем — монолитных электронных схем, содержащих различные транзисторы, которые производятся на единой кристаллической полупроводниковой основе в едином технологическом процессе. Без микросхем были бы невозможны мобильные телефоны, портативные калькуляторы и многие приборы бытовой и промышленной техники. Мозгом современных компьютеров являются микросхемы, называемые *процессорами* (микропроцессорами), которые могут объединять много миллионов транзисторов со сложными соединениями между собой, — и все это на площади, немного большей одного квадратного сантиметра! Лазерная указка, дающая узкий световой луч, — это тоже полупроводниковый прибор.

Свет от далеких звезд и галактик регистрируется также полупроводниковыми устройствами, устанавливаемыми на выходе телескопа. Их сердцем является матрица, образуемая большим числом полупроводниковых элементов, очень чувствительных к свету. С помощью этих приборов можно наблюдать такие объекты на небе, которые во много сотен раз слабее, чем те, что можно было бы увидеть глазом в тот же телескоп, и в сотни миллионов раз слабее, чем те, которые можно увидеть невооруженным глазом. Подобные матрицы, но более простые, используются в цифровых фотоаппаратах и видеокамерах.

Очень большую роль в исследовании полупроводников и их соединений сыграли советские ученые. Серьезные работы в этом

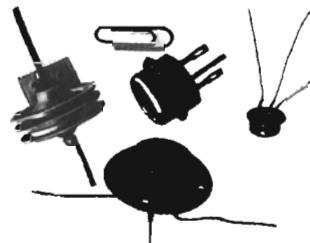


Рис. 75. Внешний вид транзисторов



Алфёров Жорес Иванович (р. 1930 г.) — российский ученый. Работы в области физики полупроводниковых приборов, полупроводниковой электроники. Удостоен Нобелевской премии 2000 г.

направлении были начаты в СССР еще в 20-х годах в Физико-техническом институте АН СССР под руководством А. Ф. Иоффе. За вклад в работы по физике полупроводников и их техническому использованию, в том числе за исследование «многослойных» полупроводников различного химического состава и типов проводимости (так называемых гетероструктур), российскому физику Ж. И. Алфёрову (одновременно с двумя физиками США — Герберту Крэмеру и Джеку Колби) в 2000 г. была присуждена Нобелевская премия.

Электропроводность электролитов. Жидкости, как и твердые тела, могут быть диэлектриками, проводниками и полупроводниками. К диэлектрикам относится дистиллированная вода, к проводникам относятся растворы солей, кислот и щелочей в воде — **электролиты**. Жидкими полупроводниками являются, например, расплавленный селен, расплавы сульфидов.

При растворении электролитов под влиянием электрического поля молекул растворителя происходит распад молекул электролитов на ионы. Этот процесс называется **электролитической диссоциацией**.

Степень диссоциации (доля молекул растворенного вещества, которые распадаются на ионы) зависит от температуры, давления, концентрации раствора и других факторов.

Если растворенное вещество не диссоциирует на ионы, то раствор не является проводником. Примером могут служить водные растворы сахара и глицерина, которые являются диэлектриками.

Ионы разных знаков при встрече могут снова объединяться в нейтральные молекулы — *рекомбинировать* (воссоединяться).

Носителями заряда в водных растворах или расплавах электролитов являются положительно и отрицательно заряженные ионы. Если сосуд с раствором электролита включить в электрическую цепь, то отрицательные ионы начнут двигаться к положительному электроду — *аноду*, а положительные — к отрицательному — *катоду*. В результате возникнет электрический ток. Поскольку перенос заряда в водных растворах или расплавах электролитов осуществляется ионами, такая проводимость называется *ионной*.

Электрический ток в электролитах — упорядоченное (направленное) движение положительных и отрицательных ионов под действием электрического поля.

При ионной проводимости прохождение тока связано с переносом вещества. На электродах происходит выделение веществ, входящих в состав электролитов. Процесс выделения веществ, связанный с окислительно-восстановительными реакциями, называется **электролизом**.

С помощью электролиза поверхность одного металла покрывают тонким слоем другого (никелирование, хромирование, омеднение и др.), а также осуществляют очистку металлов от примесей.

1. Какое главное отличие полупроводников от проводников?
2. Что такое электронная проводимость полупроводников? дырочная проводимость?
3. Каково определение электрического тока в полупроводниках?
4. Что понимают под примесями?
Какие примеси различают?
5. Какие полупроводники называют полупроводниками *n*-типа? полупроводниками *p*-типа?
6. Кто из российских ученых внес большой вклад в создание полупроводниковых приборов и полупроводниковой электроники?
7. С какой целью используются полупроводниковые диоды?
Где они применяются?
8. С какой целью используются транзисторы?
Где они применяются?
9. Что такое электролит?
10. Что такое электролитическая диссоциация? рекомбинация?
11. Дайте определение электрического тока в электролитах.
12. Что такое электролиз? С какой целью он используется?

Используя § 5 учебника, найдите ответы на вопросы:
1) Какие вещества относятся к проводникам? Приведите примеры проводников.
2) Какие вещества относятся к диэлектрикам? Приведите примеры диэлектриков.
3) Какие вещества относятся к полупроводникам? Приведите примеры полупроводников.

* ◆ Обнаружение односторонней проводимости у полупроводникового диода

1. Соберите электрическую цепь из источника тока 1, полупроводникового диода 2, лампочки на подставке 3 и ключа 4 по схеме (рис. 76, а).

2. Соберите электрическую цепь из источника тока, полупроводникового диода, лампочки на подставке и ключа по схеме (рис. 76, б).

3. В каком случае лампочка горит, а в каком не горит? О чём это свидетельствует?

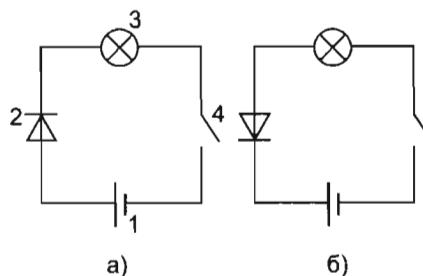


Рис. 76. Схемы включения полупроводникового диода

§ 17. ПОСТОЯННЫЕ МАГНИТЫ. МАГНИТНОЕ ПОЛЕ

Постоянные магниты. В § 6 мы рассматривали различные действия тока и убедились в том, что электрический ток оказывает магнитное действие.

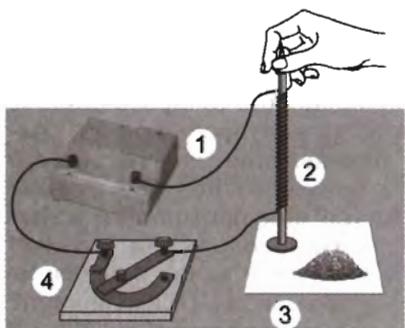


Рис. 77

На рисунке 77 изображена электрическая цепь. На лист бумаги насыпаны металлические опилки 3. На железный гвоздь 2 намотан проводник.

1) Соберите электрическую цепь согласно рисунку.

2) При замкнутой электрической цепи приблизьте гвоздь к металлическим опилкам. Что вы наблюдаете?

3) Какое действие тока проявляется в этом эксперименте?



Рис. 78. Способность магнитов притягивать к себе тела

В природе встречаются естественные магниты (от греч. *magnētis* — магнитный железняк) — железная руда. Залежи магнитного железняка есть на Урале, в Карелии, Курской области и других местах. Поднося естественный магнит к предметам, можно убедиться в том, что к нему хорошо притягиваются чугун, сталь, железо, некоторые сплавы, слабее — никель, кобальт, не притягиваются бумага, пластмасса и другие тела. На рисунке 78 показана способность магнитов притягивать металлические предметы.

Железо, сталь, никель, кобальт и некоторые сплавы в присутствии магнитного железняка приобретают магнитные свойства — способность притягивать к себе другие тела. Из этих материалов изготавливают искусственные магниты.

Тела, длительное время сохраняющие магнитные свойства, называют постоянными магнитами или просто магнитами.

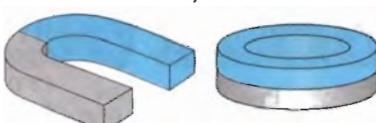
Постоянные магниты применяются как источники магнитного поля.

Магнитам можно придавать самую разнообразную форму (рис. 79). У любого магнита два полюса: *северный N* (от голл. noord — север) и *южный S* (от нем. süden — юг).

Магнитная стрелка — постоянный магнит. Как и всякий магнит, она имеет два полюса: северный и южный. Линию, соединяющую полюсы магнитной стрелки, называют *осью магнитной стрелки* (рис. 80). Магнитная стрелка является главной частью компаса (рис. 81).



a)



б)

в)

Рис. 79. Постоянные магниты:
а) полосовой; б) U-образный;
в) кольцевой

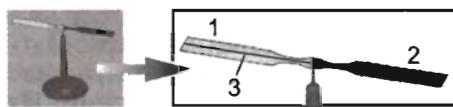


Рис. 80. Магнитная стрелка: 1 — северный полюс; 2 — южный полюс; 3 — ось магнитной стрелки



Рис. 81. Внешний вид компаса

◆ Постоянные магниты и их свойства

Приборы и материалы: полосовой магнит, U-образный магнит, железные опилки, скрепки, гвоздики и другие тела, лист тонкого картона, магнитная стрелка на подставке, песок, кусочки бумаги, ластик, пластмассовая ручка и другие предметы.

Таблица для записи результатов экспериментов

№ опыта	Что наблюдали	№ опыта	Что наблюдали

1. Исследуйте действия полосового и U-образного магнитов на различные предметы: скрепки (кнопки или гвоздики), железные опилки, мелкие кусочки бумаги, пластмассовую ручку и др. Какие из тел притягиваются магнитами?

2. Насыпьте на лист картона смесь железных опилок и сухого песка. Отделите опилки от песка с помощью магнита.

3. Установите, действует ли магнит через картон. Для этого насыпьте на лист картона железные опилки и поднимите его одной рукой. Другой рукой поднесите снизу магнит так, как показано на рисунке 82, а. Что вы наблюдаете? Изобразите расположение железных опилок на поверхности картона.

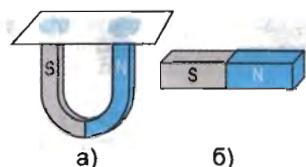


Рис. 82

нит на концах — у полюсов, сколько — в центре?

5. Проделайте такой же опыт с U-образным магнитом.

6. Определите южный и северный полюсы на магнитной стрелке и на магните. Какими цветами они окрашены?

7. Поднесите к южному полюсу магнитной стрелки полосовой магнит сначала южным полюсом, затем северным полюсом. Что происходит со стрелкой? Каким полюсом стрелка поворачивается к магниту?

Взаимодействие магнитов. Выполняя экспериментальные задания, вы убедились в удивительных свойствах магнита. Магнит способен притягивать тела на значительном расстоянии. Из гвоздиков, скрепок или железных опилок легко получить целые гирлянды. Магниту не помеха лист бумаги или картона. Не менее удивительно поведение магнитной стрелки компаса, всегда стремящейся повернуться на север, как бы вы ни вращали компас, стремясь «сбить его с толку».

В эксперименте вы наблюдали, что железные опилки притягиваются к концам магнита и не пристают к его середине. Те части магнита, в которых обнаруживаются наиболее сильные его действия, называют **полюсами** магнита.

На рисунке 83 изображено взаимодействие магнитных стрелок (рис. 83, а) и полосовых магнитов (рис. 83, б и в). При взаимодействии магнитов

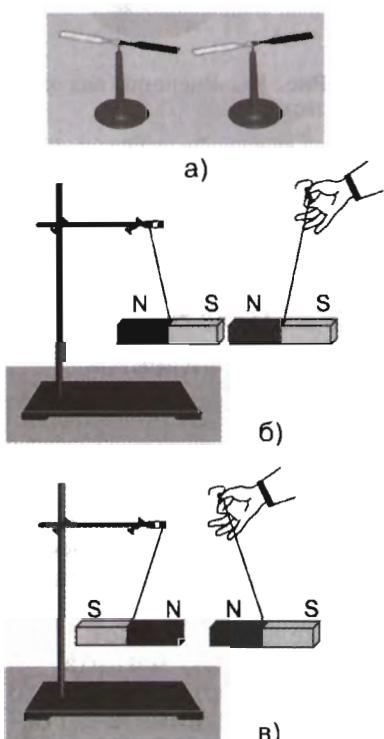


Рис. 83. Взаимодействие магнитов

разноименные магнитные полюсы притягиваются, одноименные отталкиваются.

Притяжение магнитов напоминает притяжение на расстоянии наэлектризованных тел. На протяжении многих веков эти два явления путали. Лишь английскому ученому Уильяму Гильберту в конце XVI в. удалось доказать, что это не одно и то же. Действительно, магнит не нуждается в натирании, для того чтобы притягивать. Эта способность не исчезает со временем, как у наэлектризованных тел (конечно, если магнит не нагревать, не трясти или не ударять по нему). Различие между электрическими и магнитными притяжениями показал У. Гильберт в 1600 г. в своей книге «О магните, магнитных телах и большом магните — Земле...». Гильберт описал все свойства магнита, которые были известны тогда, а также изложил результаты собственных опытов.

Понятие «магнитный полюс» ввел в 1269 г. французский исследователь Пьер Перегрин из Марикурта. Предполагая, что взаимодействие магнитов обусловлено магнитными зарядами, находящимися на полюсах, он пытался их разделить. Однако все попытки Перегрина получить магнитный заряд не увенчались успехом. Каждый фрагмент разделенного магнита имел два полюса: северный и южный (рис. 84). Отделить северный полюс от южного, получить изолированный магнитный полюс невозможно, поскольку магнитных зарядов в природе не существует.

Гипотеза Ампера. Если Эрстед при замыкании цепи обнаружил поворот магнитной стрелки, то Амперу удалось объяснить причину магнитных свойств тела. Он показал, что все магнитные явления обусловлены чисто электрическими эффектами. Гипотеза Ампера заключалась в том, что токи могут быть не только макроскопическими, текущими, например, по проводам, но и микроскопическими в атомах и молекулах. Совокупность этих токов и объясняет магнитные свойства вещества. Если токи расположены хаотически по отношению друг к другу, то их действие

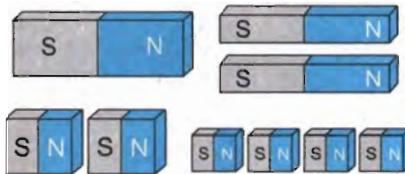


Рис. 84. Возникновение двух полюсов в любых фрагментах магнита

Гильберт Уильям (1544—1603) — английский физик и врач. В 1600 г. издал сочинение «О магнитах, магнитных телах и большом магните — Земле...», в котором описал свои исследования магнитных и электрических явлений. Установил, что магнит всегда имеет два полюса — северный и южный; одноименные полюсы отталкиваются, разноименные притягиваются. Пришел к выводу, что Земля является большим магнитом.

Гильберт будет жить, пока магнит будет притягивать.
Д. Драйден



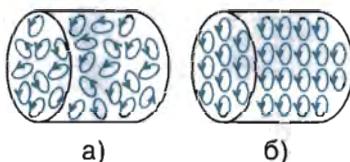


Рис. 85. Схема расположения элементарных электрических токов

взаимно компенсируется и никаких магнитных свойств тело не обнаруживает (рис. 85, а). В намагниченном состоянии элементарные токи ориентированы определенным образом, так что их действия складываются (рис. 85, б).

Гипотеза Ампера в общих чертах правильно объясняет суть процесса.

Магнитное поле. Подобно тому как в пространстве, окружающем электрические заряды, возникает электрическое поле, в пространстве, окружающем токи, возникает поле, называемое **магнитным**. Термин «магнитное поле» ввел в 1845 г. английский физик М. Фарадей.

Магнитное поле представляет собой особую форму материи, посредством которой осуществляется взаимодействие между движущимися заряженными частицами.

Магнитное поле существует независимо от нас, от наших знаний о нем. *Основные свойства магнитного поля:* магнитное поле порождается током (движущимися зарядами) и обнаруживается по действию на ток (движущиеся заряды).

- ? 1. Как можно убедиться в том, что вокруг проводника с током существует магнитное поле? 2. Какие постоянные магниты вы знаете? 3. Как взаимодействуют постоянные магниты? 4. Кто из ученых определил различие между электрическими и магнитными притяжениями? 5. Можно ли получить изолированный магнитный полюс? 6. В чем суть гипотезы Ампера? Как можно с помощью гипотезы Ампера объяснить намагниченное и ненамагниченное состояние тела? 7. Что понимают под магнитным полем? Каковы основные свойства магнитного поля?

§ 18. ПРОЯВЛЕНИЕ МАГНИТНОГО ПОЛЯ. ЛИНИИ МАГНИТНОЙ ИНДУКЦИИ

Проявление магнитного поля. Рене Декарт обнаружил, что железные опилки, насыпанные вокруг постоянного магнита, ведут себя как маленькие магнитные стрелки. Линии, образуемые магнитными стрелками или железными опилками в магнитном поле, стали называть **силовыми линиями магнитного поля**. На рисунке 86 показано расположение железных опилок и маленьких магнитных стрелок в поле полосового магнита; на рисунке 87 — двух полосовых (*а*, *б*) и одного U-образного (*в*) магнитов.

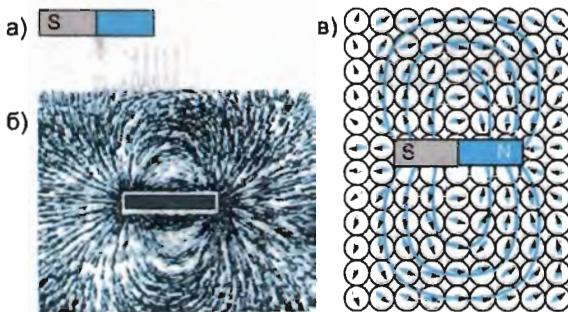


Рис. 86. Магнитное поле полосового магнита: а) полосовой магнит; б) расположение железных опилок в поле полосового магнита; в) расположение магнитных стрелок в поле полосового магнита

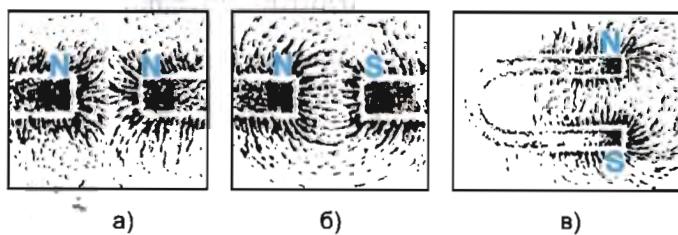


Рис. 87. Магнитное поле постоянных магнитов

В пространстве, окружающем проводник с током, возникает магнитное поле. На рисунках 88–90 изображены результаты опытов по пропусканию тока через прямой проводник, круговой проводник, катушку с током (соленоид). Во всех опытах железные опилки и (или) магнитные стрелки располагаются в плоскости, перпендикулярной проводнику. Пространственная ориентация опилок и стрелок изменяется на противоположную при изменении направления тока в проводнике (рис. 88, в).

Линии магнитной индукции. В § 3 вы познакомились с удобным и наглядным способом графического изображения электрического поля с помощью линий напряженности. То же мы можем применить и к магнитному полю.

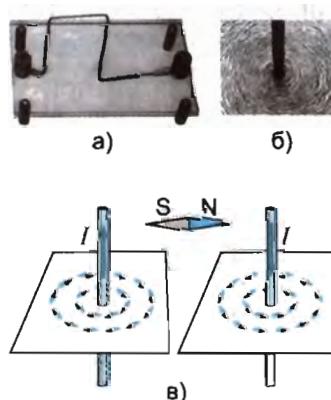


Рис. 88. Магнитное поле прямого тока: а) внешний вид прямого проводника; б) расположение железных опилок в магнитном поле прямого тока; в) расположение магнитных стрелок в магнитном поле прямого тока

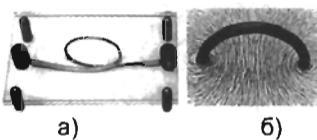


Рис. 89. Магнитное поле кругового тока: а) внешний вид кругового проводника; б) расположение железных опилок в магнитном поле кругового тока

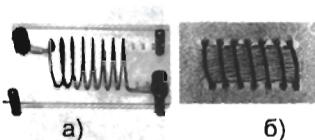


Рис. 90. Магнитное поле катушки: а) внешний вид катушки; б) расположение железных опилок в магнитном поле катушки

В магнитном поле магнитная стрелка устанавливается в определенном направлении: ось магнитной стрелки располагается по направлению касательной к воображаемой линии поля в этой точке, северный полюс магнитной стрелки указывает направление линий магнитного поля.

Величина, характеризующая магнитное поле и совпадающая с направлением, указываемым магнитной стрелкой, получила название **магнитная индукция** и обозначается буквой латинского алфавита \vec{B} (читается «бэ»). **Магнитная индукция — векторная величина**. За направление вектора магнитной индукции \vec{B} принимается направление, в котором устанавливается ось магнитной стрелки и ее северный полюс.

Линия, касательная к которой в любой точке указывает направление поля в этой точке, называется линией индукции магнитного поля.

Вектор магнитной индукции направлен по касательной в любой точке линии индукции магнитного поля (рис. 91).

Линии магнитной индукции магнитного поля прямого проводника с током — окружности с центром на оси проводника (рис. 88, б), кругового проводника с током — окружности, охватывающие каждый участок проводника с центром на их оси (рис. 89, б), катушки с током — прямые, параллельные оси катушки при условии, если длина катушки намного больше ее диаметра ($l >> d$) (рис. 90, б). Во всех точках магнитного поля внутри катушки с током (соленоида) линии магнитной индукции поля имеют одно и то же направление: они параллельны оси соленоида. Только вблизи концов соленоида линии магнитной индукции искривляются.

Что объединяет магнитные поля прямого проводника, кругового проводни-

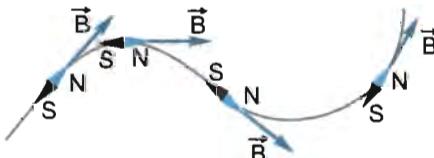


Рис. 91. Построение линий магнитной индукции

ка и катушки с током? Какова бы ни была форма проводников, линии индукции магнитных полей имеют вид замкнутых линий, т. е. не имеют ни начала, ни конца. Замкнутость линий магнитной индукции представляет собой фундаментальное свойство магнитного поля. Это свойство является общим и очень важным: *свободных магнитных зарядов в природе нет*.

Поля с замкнутыми силовыми линиями называются *вихревыми полями*. Магнитное поле — вихревое поле.

Для определения направления вектора магнитной индукции поля используется любое из приведенных ниже мнемонических правил (от греч. *mēmōnīka* — искусство запоминания).

1. Правило буравчика (правого винта).

Если буравчик ввинчивать по направлению тока в проводник, то направление вращения рукоятки буравчика совпадает с направлением вектора магнитной индукции в данной точке поля.

На рисунке 92, а показано направление линии магнитной индукции и направление вектора магнитной индукции прямого проводника с током, определенных с помощью правила буравчика.

2. Правило правого обхвата.

Если большой палец правой руки расположить по направлению тока в проводнике, то остальные четыре пальца указывают направление линии магнитной индукции магнитного поля.

На рисунке 92, б показано направление линии магнитной индукции и направление вектора магнитной индукции прямого проводника с током, определенных с помощью правила правого обхвата.

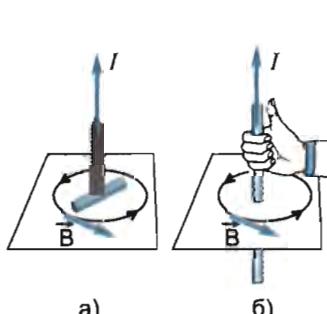


Рис. 92. Определение направления вектора магнитной индукции

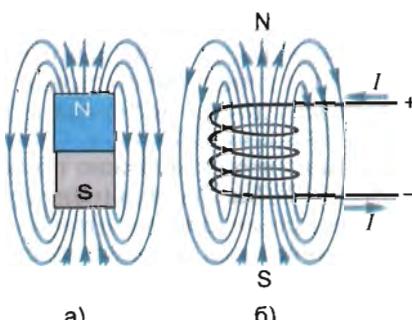


Рис. 93. Сравнение направлений линий магнитной индукции



Рис. 94. Разборный электромагнит



Рис. 95. Электромагнитный подъемный кран

Электромагниты, обладающие большой подъемной силой, используют на заводах для переноски тяжелых изделий из железа, стали или чугуна. Массивные железные глыбы или части машин в десятки тонн переносят электромагнитными подъемными кранами без специального крепления (рис. 95). Точно так же на заводах переносят листовое железо, проволоку, гвозди, железный лом и другие материалы без ящиков и упаковки.

-
1. Как на опыте можно обнаружить существование магнитного поля? 2. Как экспериментально можно обнаружить изменение пространственной ориентации магнитных стрелок? 3. Как устанавливается ось магнитной стрелки в магнитном поле? 4. Что принимается за направление вектора магнитной индукции? 5. Что понимают под линиями магнитной индукции магнитного поля? 6. Каково фундаментальное свойство магнитного поля? 7. Какие правила используются для определения направления линий магнитной индукции (вектора магнитной индукции)?

Линии магнитной индукции магнитных полей, создаваемых полосовым магнитом (рис. 93, а) и катушкой с током (рис. 93, б), очень похожи. У соленоида можно также обнаружить северный и южный полюсы. Вне соленоида магнитное поле направлено так же, как и у полосового магнита: от северного полюса N к южному S.

Два соленоида или соленоид и магнит взаимодействуют подобно двум магнитам.

Электромагнит. Поле соленоида можно увеличить в сотни и тысячи раз, помещая внутрь его железный сердечник. **Электромагнит — катушка с железным сердечником внутри.**

На рисунке 94 показан разборный электромагнит. Прибор состоит из П-образного сердечника, двух съемных катушек и якоря с крюком. На каждой катушке намотано 570 витков медного провода сопротивлением 1,5 Ом.

Широкое применение электромагниты получили благодаря быстрому намагничиванию при включении тока, а также регулировке магнитным действием тока (усилению или ослаблению).

8. Что представляют собой линии магнитной индукции прямого проводника с током? кругового тока? катушки с током? 9. Почему справедливо утверждение: «Магнитное поле полосового магнита тождественно с магнитным полем соленоида»? 10. Что такое электромагнит? Приведите примеры его применения.

1. На рисунке 96 указано направление электрического тока в проводниках (а—г). Изобразите направление линий магнитной индукции для каждого случая.

2. На рисунке 97 изображено направление линий магнитной индукции магнитных полей для четырех проводников. Укажите направление тока в проводниках.

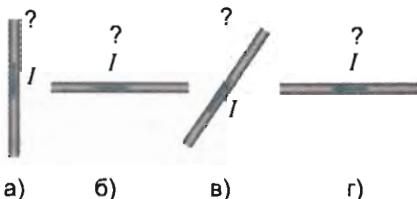


Рис. 96

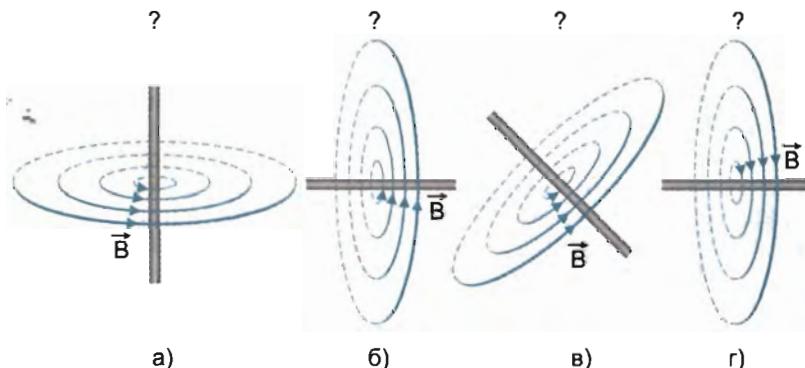


Рис. 97

3. На рисунке 98, а изображена катушка, а на рисунке 98, б — ее условное обозначение. Укажите направление тока в катушке и направление линий магнитной индукции магнитного поля катушки.

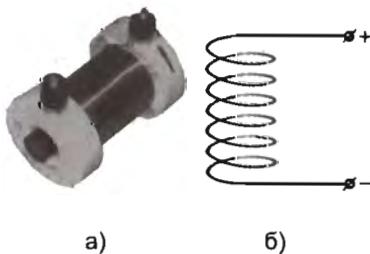


Рис. 98

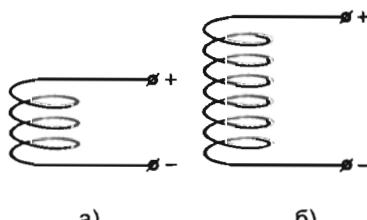


Рис. 99

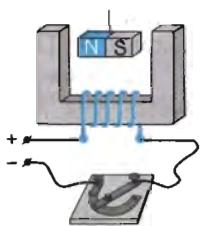


Рис. 100

4. Какая из катушек обладает большим магнитным полем (рис. 99)? Ответ обоснуйте. Изобразите линии магнитной индукции магнитного поля катушек.

* **5.** Между полюсами электромагнита подведен полосовой магнит (рис. 100). Что будет с полосовым магнитом, если замкнуть ключ? Ответ обоснуйте.

§ 19. ДЕЙСТВИЕ МАГНИТНОГО ПОЛЯ НА ПРЯМОЛИНЕЙНЫЙ ПРОВОДНИК С ТОКОМ. ХАРАКТЕРИСТИКИ МАГНИТНОГО ПОЛЯ

Закон Ампера. Магнитное поле действует на все участки проводника с током. Силовое действие магнитного поля на проводник с током можно обнаружить экспериментально. На рисунке 101, а изображена электрическая цепь, состоящая из источника тока 1, прямолинейного проводника 2, подвешенного на гибких проводах, ключа 3, реостата 4. Проводник помещен между полюсами U-образного магнита. При замыкании электрической цепи проводник приходит в движение — выталкивается из магнитного поля (рис. 101, б). Если изменить направление тока в проводнике (изменить полярность включения), то проводник также придет в движение — втянется в магнит (рис. 101, в). Направление движения проводника зависит и от расположения полюсов магнита.

В 1820 г. А.-М. Ампер экспериментально установил, от каких величин зависит сила, действующая на проводник с током со стороны магнитного поля.

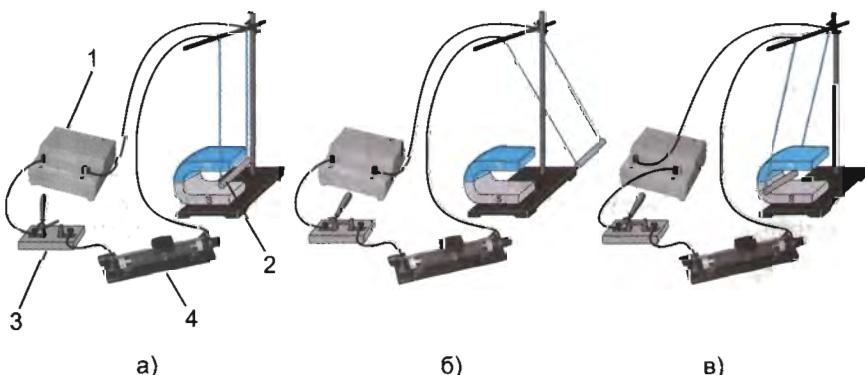


Рис. 101. Действие магнитного поля на прямолинейный проводник с током

Сила, с которой магнитное поле действует на помещенный в него проводник с током, равна произведению силы тока, модуля магнитной индукции, длины проводника, синуса угла между направлением тока в проводнике и вектором магнитной индукции.

Это соотношение называют **законом Ампера**:



$$F_A = IB\Delta l \sin \alpha,$$

где F_A — сила, действующая на проводник с током (сила Ампера); I — сила тока в проводнике; B — модуль магнитной индукции; Δl — длина проводника, находящегося в магнитном поле; α — угол между направлением тока в проводнике и направлением вектора магнитной индукции.

Для определения направления силы Ампера используется мнемоническое правило — *правило левой руки*.

Ладонь левой руки располагают так, чтобы линии магнитной индукции входили в ладонь; четыре пальца показывали направление тока в проводнике; тогда отставленный на 90° большой палец левой руки укажет направление силы, действующей на проводник с током (рис. 102).

Сила Ампера всегда направлена перпендикулярно как направлению тока в проводнике, так и направлению линий магнитной индукции.

Модуль магнитной индукции. На рисунке 102 угол $\alpha = 90^\circ$, $\sin 90^\circ = 1$. Следовательно, на проводник с током действует максимальная сила Ампера:

$$F_{A\max} = IB\Delta l.$$

Выразим модуль магнитной индукции:



$$B = \frac{F_{A\max}}{I\Delta l}.$$

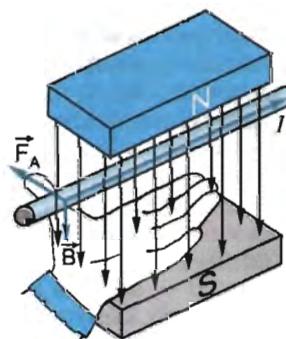


Рис. 102

Модуль магнитной индукции равен отношению максимальной силы, действующей со стороны магнитного поля на проводник с током, к произведению силы тока в проводнике на длину проводника, находящегося в магнитном поле.

В дальнейшем модуль магнитной индукции будем кратко называть *магнитной индукцией*.

Единицей магнитной индукции в СИ является тесла (1 Тл): $[B] = \text{Н}/(\text{А} \cdot \text{м}) = \text{Тл}$. Названа в честь сербского ученого Никола Тесла (1856—1943).

Магнитная индукция однородного магнитного поля равна 1 Тл, если на прямолинейный проводник длиной 1 м при силе тока в нем 1 А действует со стороны магнитного поля максимальная сила 1 Н.

Магнитная индукция — основная характеристика магнитного поля; она определяет магнитное поле в каждой точке пространства. Магнитная индукция — *силовая характеристика магнитного поля*, так как она определяет силу, действующую на токи.

Магнитное поле считается *однородным*, если в любой точке поля модуль и направление магнитной индукции остаются величиной постоянной ($\vec{B} = \text{const}$).

Магнитное поле считается *неоднородным*, если модуль и направление (или модуль, или направление) магнитной индукции изменяются от точки к точке ($\vec{B} \neq \text{const}$).

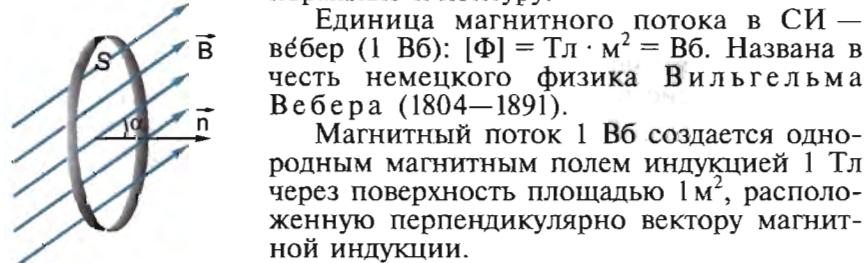
Магнитный поток. Для описания взаимодействия магнитного поля и тока в физике вводится еще одно важное понятие — **магнитный поток** через поверхность контура, проводящего ток.

Рассмотрим плоский замкнутый контур с площадью поверхности S , помещенный в однородное магнитное поле ($\vec{B} = \text{const}$). Перпендикуляр (нормаль) \vec{n} к плоскости контура составляет с вектором магнитной индукции угол α (рис. 103).

Магнитным потоком через поверхность называется величина, равная произведению модуля магнитной индукции, площади контура, косинуса угла между вектором магнитной индукции и нормалью к поверхности контура:

$$\Phi = BS \cos \alpha,$$

где Φ — магнитный поток, пронизывающий поверхность контура; B — модуль индукции магнитного поля; S — площадь поверхности контура, помещенного в магнитное поле; α — угол между вектором магнитной индукции и нормалью к контуру.



Единица магнитного потока в СИ — вебер (1 Вб): $[\Phi] = \text{Tl} \cdot \text{m}^2 = \text{Вб}$. Названа в честь немецкого физика Вильгельма Вебера (1804—1891).

Магнитный поток 1 Вб создается однородным магнитным полем индукцией 1 Тл через поверхность площадью 1 м², расположенную перпендикулярно вектору магнитной индукции.

Рис. 103

Пример решения задачи

Для изучения действия магнитного поля на прямолинейный проводник с током используют специальные чувствительные весы. Проводник длиной 10 см помещают между полюсами U-образного магнита, у которого индукция магнитного поля равна 0,01 Тл. Чему равна сила тока в проводнике, если на него действует выталкивающая сила 0,009 Н?

$I = ?$

$$\begin{aligned}\Delta l &= 10 \text{ см} = 0,1 \text{ м} \\ B &= 0,01 \text{ Тл} \\ F_A &= 0,009 \text{ Н} \\ \alpha &= 90^\circ\end{aligned}$$

Решение

$$\begin{aligned}F_A &= IB\Delta l \sin \alpha, \\ I &= \frac{F_A}{B\Delta l \sin \alpha}, \\ \alpha &= 90^\circ, \sin 90^\circ = 1, \\ [I] &= \text{Н/Тл} \cdot \text{м} = (\text{Н} \cdot \text{А} \cdot \text{м}) / (\text{Н} \cdot \text{м}) = \text{А}. \\ I &= 9 \text{ (А).}\end{aligned}$$

Ответ: сила тока в проводнике равна 9 А.

1. На основании какого опыта можно убедиться, что на проводник с током со стороны магнитного поля действует сила? 2. Как можно рассчитать силу, действующую на проводник с током со стороны магнитного поля? Поясните величины, входящие в эту формулу. 3. Какая величина является основной характеристикой магнитного поля? 4. Какова единица магнитной индукции в СИ? 5. Какое магнитное поле принято считать однородным? неоднородным? 6. Что означает утверждение: «Индукция однородного магнитного поля равна 0,01 Тл»? 7. На каком из рисунков (86, б, 87, а, б, в, 88, б, 89, б, 90, б) изображено однородное магнитное поле? На каком — неоднородное? 8. Что такое магнитный поток? 9. Запишите формулу расчета магнитного потока. Поясните величины, входящие в эту формулу. 10. Какова единица магнитного потока в СИ?

1. В однородном магнитном поле индукцией 0,8 Тл находится проводник длиной 15 см, расположенный перпендикулярно линиям магнитной индукции. Чему равна сила, действующая на проводник, если сила тока в нем 1,5 А?
2. Проводник находится в однородном магнитном поле индукцией 1 Тл. Длина проводника 0,1 м. Чему равна сила тока в проводнике, если он выталкивается из этого поля силой 2,5 Н? Угол между направлением тока в проводнике и направлением вектора магнитной индукции равен 90° .
3. Прямолинейный проводник длиной 1,4 м, находящийся в однородном магнитном поле индукцией 0,25 Тл, испытывает действие силы 2,1 Н. Чему равен угол между направлением тока в проводнике и направлением линий магнитной индукции? Сила тока в проводнике 12 А.

4. В магнитном поле керамического магнита индукцией 0,02 Тл находится замкнутый контур площадью 36 см^2 . Какой магнитный поток пронизывает контур?

*** 5.** В однородном магнитном поле индукцией 0,4 Тл находится плоский контур площадью 50 см^2 . Под каким углом к вектору магнитной индукции должен располагаться контур, чтобы его пронизывал магнитный поток 1,4 мВб?

● 1. На рисунке 104 стрелкой указано направление тока в проводнике, расположенном между полюсами U-образного магнита. В каком направлении будет двигаться проводник в случаях *a*, *b* и *v*?

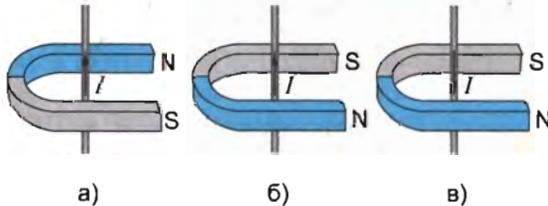


Рис. 104

2. В однородное магнитное поле помещен прямолинейный проводник с током (рис. 105). Для каждого случая (*a*, *b*, *v*) укажите направление силы, действующей на проводник с током.

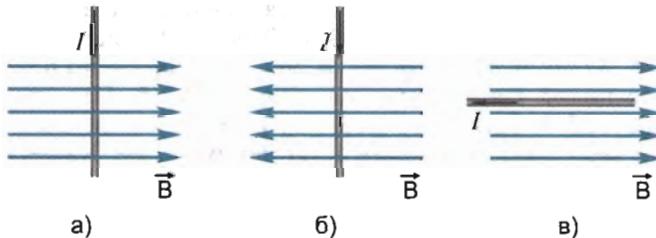


Рис. 105

*§ 20. МАГНИТНОЕ ПОЛЕ КОСМИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ

Магнитные поля в природе разнообразны по масштабам и вызываемым эффектам. Магнитные поля имеют звезды, планеты, межпланетное пространство.

Магнитное поле Солнца. Солнце — это огромный шар из плазмы (т. е. ионизованного газа), состоящий в основном из водорода и гелия. Из курса 7 класса вы знаете, что Солнце имеет

атмосферу, которая условно разделяется по высоте на фотосферу, хромосферу, корону. В солнечной атмосфере возникают быстро меняющиеся активные образования: солнечные пятна, факелы, протуберанцы, солнечные вспышки. Причиной возникновения, усиления и изменения активных образований являются сложные взаимодействия плазмы солнечной атмосферы с магнитными полями Солнца.

Солнце в целом слабо намагниченная звезда. Измерения показали, что индукция магнитного поля Солнца (рис. 106) в среднем лишь вдвое выше, чем у поверхности Земли, и составляет около 10^{-4} Тл. Но в солнечных пятнах она оказалась в тысячи раз выше. Солнечные пятна — это области Солнца, где магнитное поле на какое-то время (несколько дней или недель) становится очень сильным (в тысячи раз выше среднего значения). Температура пятен примерно на 1,5 тыс. градусов ниже окружающего газа. Причина понижения температуры в пятнах связана с влиянием магнитного поля на конвективное движение газа. Ведь солнечная плазма хорошо проводит электрический ток. Магнитное поле Солнца там, где оно особенно сильное, тормозит движение конвективных потоков газа, наводя в них электрический ток и взаимодействуя с ним. В результате области в фотосфере с сильным магнитным полем получают меньше энергии, и их температура оказывается ниже, поэтому солнечные пятна выглядят темнее. Светлые и темные области характеризуют направление линий магнитной индукции. Установлено, что солнечные пятна (темные образования на Солнце) — это места выхода в солнечную атмосферу сильных магнитных полей.

Самыми яркими и заметными образованиями во внутренних слоях короны являются протуберанцы. Протуберанцы — это большие, сложные по форме облака горячего газа, движущиеся в короне. Их длина может достигать сотен тысяч километров, хотя ширина не превышает 6000—10 000 км. Они обычно выглядят как огненные дуги или языки пламени, поднимающиеся над Солнцем. На форзаце приведены фотографии протуберанцев. Газ, выброшенный с видимой поверхности Солнца или падающий на нее, движется вдоль линий магнитной индукции магнитного поля Солнца.

Солнце выбрасывает большое количество заряженных частиц (ядер атомов и электронов), из которых образуется поток, направляющийся к самым окраинным зонам Солнечной сис-

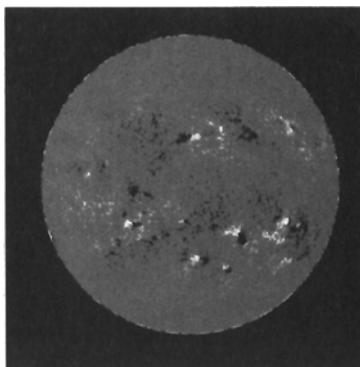


Рис. 106. Карта магнитных полей Солнца

темы. Такое непрерывное истечение солнечного вещества получило название «солнечный ветер». Солнечный ветер состоит главным образом из протонов и электронов, но в нем содержатся также ядра гелия и других элементов. Потоки этих частиц также формируются под действием магнитного поля Солнца.

Солнечный ветер не бесконечно путешествует в межзвездном пространстве: пройдя всю планетную систему, частицы рано или поздно вступают во взаимодействие с магнитным полем межзвездной среды и теряют свою кинетическую энергию. Зона, где заканчивается солнечный ветер, называется гелиопаузой и обозначает границы «сферы влияния» Солнца.

Вблизи орбиты Земли у солнечного ветра скорость составляет примерно 400 км/с, а концентрация — несколько частиц на 1 см³ (т. е. в миллиард миллиардов раз ниже, чем плотность земной атмосферы).

Магнитное поле Земли и других планет Солнечной системы. Земля обладает значительным магнитным полем (около $5 \cdot 10^{-5}$ Тл). Считается, что земное магнитное поле поддерживается электрическими токами, идущими из расплавленного ядра Земли. Линии индукции магнитного поля Земли подобны линиям индукции полюсового магнита (рис. 107). Северный полюс этого магнита N близок к Южному полюсу Земли, а Южный полюс S — к ее Северному полюсу. Магнитные полюсы Земли отстоят от ближайших геофизических полюсов примерно на 800 км, а ось магнита составляет с земной осью угол 11,5°.

Магнитное поле Земли распространяется в космос на большое расстояние, образуя магнитосферу. *Магнитосферой* Земли называют всю область околосземного пространства (за пределами земной атмосферы), где движение заряженных частиц (электронов и протонов) контролируется магнитным полем Земли. За пределами магнитосферы действие магнитного поля Земли не ощущается.

На рисунке 108 приведена схема магнитосферы Земли. На больших расстояниях от Земли форма ее магнитного поля искажается под действием солнечного ветра. В магнитном поле Земли удерживаются огромное количество заряженных частиц (протонов и электронов), которые образуют радиационные пояса. Магнитосфера защищает Землю от потока

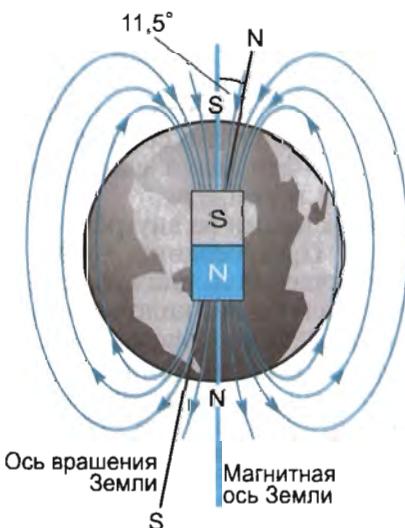


Рис. 107. Земля — магнит

электрически заряженных частиц, испускаемых Солнцем, — солнечного ветра. Без магнитного поля Земли вряд ли было возможно возникновение жизни на самой планете из-за высокого уровня радиации.

Активность Солнца достигает максимума в среднем через 11,2 года. Изменение солнечной активности практически не влияет на ту световую энергию и теплоту, которые Земля получает от Солнца (эта энергия меняется лишь на 0,1%). И тем не менее Земля реагирует на проявления солнечной активности. Самым ярким примером может служить увеличение полярных сияний и магнитных бурь (т. е. быстрых изменений земного магнитного поля) в годы максимума солнечной активности.

Обнаружено влияние активности Солнца на живую природу: на рост деревьев, миграцию некоторых животных и насекомых и даже на состояние здоровья людей. Все это показывает, насколько большое значение должно иметь исследование и прогнозирование солнечной активности.

Механизм, связывающий активные процессы на Солнце со многими земными явлениями, еще не вполне ясен. Полярные сияния и магнитные бури, а может, и другие проявления активности Солнца вызваны взаимодействием магнитного поля Земли и ее атмосферы с частицами солнечного ветра. Большую роль играют и потоки очень быстрых протонов и электронов (солнечных космических лучей), которые ускоряются во время солнечных вспышек до многих тысяч километров в секунду.

Из всех планет Солнечной системы Юпитер обладает самой мощной магнитосферой. Его магнитное поле примерно в 10 раз сильнее земного и останавливает поток солнечного ветра уже на расстоянии нескольких десятков радиусов планеты. Хвост магнитосферы Юпитера тянется до орбиты Сатурна.

Сравнительно слабое магнитное поле обнаружено у Сатурна. У Марса, Урана и Нептуна также обнаружены магнитные поля, но значительно слабее. У Меркурия поле крайне слабое, а у Венеры отсутствует.

У Луны нет магнитного поля (компас там бесполезен), и частицы солнечного ветра непрерывно «обстреливают» ее поверхность.

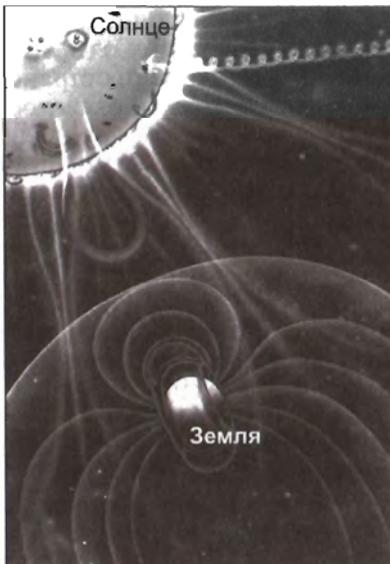


Рис. 108. Схема магнитосферы Земли

Магнитное поле межзвездного пространства. Пространство за пределами Солнечной системы называется *межзвездным*. Межзвездное пространство заполнено очень разреженным газом, который, как оказалось, также содержит много заряженных частиц, поэтому проводит электрический ток и может взаимодействовать с магнитными полями.

Магнитные поля в межзвездном пространстве были обнаружены и измерены по их влиянию на пылевую среду, поглощающую свет далеких звезд, и на радиоволны, излучаемые облаками газа. В среднем значение магнитной индукции межзвездного газа составляет между 10^{-9} и 10^{-10} Тл. Но даже при таком низком значении индукции магнитное поле заключает в себе очень большую энергию, сопоставимую с энергией теплового движения атомов межзвездного газа.

- На рисунках 109 и 110 изображены схемы строения магнитосфер Земли и Юпитера. Сравните протяженность магнитосфер и ориентацию магнитных полюсов.

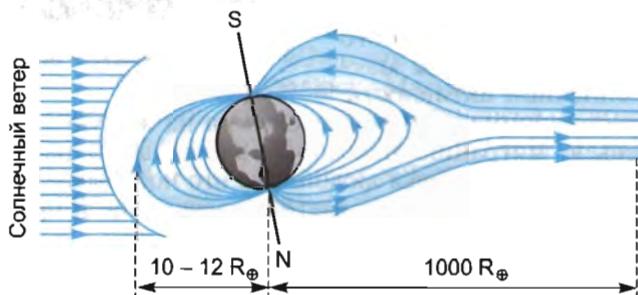


Рис. 109. Магнитосфера Земли (схема)

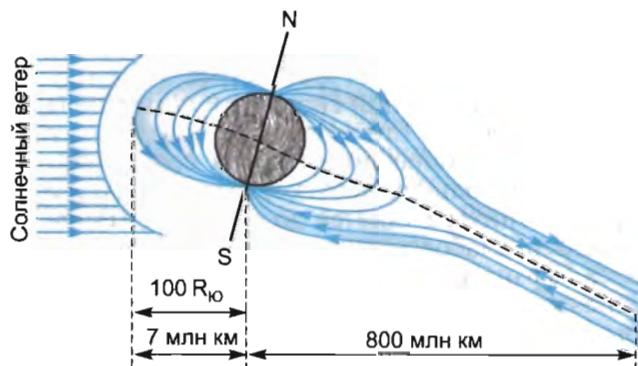


Рис. 110. Магнитосфера Юпитера (схема)

§ 21. ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЬ ПОСТОЯННОГО ТОКА. ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ АМПЕРМЕТРА И ВОЛЬТМЕТРА

Электродвигатель постоянного тока. Электродвигатель — машина, преобразующая электрическую энергию в механическую.

Основными частями электродвигателя являются *индуктор* 1 — магнит или электромагнит, создающий магнитное поле, якорь 2 — вал с обмоткой из изолированного провода, *коллектор* 3 — устройство из двух полуколец, к которым прижимаются скользящие контакты (щетки) для подведения к обмотке якоря тока (рис. 111, а).

При подключении к щеткам постоянного напряжения в обмотке якоря возникает электрический ток и в магнитном поле на обмотке действует пара одинаковых по модулю, но противоположных по направлению сил Ампера, стремящихся вращать якорь вокруг оси (рис. 111, б).

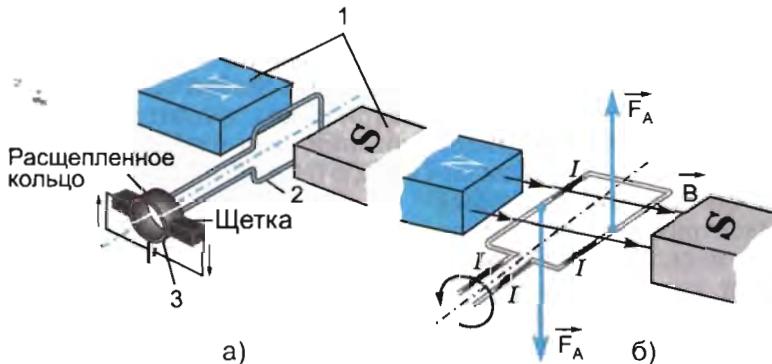


Рис. 111. Электродвигатель постоянного тока

В технических электродвигателях обмотка состоит из большого числа витков проволоки, находящихся в пазах железного цилиндра (рис. 112) (кружочками изображены сечения проволочных витков, перпендикулярные плоскости чертежа). На рисунке 113 изображен якорь двигателя постоянного тока с пластинчатым коллектором. На рисунке 114 показан разрез

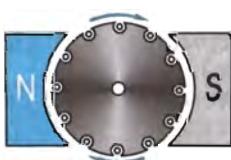


Рис. 112



Рис. 113. Якорь двигателя постоянного тока

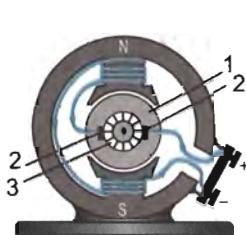


Рис. 114. Разрез электрического двигателя постоянного тока: 1 — якорь; 2 — щетки; 3 — коллектор

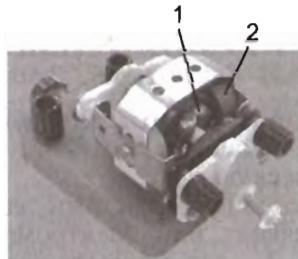


Рис. 115. Модель электродвигателя постоянного тока: 1 — якорь; 2 — статор

электрического двигателя постоянного тока, а на рисунке 115 изображена модель электродвигателя постоянного тока, который используется при выполнении лабораторных работ.

Пока в проводниках есть ток, якорь вращается. Укрепив на ось якоря шкив или соединив ось якоря с осью какой-либо машины, можно вращение якоря передать любой машине.

Один из первых в мире электрических двигателей, пригодных для практического использования, был изобретен в 1834 г. русским электротехником Б. С. Якоби (1801—1874). Он опробовал его для привода судна.

Электрический двигатель можно изготовить любой мощности: от нескольких ватт, например для электрических бритв, до сотен и тысяч киловатт, используемых на прокатных станах, кораблях; для приведения в движение колес электровоза, троллейбуса, трамвая, автобуса; в бытовой технике.

С помощью электродвигателя постоянного тока — стартера — производится запуск двигателя автомобиля.

Электроизмерительные приборы. На действии магнитного поля на проводник с током основано использование электроизмерительных приборов магнитоэлектрической системы для измерения силы тока (амперметра) и напряжения (вольтметра).

Измеряемый электрический ток пропускается через рамку 2, помещенную в магнитное поле постоянного магнита 1 (рис. 116). Рамка укреплена на оси, на этой

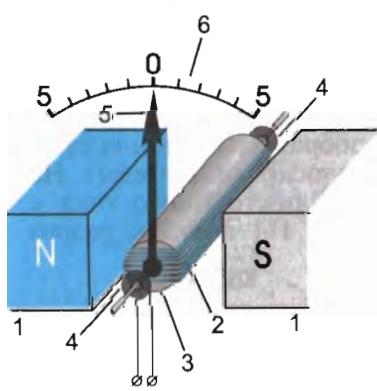


Рис. 116. Схема электроизмерительного прибора магнитоэлектрической системы

же оси укреплена стрелка 5. Внутри катушки расположен цилиндр 3 из мягкого железа. Такая конструкция обеспечивает радиальное направление линий магнитной индукции в той области, где находятся витки катушки. Например, при пропускании электрического тока через рамку возникает момент сил Ампера, вызывающий поворот рамки и соединенной с ней стрелки.

Угол поворота стрелки в приборах магнитоэлектрической системы пропорционален силе тока. Используя закон Ома для участка цепи и зная сопротивление прибора, можно проградуировать шкалу в вольтах. Тогда прибор будет называться вольтметром. Для увеличения сопротивления прибора последовательно с катушкой подключают резистор с большим сопротивлением.

В настоящее время широкое применение получили цифровые амперметры и вольтметры, в которых измеряемая величина преобразуется в цифровой код и ее числовое значение отображается на экране.

1. Какие преобразования энергии происходят в электродвигателе? 2. Назовите основные части электродвигателя постоянного тока и объясните, каково их назначение. 3. Кто из ученых изобрел первый электродвигатель, пригодный для практического использования? 4. Приведите примеры применения электродвигателя постоянного тока.

1. С помощью рисунка 111 объясните принцип действия электродвигателя постоянного тока.

2. С помощью рисунка 116 объясните принцип действия электроизмерительного прибора магнитоэлектрической системы.

3. На рисунке 117 изображен внешний вид электродвигателя (и его условное обозначение) постоянного тока, используемого при выполнении лабораторных работ. С помощью рисунка и модели электродвигателя объясните принцип действия этого электродвигателя.

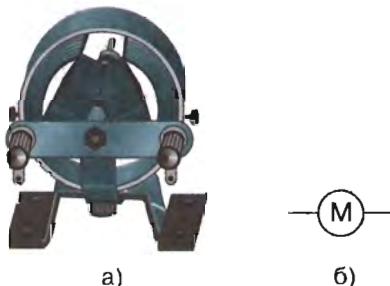


Рис. 117

На рисунке 118 изображена электрическая цепь.

1. Назовите элементы, из которых состоит электрическая цепь.

2. Начертите схему электрической цепи, указав полярность включения амперметра.

3. Отметьте на схеме возможные включения амперметра для измерения силы тока в электродвигателе.

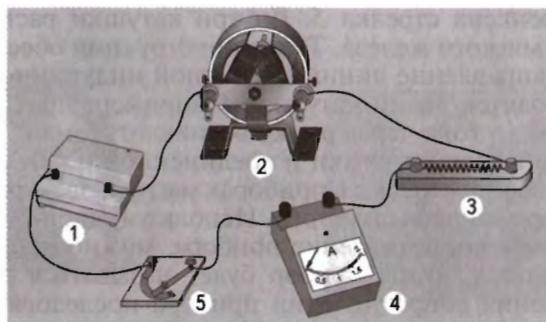


Рис. 118

4. Соберите электрическую цепь. Снимите и запишите в тетрадь показания амперметра.
5. Запишите в тетрадь вывод.

ГЛАВА 3. ЭЛЕКТРОМАГНЕТИЗМ

Открытие Х. К. Эрстедом взаимодействия между проводником с током и постоянным магнитом вызвало всплеск исследований в области электромагнетизма в 20-е гг. XIX в. Ими занимались крупнейшие физики: А. Ампер, Х. Дэви, Ф. Араго и др. В ходе этих исследований было сделано множество интересных наблюдений, установлены важные закономерности. Однако до формирования целостной картины электромагнитных явлений было еще далеко. Накопленный материал требовал дополнения и обобщения. Удивительно, но эта нелегкая задача была решена практически одним ученым, который не только обогатил физику рядом важнейших экспериментальных открытий, но и сформулировал общий подход к описанию основных явлений электромагнетизма. Этим ученым был М. Фарадей.

Вы знаете, что электростатическое поле создается неподвижными заряженными частицами, а магнитное поле — движущимися, т. е. электрическим током. Мы до сих пор рассматривали эти поля как постоянные. Перейдем к ознакомлению с электрическим и магнитным полями, которые меняются с течением времени.

§ 22. ЯВЛЕНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ ИНДУКЦИИ

Открытие Фарадея. Если электрический ток создает магнитное поле, то не может ли, в свою очередь, магнитное поле вызывать электрический ток в проводнике? Многие ученые

Фарадей Майкл (1791—1867) — английский физик. В 1821 г. построил первый в мире электродвигатель. В 1831 г. начал публикацию «Экспериментальных исследований по электричеству». В этом труде рассказал об открытии явления электромагнитной индукции, описал конструкцию первого генератора электрического тока, установил основные законы электролиза. В 1843 г. экспериментально доказал закон сохранения электрического заряда. В 1846 г., в работе «Мысли о лучевых колебаниях», высказал идею об электромагнитной природе света. Ввел понятия: катод, анод, ионы, электролиз, электролиты, поле. Популяризатор науки. Книга «История свечи» переведена на многие языки.



пытались экспериментально найти ответ на этот вопрос, но первым решил эту задачу английский физик Майкл Фарадей.

В 1831 г. Фарадей обнаружил, что в замкнутом проводящем контуре при изменении магнитного поля (магнитного потока через него) возникает электрический ток. Появление электрического тока в контуре было названо Фарадеем **индукцией** тока, а сам ток — **индукционным** (наведенным) током.

Воспроизведем опыты Фарадея, используя современные приборы. Во всех опытах будем использовать демонстрационный прибор, называемый гальванометром. *Гальванометр* — прибор, реагирующий на малые токи (или напряжения). Он имеет равномерную шкалу с нулевым делением посередине.

Опыт 1. К клеммам гальванометра подключим катушку. Стрелка гальванометра указывает на нулевое деление. Если в катушку вдвигать постоянный магнит, то стрелка гальванометра при этом отклоняется (рис. 119, *а*). Это означает, что в обмотке катушки появился ток.

При выдвижении магнита из катушки снова наблюдается отклонение стрелки гальванометра, но в противоположную сторону (рис. 119, *б*). Это указывает на возникновение в катушке тока противоположного направления.

Ток в катушке возникает только тогда, когда магнит движется вниз или вверх относительно катушки. Чем быстрее движется магнит, тем больший ток возникает.

Опыт 2. Закрепим магнит в лапке штатива. Если на неподвижный магнит будем надевать катушку, то стрелка гальванометра при этом отклоняется (рис. 119, *в*). Это снова указывает на появление тока в обмотке катушки.

Если с неподвижного магнита снимать катушку, то стрелка гальванометра отклоняется в противоположную сторону (рис. 119, *г*). Это указывает на появление в катушке тока противоположного направления.

Ток в катушке возникает только тогда, когда катушка движется вверх (вниз) относительно неподвижного магнита. Чем быстрее движется катушка, тем больший ток возникает.

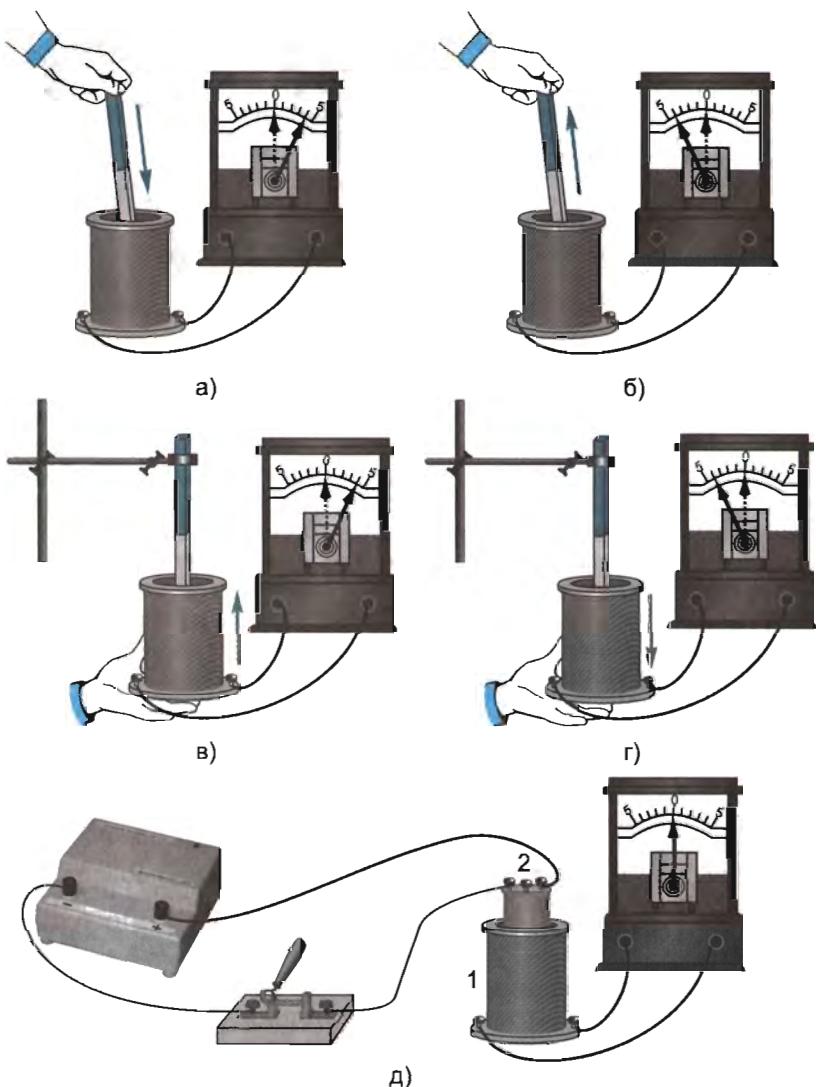


Рис. 119. Возникновение тока в катушке

Опыт 3. Возьмем две неподвижные катушки 1 и 2. Поместим катушку 2 внутрь катушки 1. Катушку 1 подключим к гальванометру, а катушку 2 — к источнику постоянного тока (рис. 119, д). Индукционный ток в катушке 1 будет возникать при замыкании и размыкании ключа.

Что объединяет проведенные опыты? В катушке возникает электрический ток при изменении магнитного поля, пронизы-

вающего катушку. При движении магнита (см. рис. 119, а и б) и катушки (см. рис. 119, в и г) относительно друг друга катушка попадала в области поля с большей или меньшей индукцией (так как поле магнита неоднородно). При замыкании и размыкании цепи катушки 2 (см. рис. 119, д) индукция создаваемого этой катушкой магнитного поля менялась за счет изменения силы тока в ней.

Явление возникновения электрического тока в замкнутом проводящем контуре при изменении магнитного поля, пронизывающего контур, называется электромагнитной индукцией.

Явление электромагнитной индукции было открыто М. Фарадеем в 1831 г. и независимо от него американским ученым Дж. Генри в 1832 г.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 7

ИЗУЧЕНИЕ ЯВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ ИНДУКЦИИ

Приборы и материалы: миллиамперметр (гальванометр), катушка-моток, магнит U-образный (или прямой).

- ◆ 1. Подключите катушку-моток к клеммам миллиамперметра (рис. 120, а).



а)

б)

Рис. 120

2. Подготовьте таблицу для записи результатов опыта.

№ опыта	Способ получения индукционного тока	Отклонение стрелки (вправо, влево)
1	Внесение в катушку северного полюса магнита	
2	Удаление из катушки северного полюса магнита	
3	Внесение в катушку южного полюса магнита	
4	Удаление из катушки южного полюса магнита	

№ опыта	Способ получения индукционного тока	Отклонение стрелки (вправо, влево)
5	Надевание катушки на магнит	
6	Снимание катушки с магнита	

3. Расположите катушку-моток вертикально (или горизонтально). Перемещайте магнит с одной стороны катушки на другую (например, справа налево и обратно) (рис. 120, б). Результаты наблюдений запишите в таблицу.

4. Расположите магнит горизонтально, оставляя его неподвижным, перемещайте катушку-моток относительно магнита (наденьте и снимите). Результаты наблюдений запишите в таблицу.

5. Повторите опыты 1—6, увеличив скорость перемещения магнита и катушки.

6. На основе наблюдений запишите вывод в тетрадь.

- ? 1. Какое явление называют электромагнитной индукцией?
2. Приведите примеры опытов, с помощью которых можно наблюдать возникновение индукционного тока.

§ 23. ЗАКОН ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ ИНДУКЦИИ

Взаимодействие магнитного поля индукционного тока с магнитом. В опыте 1 мы обнаружили, что направление индукционного тока зависит от того, вдвигается магнит в катушку или выдвигается из нее.

Проведем еще три опыта. С этой целью возьмем прибор, состоящий из двух проводящих алюминиевых колец, скрепленных легкой планкой. Размеры и массы колец одинаковы, но одно из них разрезано. Установим прибор на подставке (рис. 121, а).

Опыт 1. Введем прямой (или U-образный) магнит в кольцо с разрезом. При любом движении магнита кольцо остается неподвижным (рис. 121, б).

Опыт 2. Вдвигая магнит внутрь неразрезанного кольца (например, северным полюсом) (рис. 121, в), наблюдаем отталки-

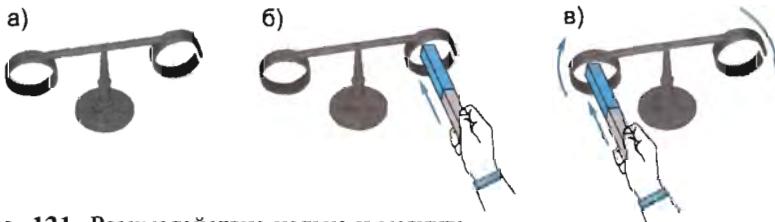


Рис. 121. Взаимодействие кольца и магнита

вание кольца от магнита. Если остановить движение магнита, то кольцо также остановится. При выдвигании магнита из кольца оно будет двигаться вслед за магнитом.

Опыт 3. Повторим опыт 2, но будем вдвигать и выдвигать магнит южным полюсом. Результат опыта будет таким же: при вдвигании магнита кольцо отталкивается, при выдвигании притягивается.

Как можно объяснить одинаковый эффект в опытах 2 и 3? Отталкивание и притяжение объясняются возникновением индукционного тока в кольце при изменении магнитного поля, пронизывающего кольцо. При вдвигании магнита в кольцо индукционный ток в нем имеет такое направление, что созданное этим током магнитное поле (магнитное поле индукционного тока) противодействует внешнему магнитному полю (магнитному полю постоянного магнита). При выдвигании магнита индукционный ток имеет такое направление, что направление магнитного поля индукционного тока совпадает с направлением магнитного поля постоянного магнита.

Общее правило, позволяющее определить направление индукционного тока в контуре, было установлено в 1833 г. Э. Х. Ленцем. **Правило Ленца** формулируется так:

индукционный ток всегда имеет такое направление, при котором создаваемое им магнитное поле противодействует всякому изменению внешнего магнитного поля, вызывающего этот ток.

То есть если внешнее магнитное поле усиливается, то магнитное поле индукционного тока старается его ослабить; если внешнее магнитное поле ослабевает, то магнитное поле индукционного тока старается его поддержать.

Закон электромагнитной индукции. Вы знаете, что в цепи электрический ток появляется в том случае, когда на свободные заряды проводника действуют силы. Для замкнутого проводящего контура величина, равная работе сил по перемещению единичного положительного заряда вдоль всего контура, называется **электродвижущей силой (ЭДС)**.

Явление возникновения ЭДС в замкнутом проводящем контуре, происходящее в результате изменения магнитного потока через контур, называется электромагнитной индукцией.

При этом изменения магнитного потока могут возникать как в результате изменения магнитной индукции, так и за счет изменения площади контура или его ориентации по отношению к магнитному полю.

Напомним, что магнитное поле, пронизывающее контур, характеризуется магнитным потоком Φ . При изменении магнитного потока, пронизывающего контур (кольцо), в нем

появляются силы, действие которых характеризуется ЭДС, называемой **ЭДС индукции**. ЭДС индукции обозначается буквой \mathcal{E}_i . Единица ЭДС индукции в СИ — вольт (1 В).

Вдвигая магнит в кольцо с разной скоростью, можно заметить, что возникающий индукционный ток, а следовательно, и ЭДС индукции оказываются тем больше, чем быстрее мы изменяем пронизывающий кольцо магнитный поток. Этот экспериментальный факт нашел отражение в **законе электромагнитной индукции**:

ЭДС индукции в замкнутом контуре равна по модулю скорости изменения магнитного потока через поверхность, ограниченную контуром:



$$|\mathcal{E}_i| = \left| \frac{\Delta\Phi}{\Delta t} \right|,$$

где $\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$ — скорость изменения магнитного потока, пронизывающего контур.

С учетом правила Ленца закон электромагнитной индукции записывается так:



$$\mathcal{E}_i = - \frac{\Delta\Phi}{\Delta t}.$$

При изменении магнитного потока в катушке, состоящей из N одинаковых витков провода, общая ЭДС индукции в N раз больше ЭДС индукции в одиночном контуре. Тогда

$$\mathcal{E}_i = - N \frac{\Delta\Phi}{\Delta t}.$$

1. Чем можно объяснить отталкивание сплошного кольца при вдвигании постоянного магнита? 2. Чем можно объяснить притяжение сплошного кольца при выдвигании постоянного магнита?

3. Сформулируйте правило Ленца.
4. Что такое ЭДС индукции? Какова ее единица в СИ?

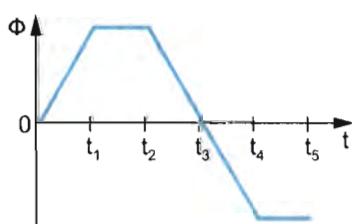


Рис. 122

1. Расскажите о **законе электромагнитной индукции** по плану:
1) формулировка закона; 2) математическая запись закона; 3) величины, входящие в эту формулу; 4) смысл знака « $-$ » в математической записи закона.

2. Магнитный поток, пронизывающий контур, изменяется со временем, как показано на графике (рис. 122). В каком промежутке времени модуль ЭДС индукции имеет максимальное значение?

- 1. Чему равна ЭДС индукции, возникающая в замкнутом контуре, если магнитный поток, пронизывающий контур, за $0,4$ с изменился на $4 \cdot 10^{-5}$ Вб? При каком условии ЭДС индукции будет постоянной?
- 2. Чему равна скорость изменения магнитного потока в катушке, состоящей из 1000 витков, при возникновении в ней ЭДС индукции 60 В?
- * 3. Сколько витков проволоки содержит обмотка катушки, если за 5 мс (миллисекунд) магнитный поток в ней изменился на 2 мВб? ЭДС индукции, возникающая в катушке, равна 200 В.

§ 24. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ ИНДУКЦИИ

На явлении электромагнитной индукции основан принцип действия многих технических устройств и приборов. Рассмотрим некоторые из них.

Получение переменного электрического тока. Наблюдая демонстрационный эксперимент (см. рис. 119, *a—e*) и анализируя результаты лабораторной работы, вы убедились в том, что стрелка гальванометра отклоняется от нулевого деления то в одну, то в другую сторону. Если периодически двигать магнит (или катушку) вверх и вниз, то стрелка гальванометра также будет периодически отклоняться вправо и влево. Это свидетельствует о том, что модуль силы индукционного тока в катушке и направление этого тока периодически меняются.

Электрический ток, изменяющийся со временем по закону синуса, называется переменным током.

Переменный электрический ток используется в лампах накаливания, в бытовых приборах (холодильник, пылесос, телевизор и др.), электромоторах, приводящих в действие станки на заводах и фабриках.

Переменный электрический ток имеет преимущества перед постоянным: напряжение и силу тока можно преобразовывать в широких пределах почти без потерь энергии. Такие преобразования необходимы во многих электро- и радиотехнических устройствах, при передаче электрической энергии на большие расстояния, при распределении энергии между потребителями, при преобразовании ее в другие виды энергии (механическую, внутреннюю и др.).

Для получения переменного тока используются *электромеханические индукционные генераторы* или *генераторы переменного тока* (от лат. generator — производитель).

Генератор переменного тока — устройство, в котором механическая энергия вращения преобразуется в электрическую энергию переменного тока.

На рисунке 123 изображена упрощенная схема получения индукционного тока при вращении проволочного контура (рамки) в магнитном поле (рис. 123, а) или магнита относительно контура (рис. 123, б). Магнитный поток меняется за счет изменения ориентации контура относительно линий магнитной индукции постоянного магнита. На этом принципе основана работа генератора переменного тока. Неподвижная часть генератора называется *статором*, а вращающаяся часть — *ротором*.

На рисунке 124, а изображено устройство статора промышленного генератора. Статор 1 представляет собой стальную станину цилиндрической формы. (Станина — основная несущая часть машины, на которой монтируются различные узлы, механизмы и др.) Во внутренней части статора прорезаются пазы, в которые укладывается медный провод. На рисунке 124, а показан только один виток провода. Во многочисленных витках индуцируется переменный электрический ток при изменении пронизывающего их магнитного потока.

Магнитное поле создается ротором 2 (рис. 124, б). Он представляет собой электромагнит: на стальной сердечнике сложной формы надета обмотка, по которой протекает постоянный электрический ток. Постоянный ток подводится через щетки (гибких контактов) 3 и кольца 4 от постороннего источника постоянного тока. Использование колец и щеток позволяет избежать закручивания проводов, соединяющих вращающуюся рамку с нагрузкой.

На рисунке 124, в изображена полная схема генератора переменного тока. Штриховыми линиями показано примерное распределение линий индукции магнитного поля ротора. При вращении ротора создаваемое им магнитное поле также вращается. Магнитный поток, пронизывающий витки обмотки стато-

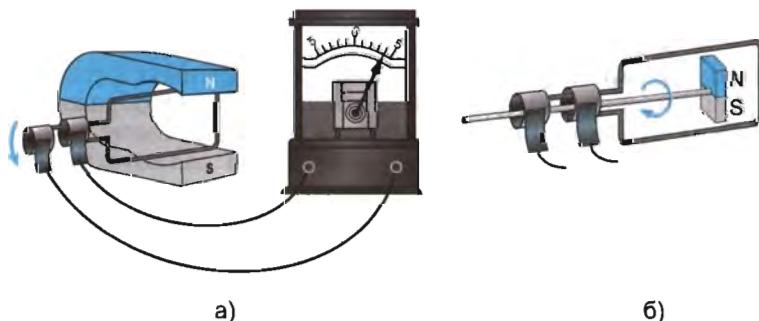


Рис. 123. Схема получения переменного тока

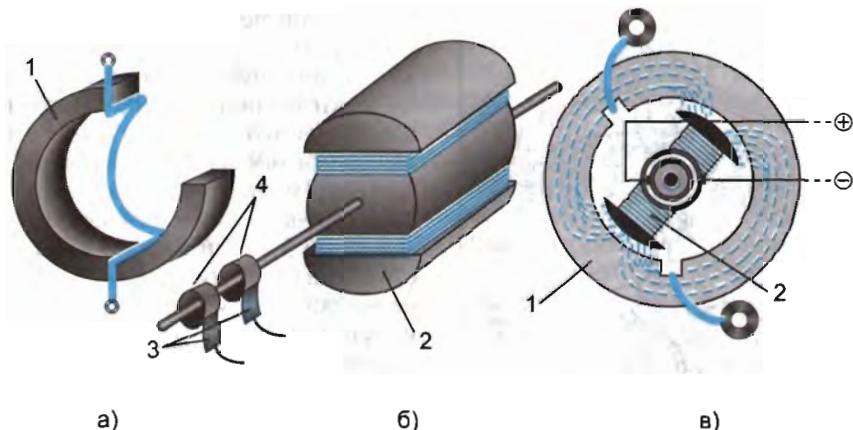


Рис. 124. Устройство генератора переменного тока

ра, периодически меняется, в результате чего в них индуцируется переменный электрический ток. Если к выводам ротора подключить устройство, потребляющее электроэнергию, то через его обмотку будет идти переменный ток. Изменения тока можно обнаружить с помощью осциллографа (прибора, позволяющего наблюдать быстропеременные временные процессы) (рис. 125, а). На рисунке 125, б представлен график зависимости индукционного тока I_t от времени.

Ротор генератора вращается благодаря турбине (водяной, паровой или газовой). Для его вращения можно использовать энергию ветра, приливных волн. В небольших передвижных электростанциях ротор приводится в движение двигателем внутреннего горения (ДВС).

Генераторы, роторы которых приводят в движение паровая или газовая турбина, называют *турбогенераторами*.

Генераторы, роторы которых вращает гидравлическая турбина, называют *гидрогенераторами* (рис. 126). Такие генераторы устанавливают на гидроэлектростанциях.

Ротор гидрогенератора имеет не одну, а большое число пар магнитных полюсов. Чем больше пар полюсов, тем большая частота переменного тока, вырабатываемого генератором при заданной скорости вращения ротора.

В России и странах Европейского сообщества (ЕС) ис-

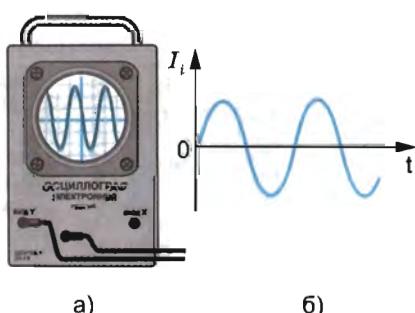


Рис. 125

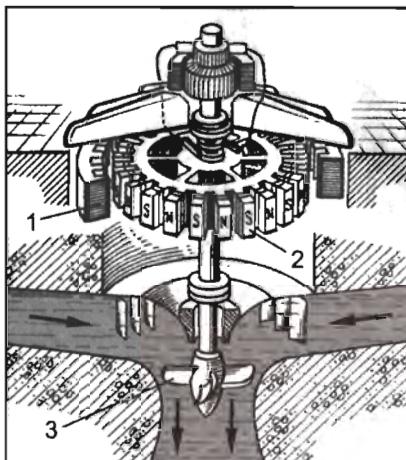


Рис. 126. Схема устройства гидрогенератора: 1 — статор; 2 — ротор; 3 — водяная турбина

пользуется переменный ток частотой 50 Гц. Это означает, что за 1 с направление тока периодически меняется 50 раз. Такой эталон частоты выбран с учетом инерционности человеческого зрения, позволяющего различать сигналы длительностью не менее 0,05 с. Частота 50 Гц достаточно для того, чтобы глаз человека не замечал изменения интенсивности излучения электрических ламп.

Мощности генераторов различны. Для питания лампочки велосипедного фонаря применяется генератор мощностью в несколько ватт. Мощность турбогенератора Костромской ГРЭС равна 1200 МВт, мощность гидрогенератора Красноярской ГЭС — 500 МВт.

★ Трансформатор.

Аппарат, предназначенный для преобразования переменного тока одного напряжения в переменный ток другого напряжения, но той же частоты, называется трансформатором (от лат. *transformare* — преобразовывать).

Трансформатор состоит из замкнутого железного сердечника, на который надеты две (иногда и более) катушки с проволочными, изолированными друг от друга обмотками (рис. 127, а). Одна из обмоток, называемая первичной, с числом витков N_1 подключается к источнику переменного тока. Вторичная обмотка с числом витков N_2 подключается к потребителям, т. е.

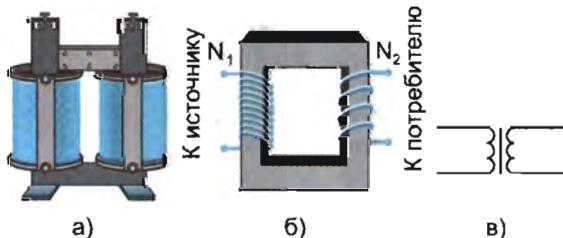


Рис. 127. Трансформатор: а) внешний вид демонстрационного трансформатора; б) схема устройства; в) условное обозначение

к приборам и устройствам, потребляющим электрическую энергию.

Работа трансформатора основана на явлении электромагнитной индукции. При прохождении переменного тока в первичной обмотке в сердечнике появляется переменный магнитный поток, который возбуждает ЭДС индукции в каждой обмотке. Внутри сердечника, изготовленного из специального трансформаторного железа, концентрируется магнитное поле, поэтому магнитный поток во вторичной обмотке оказывается таким же, как и в первичной. В каждом витке первичной и вторичной обмоток возникает ЭДС индукции, определяемая формулами

$$\mathcal{E}_1 = -N_1 \frac{\Delta\Phi}{\Delta t}, \quad \mathcal{E}_2 = -N_2 \frac{\Delta\Phi}{\Delta t}.$$

Если сопротивлением обмоток можно пренебречь, то ЭДС индукции в них примерно равны напряжению на их зажимах: $\mathcal{E}_1 \approx U_1$, $\mathcal{E}_2 \approx U_2$.

Отношение ЭДС индукции в обмотках

$$\frac{\mathcal{E}_1}{\mathcal{E}_2} \approx \frac{U_1}{U_2} = \frac{N_1}{N_2} = K.$$

Величина K называется **коэффициентом трансформации**.

При $K > 1$ трансформатор является **понижающим** — трансформатор, уменьшающий напряжение ($U_2 < U_1$). У понижающего трансформатора число витков во вторичной обмотке должно быть меньше числа витков в первичной обмотке.

При $K < 1$ трансформатор является **повышающим** — трансформатор, увеличивающий напряжение ($U_2 > U_1$). У повышающего трансформатора число витков во вторичной обмотке должно быть больше числа витков в первичной обмотке.

Повышающий трансформатор одновременно понижает силу тока, а понижающий — повышает ее, так что произведение $I \cdot U$ остается примерно постоянным.

Переменный ток в обмотках вызывает индукционные токи в железном сердечнике трансформатора. Для уменьшения потерь энергии сердечник ламинируют, т. е. изготавливают из тонких, изолированных друг от друга пластин. Изолирующее покрытие пластин ограничивает индукционные токи в пределах каждого слоя, что заметно снижает ЭДС индукции и силу индукционного тока в сердечнике.

У современных трансформаторов КПД равен 98—99%. Такой высокий КПД трансформаторы имеют только при мощности, близкой к расчетной.

Трансформаторы применяются для передачи электрической энергии на большие расстояния, в блоках электронно-измерительной аппаратуры, в выпрямителях для преобразования пе-

ременного тока в постоянный, в измерительных клещах, в отвертках и других устройствах.

* Впервые трансформаторы были использованы в 1878 г. русским ученым П. Н. Яблочковым для питания изобретенных им электрических свечей (электрических ламп) — нового в то время источника света. Идея П. Н. Яблочкива была развита сотрудником Московского университета И. Ф. Усагиным, сконструировавшим усовершенствованные трансформаторы.

* **Передача электрической энергии на расстояние.** Электрическая энергия производится на электростанциях вблизи источников топлива или гидроресурсов. Потребители же могут находиться на больших расстояниях от электростанции.

При передаче электроэнергии происходят значительные потери передаваемой мощности в подводящих проводах. Уменьшение потерь мощности в линиях электропередачи (ЛЭП) достигается за счет повышения передаваемого напряжения от 20 до 400—500 кВ, а затем понижения до 220 В. Изменение напряжения осуществляется с помощью трансформаторов.

На рисунке 128 приведена принципиальная схема передачи электрической энергии к потребителю. Генераторы переменного тока на электростанциях вырабатывают напряжение, не превышающее 20 кВ, так как при высоких напряжениях может произойти пробой изоляции в обмотке и других частях генератора.

Для сохранения передаваемой мощности напряжение в ЛЭП должно быть максимальным, чтобы предельно уменьшить силу тока, идущего по проводникам, и тем самым сократить потери на их нагревание. Поэтому на крупных электростанциях ставят повышающие трансформаторы. Однако напряжение в линии электропередачи ограничено: при слишком высоком

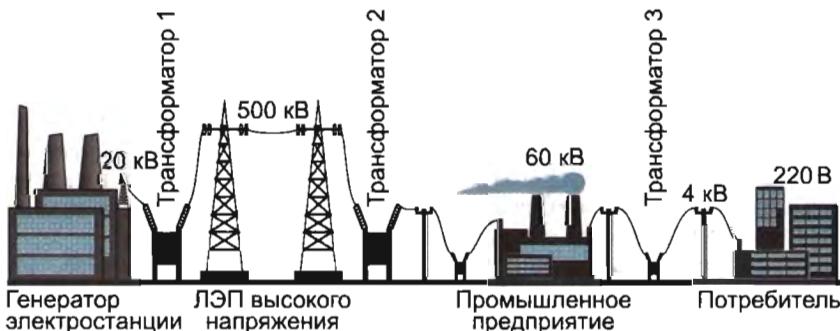


Рис. 128. Схема передачи электрической энергии на расстояние и ее распределение

напряжении между проводами возникают разряды, приводящие к потерям энергии.

❖ **Микрофон и громкоговоритель.** Наиболее привычный способ обмена информацией — это речь. При обмене информацией с помощью речи один человек возбуждает звуковые колебания в воздухе с помощью голосового аппарата, другой воспринимает с помощью органа слуха.

Первыми шагами к созданию современных способов записи и воспроизведения звука было изобретение микрофона и громкоговорителя.

Микрофон — прибор для преобразования звуковых колебаний в электрические.

Для регистрации и изучения звуковых волн в воздухе можно использовать электродинамический микрофон. В микрофоне гибкая мембрана 1 соединена с легкой проволочной катушкой 2. Катушка расположена в кольцевом зазоре между полюсами постоянного магнита 3 (рис. 129).

Изменения давления воздуха, возникающие при прохождении звуковой волны, вызывают колебания мембранны микрофона и соединенной с ней проволочной катушки. При колебаниях мембранны под действием звуковой волны в результате явления электромагнитной индукции в обмотке катушки возникает переменный ток: в электродинамическом микрофоне происходит преобразование звуковых колебаний в электрические. Электродинамические микрофоны применяются в системах звукозаписи и звукопередачи.

Для обратного преобразования электрических колебаний в звуковые применяется *громкоговоритель* (рис. 130). В громкоговорителе катушка 1 из медного провода соединена с гибкой мемброй 2 и коническим диффузором 3. Катушка находится в магнитном поле постоянного магнита 4. При протекании тока катушка под действием силы Ампера начинает колебаться с частотой колебаний силы тока, за-

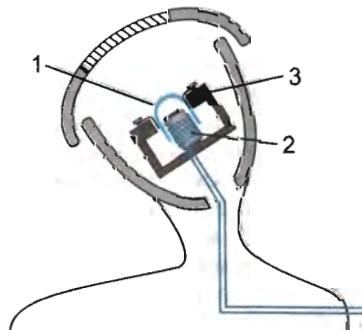


Рис. 129. Микрофон

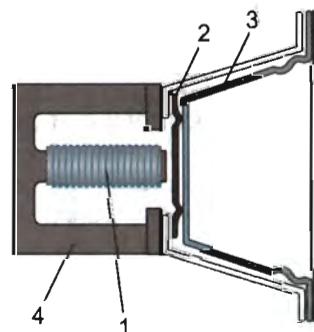


Рис. 130. Громкоговоритель

ставляя колебаться с такой же частотой мембранны и диффузор. Эти колебания создают колебания давления воздуха, т. е. звуковые волны.

Применение электромагнитной индукции в современной технике. На явлении электромагнитной индукции основано не только применение генераторов переменного тока и трансформаторов.

Индукционные токи, возникающие в проводниках, используются для нагревания этих проводников. На этом принципе основано устройство электропечей для плавки металлов. Этот же эффект используется в бытовых микроволновых СВЧ-печах.

На явлении электромагнитной индукции основана работа приборов для считывания видео- и аудиоинформации с магнитных лент.

На явлении электромагнитной индукции основано устройство специальных детекторов, используемых для обнаружения металлических предметов, например в аэропортах. При прохождении человека через специальное устройство детектор фиксирует магнитные поля индукционных токов в металлических предметах.

?

1. Какой ток называют переменным? 2. В чем преимущество переменного тока перед постоянным током? 3. В каких бытовых приборах, не названных в тексте параграфа, используется переменный ток? 4. Какое устройство называют генератором переменного тока? * 5. Какое устройство называют трансформатором? * 6. Какой трансформатор называют повышающим? понижающим? * 7. Приведите примеры применения трансформаторов. 8. Приведите примеры использования электромагнитной индукции в со временной технике.

■ 1. С помощью рисунка 123 поясните схему получения переменного тока.

2. С помощью рисунка 124 объясните принцип действия генератора переменного тока.

* 3. С помощью рисунка 126 объясните принцип действия гидрогенератора.

* 4. С помощью рисунка 128 расскажите, как происходит передача электрической энергии на расстояние.

■ 1. Электростанции России вырабатывают переменный ток частотой 50 Гц. Чему равен период колебания тока?

2. На рисунке 131 приведен график зависимости силы индукционного тока от времени. Чему равны амплитуда силы тока, период и частота переменного тока?

* 3. При вращении рамки в магнитном поле в ней возникает переменная ЭДС индукции. На рисунке 132 приведен график зависимости ЭДС индук-

ции от времени. Чему равны амплитуда ЭДС индукции, период и частота переменного тока?

* 4. На первичную обмотку трансформатора с числом витков 500 подано напряжение 220 В. Рассчитайте коэффициент трансформации и число витков вторичной обмотки, если напряжение во вторичной обмотке 1100 В.

* 5. Трансформатор для электрического звонка при напряжении в сети 220 В имеет число витков первичной обмотки 600. Вторичная обмотка имеет три вывода на напряжение соответственно 3, 5 и 8 В. Чему равно число витков вторичной обмотки?

* 6. Используя рисунок 128, рассчитайте коэффициент трансформации трансформаторов 1, 2 и 3. Какой из них повышающий, а какой — понижающий?

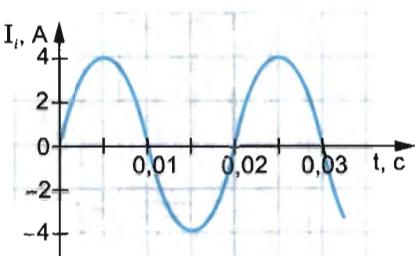


Рис. 131

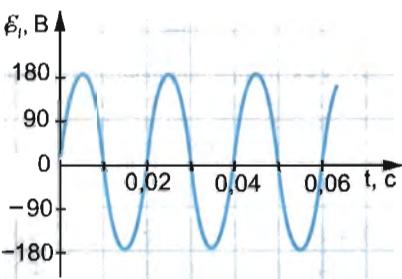


Рис. 132

§ 25. ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЕ ПОЛЕ. ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ ВОЛНЫ

Вихревое электрическое поле. Электрические заряженные частицы, как неподвижные, так и движущиеся, создают вокруг себя электрическое поле.

Линии напряженности электростатического поля начинаются на положительных зарядах и оканчиваются на отрицательных. Электрический ток создает вокруг себя магнитное поле. Линии индукции магнитного поля охватывают проводники с током и всегда замкнуты.

При изучении явления электромагнитной индукции вы познакомились с полями, меняющимися с течением времени. В замкнутом проводящем контуре при изменении магнитного поля, пронизывающего контур, появляется индукционный ток, а следовательно, возникает электрическое поле. Возникающее при изменении магнитного поля электрическое поле имеет совсем другую структуру, чем электростатическое. Оно не связано непосредственно с электрическими зарядами, и его линии напряженности не могут на них ни начинаться, ни оканчиваться. Линии напряженности индукционного электрического поля представляют собой замкнутые линии, подобные линиям индукции магнитного поля.

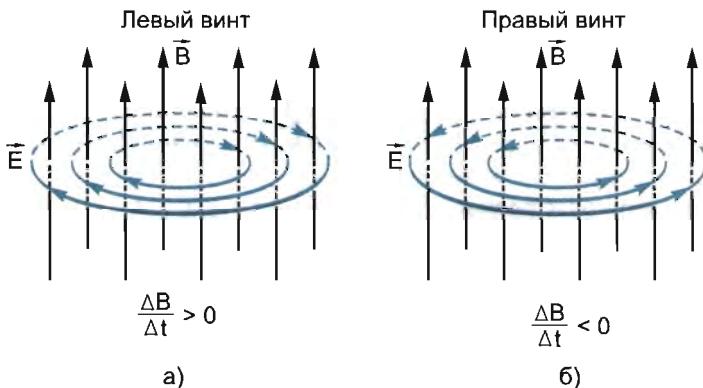


Рис. 133. Связь вихревого электрического поля с магнитным полем: а) направление линий напряженности электрического поля при возрастании магнитной индукции; б) направление линий напряженности электрического поля при убывании магнитной индукции

Электрическое поле с замкнутыми линиями напряженности называют **вихревым электрическим полем**.

При изменении с течением времени индукции магнитного поля возникает электрическое поле, линии напряженности которого охватывают линии магнитной индукции (рис. 133, а и б). Чем быстрее изменяется магнитная индукция, тем больше напряженность электрического поля.

Гипотеза Максвелла. Английский ученый Джеймс Клерк Максвелл в 1864 г. высказал гипотезу о существовании в природе особых волн, способных распространяться в вакууме. Максвелл назвал их **электромагнитными волнами**.

Максвелл предположил, что при любом изменении электрического поля в окружающем пространстве возникает вихревое магнитное поле. Линии индукции магнитного поля охватывают линии напряженности электрического поля (рис. 134, а и б).



Максвелл Джеймс Клерк (1831—1879) — английский физик. Его работы были посвящены электродинамике, молекулярной физике, механике, оптике. Создал теорию электромагнитного поля, пришел к выводу об электромагнитной природе света.

В 1855 г. провел ряд исследований по теории цветового зрения. Исследовал устойчивость колец Сатурна, показал, что кольца представляют собой рой метеоритов. Популяризатор физических знаний. Книги «Теория теплоты в элементарной обработке» и «Электричество в элементарном изложении» неоднократно издавались на многих языках.

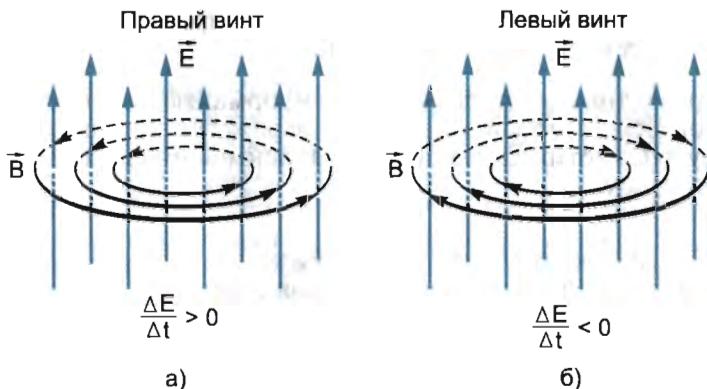


Рис. 134. Связь магнитного поля с вихревым электрическим полем: а) направление линий индукции магнитного поля при возрастании напряженности электрического поля; б) направление линий индукции магнитного поля при убывании напряженности электрического поля

Чем быстрее изменяется напряженность электрического поля, тем больше индукция магнитного поля.

После открытия взаимосвязи между изменяющимися электрическим и магнитным полями стало ясно, что эти поля не существуют отдельно одно от другого. Нельзя создать переменное магнитное поле без того, чтобы в пространстве не возникло переменное электрическое поле. В свою очередь, переменное электрическое поле не может существовать без переменного магнитного поля.

Однажды начавшийся процесс взаимного порождения магнитного и электрического полей должен непрерывно продолжаться: переменное электрическое поле создает переменное магнитное поле, переменное магнитное поле порождает переменное электрическое поле и т. д. Возникает система взаимно перпендикулярных изменяющихся электрических и магнитных полей, захватывающих все новые и новые области пространства (рис. 135).

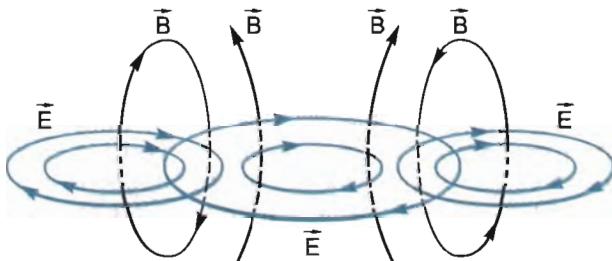


Рис. 135. Схема образования электромагнитного поля

Электрические и магнитные поля — проявление единого целого — **электромагнитного поля**.

Электромагнитное поле — особая форма материи, осуществляющая взаимодействие между заряженными частицами. Оно существует реально, т. е. независимо от нас, от наших знаний о нем.

Процесс распространения переменных магнитного и электрического полей — **электромагнитная волна**.

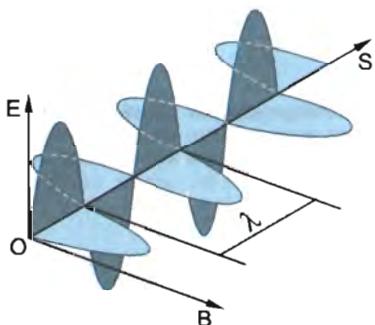


Рис. 136. Схема электромагнитной волны

Скорость распространения электромагнитных волн в вакууме, по расчетам Максвелла, должна быть равной примерно $300\,000$ км/с ($3 \cdot 10^8$ м/с).

На рисунке 136 изображен «моментальный снимок» распространяющейся (бегущей) электромагнитной волны. В каждой точке пространства электрические и магнитные поля изменяются с течением времени периодически. Колебания векторов \vec{E} и \vec{B} в любой точке совпадают по фазе.

Расстояние между двумя ближайшими точками, в которых колебания происходят в одинаковых фазах, называется длиной волны λ .

Направления колеблющихся векторов напряженности электрического поля и индукции магнитного поля перпендикулярны направлению распространения волны \vec{s} .

?? Электромагнитная волна является поперечной волной.

Открытие электромагнитных волн. Экспериментально электромагнитные волны были обнаружены немецким ученым Генрихом Рудольфом Герцем (1857—1894). Используемая Герцем экспериментальная установка была проста. Она состояла из источника электромагнитных волн (вибратора Герца) и приемника (резонатора Герца) (рис. 137). *Вибратор* состоял из двух прямолинейных проводников, на концах которых имелись металлические шары. Между этими проводниками создавался маленький воздушный зазор (так называемый искровой промежуток). Проводники подключались к катушке. Когда переменное напряжение на обмотке катушки достигало «пробивного» значения, в воздушном зазоре происходил искровой

разряд. Этот разряд замыкал цепь вибратора, и в нем появлялись электромагнитные волны. Процесс повторялся многократно.

Для обнаружения возникающих при этом электромагнитных волн Герц помешал на некотором расстоянии от вибратора резонатор. Резонатор состоял из согнутой в виде кольца проволоки (или прямоугольника) и также имел небольшой воздушный зазор. Наблюдая в темноте за резонатором, Герц видел, что на каждую искру в вибраторе резонатор откликался своей маленькой искоркой.

Обнаруженные волны Герц назвал «лучами электрической силы». Разместив вибратор в одной комнате, а резонатор в другой, он пришел к выводу, «что изоляторы не задерживают луча, он проникает через деревянную стену или деревянную дверь, так что не без удивления можно наблюдать возникновение искр внутри закрытой комнаты». Изменяя условия проведения опыта (меняя расположение вибратора и резонатора, совершенствуя их конструкцию, используя цинковые экраны площадью в несколько квадратных метров и асфальтовую призму высотой 1,5 м), Герц в 1889 г. сумел не только убедительно доказать существование электромагнитных волн, но и установить их основные свойства. Волны, которые изучал Герц, относятся к радиоволнам.

Герц рассчитал скорость распространения электромагнитных волн. Она оказалась равной 300 000 км/с, как и предсказывал Максвелл. Таким образом, опыты Герца явились экспериментальным доказательством гипотезы Максвелла о существовании электромагнитных волн.

Скорость электромагнитных волн в вакууме равна 300 000 км/с, или $c = 3 \cdot 10^8$ м/с.

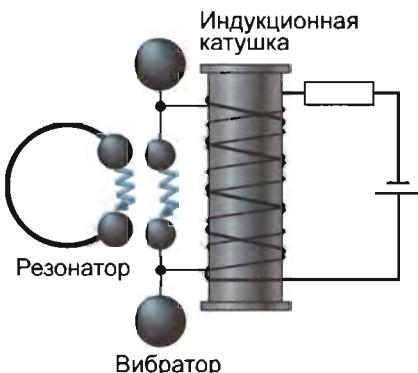


Рис. 137. Схема опыта Герца

* **Свойства электромагнитных волн.** Современные приборы позволяют провести опыты по наблюдению свойств электромагнитных волн (рис. 138).

Электромагнитные волны распространяются в свободном пространстве по определенному направлению. Степень направленности зависит от формы излучающей антенны и длины волны излучения. Если излучающую 2 и приемную 3 антенны расположить напротив друг друга, то громкоговоритель начинает звучать. Поворачивая рупор излучающей, а затем приемной

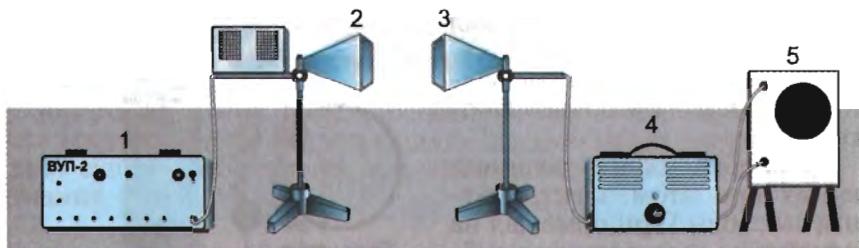


Рис. 138. Схема установки для демонстрации свойств электромагнитных волн: 1 — генератор звуковых колебаний; 2 — излучающая антenna; 3 — приемная антenna, преобразующая принимаемые волны в переменный ток; 4 — усилитель низкой частоты; 5 — громкоговоритель, преобразующий переменный ток в звук

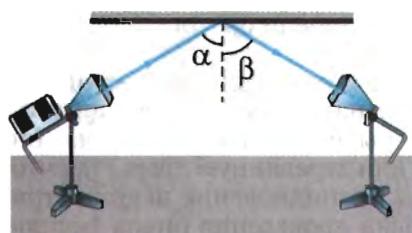


Рис. 139

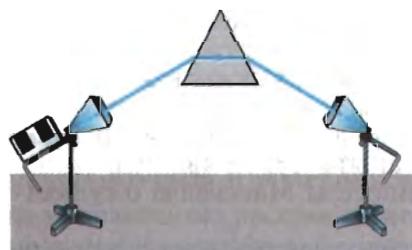


Рис. 140

достигают приемной антенны (рис. 139). Отражение происходит под углом, равным углу падения ($\angle\beta = \angle\alpha$). Если экран убрать, звук исчезнет.

Преломление электромагнитных волн. Поместив между излучающей и приемной антеннами призму из диэлектрика (рис. 140), можно обнаружить прием звукового сигнала. Если уберем призму, то приема сигнала не будет.

Интерференция электромагнитных волн (от лат. *inter* — взаимно, *ferio* — ударяю, поражаю) — сложение в пространстве двух (или нескольких) волн с той же длиной волны, при кото-

антенны, замечаем, что звучание ослабевает или прекращается.

Пропускание и поглощение электромагнитных волн. Если антенны расположить так, как показано на рисунке 138, и между ними поместить металлический экран, то при этом наблюдается ослабление и прекращение приема. Металлический экран отражает электромагнитную волну. Повторим опыт с экранами из изолирующих материалов. Изолирующие экраны только ослабляют громкость звука.

Отражение электромагнитных волн. Направим электромагнитную волну под некоторым углом к металлическому экрану. Отразившись от металлической пластины, волны

ром в разных его точках получается усиление или ослабление амплитуды результирующих волн. Волны усиливаются, когда гребни двух волн совпадают, и ослабляются, когда максимум одной волны совпадает с минимумом другой. Поместим излучающую и приемную антенны друг против друга. Затем будем подводить снизу металлическую пластину в горизонтальном положении (рис. 141). Постепенно поднимая пластину, обнаружим поочередное ослабление и усиление приема. Часть волн из излучающей антенны непосредственно попадает в приемную антенну. Другая часть отражается от металлической пластины и попадает в приемную антенну. В приемной антенне происходит наложение прямой и отраженной волн.

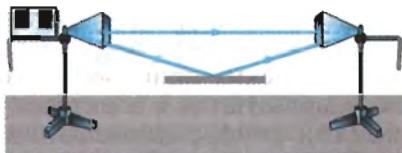


Рис. 141

?

1. Какое электрическое поле считается вихревым? В чем его особенности?
2. Какую гипотезу высказал Максвелл в 1864 г.?
3. Каков процесс образования электромагнитного поля?
4. Что такое электромагнитное поле?
5. Что такое электромагнитная волна?
6. К какому типу волн относится электромагнитная волна?
7. Кто экспериментально обнаружил электромагнитные волны?
8. Перечислите свойства электромагнитных волн.
9. Как можно доказать, что электромагнитные волны отражаются? преломляются?
10. С какими характеристиками электромагнитных волн вы познакомились в этом параграфе?

● Расскажите об опытах Герца, используя рисунок 137.

* § 26. ШКАЛА ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ВОЛН

Диапазон частот (длин волн). Диапазон длин волн λ , излучаемых электромагнитными волнами и фиксируемых различными приборами, огромен: от 10^{-14} м до миллионов километров. Этому диапазону длин волн соответствует диапазон частот v ($v = c/\lambda$): от долей герца до порядка 10^{22} Гц. По длине волны (или частоте) электромагнитные волны условно делят на ряд диапазонов (см. вклейку II). Между соседними диапазонами шкалы электромагнитных волн нет резких границ, они плавно переходят один в другой. Источниками электромагнитных волн разных диапазонов могут быть линии электропередачи, антенны радио- и телевизионных станций, СВЧ-печи, мобильные телефоны, лампы накаливания, рентгеновские аппараты и др.

Волны низкой частоты. Электромагнитные волны, длина волн которых равна более 10 км, называются *низкочастотными*. Источники волн — генераторы переменного тока, коле-

бательные контуры, звуковые генераторы. Волны, создаваемые генераторами переменного тока, применяются в большинстве электрических приборов и двигателях. Волны звуковой частоты используются в электроакустике (микрофоны, громкоговорители), кино, радиовещании.

Радиоволны. Большая проникающая способность радиоволн позволяет использовать их для передачи информации на значительные расстояния (радиовещание, телевидение, радиолокация).

Радиоволны применяются в наземной и космической радиосвязи, при осуществлении телефонной, телеграфной и телевизионной связи.

Радиоволны излучают многие объекты Вселенной: Солнце, планеты, межзвездная среда, газовые облака, радиогалактики и др. Для исследования естественного космического радиоизлучения используются радиотелескопы, радиоинтерферометры (системы из нескольких радиотелескопов). Современные радиотелескопы позволяют различать мельчайшие детали строения небесных радиоисточников. На вклейке III приведены фотографии радиотелескопа и системы радиотелескопов (США), работающих как один телескоп.

Сверхвысокочастотное (СВЧ) излучение, или микроволновое, используется для космической связи, в бытовых микроволновых СВЧ-печах.

Инфракрасное излучение было открыто в 1800 г. английским ученым Уильямом Гершелем (1738—1822). Изучая повышение температуры термометра, нагреваемого видимым светом, Гершель обнаружил, что наибольшее нагревание термометра происходит вне области видимого света (за красной областью). Невидимое излучение было названо *инфракрасным*.

Источники инфракрасного излучения — Солнце, угольная электрическая дуга, лампа накаливания, специальные трубы и др. Ниже $t = 500^{\circ}\text{C}$ практически все излучение нагретого тела является инфракрасным (часто это излучение называют тепловым). Тело человека испускает инфракрасное излучение большого диапазона частот, в основном в диапазоне около 10 мкм.

Инфракрасное излучение тел позволяет осуществлять фотографирование земных объектов в тумане и темноте, применять его в биноклях ночного видения, в прицелах для стрельбы в темноте, в космических аппаратах, наблюдающих поверхность Земли и ее облачный покров, при обнаружении инородных образований в медицине. С помощью инфракрасного излучения осуществляется дистанционное управление телевизором и видеомагнитофоном. Применяется инфракрасное излучение в устройствах сигнализации при охране помещений.

Инфракрасное излучение космических тел с длиной волны более 3 мкм до поверхности Земли почти не доходит, поглощаясь атмосферой. Но приборы, устанавливаемые на космичес-

ких аппаратах и регистрирующие инфракрасное излучение, показывают существование очень большого количества инфракрасных источников на небе. Самый яркий из них это, конечно, Солнце. Более слабые источники — это в основном звезды и облака межзвездной пыли, нагреваемые светом звезд.

Видимый свет — диапазон электромагнитных волн, воспринимаемый глазом человека. Эта часть спектра электромагнитных излучений дает человеку максимальную информацию об окружающем мире. Максимум чувствительности глаза человека приходится на длины волн около $\lambda = 560$ нм (нанометр) ($1 \text{ нм} = 10^{-9} \text{ м}$). На эти длины волн приходится также максимум излучения Солнца, проходящего сквозь атмосферу Земли (цвет Солнца желтоватый).

Излучение видимого света с разной длиной волны (см. вклейку II) оказывает различное физиологическое воздействие на сетчатку глаза, вызывая ощущение цвета. Цвет не свойство электромагнитной волны, а проявление электрохимического действия системы человека: глаз, нервов, мозга.

Мы живем в мире красок, и цвета далеко не безразличны для человека. Мы с радостью встречаем восход солнца, если небо чистое, голубое и день обещает быть прекрасным, нас огорчает мрачное серое небо с низко нависшими тучами. Цвет имеет огромную силу воздействия на человека, на работу его органов. Наиболее благоприятное влияние на производительность труда оказывает зеленый цвет. Этот цвет обостряет зрение, ускоряет зрительное восприятие, создает устойчивость ясного видения, понижает внутриглазное давление, обостряет слух. Длительное же воздействие красного цвета создает световую усталость.

Видимый свет вызывает фотосинтез у растений. Поглощение растениями углекислого газа в результате фотосинтеза и выделение кислорода способствуют поддержанию жизни на Земле.

Ультрафиолетовое излучение. Источники ультрафиолетового излучения — Солнце, а искусственных излучений — специальные газонаполненные лампы, лампа-фотовспышка, свет от электрической дуги и др. Ультрафиолетовое излучение было открыто в 1801 г. немецким ученым Иоганном Риттером (1776—1810). Изучая почернение хлористого серебра под действием видимого света, Риттер обнаружил, что серебро чернеет еще больше в области, находящейся за фиолетовым краем видимого спектра, где излучение, заметное для глаза, отсутствует. Невидимое излучение, вызвавшее это почернение, было названо *ультрафиолетовым*.

В малых дозах ультрафиолетовое излучение оказывает благоприятное влияние на человека, активизируя синтез витамина D в организме, вызывает загар, обладает бактерицидным действием. Однако в больших дозах может вызвать ожоги кожи и раковые заболевания, ослабить иммунную систему организма, привести к развитию некоторых болезней.

Озоновый слой атмосферы Земли сильно поглощает коротковолновое ультрафиолетовое излучение, защищая все живое от ультрафиолетовых лучей Солнца. Оконное стекло не пропускает ультрафиолетовое излучение, так как его поглощает оксид железа, входящий в состав стекла.

Роговая оболочка глаза человека и глазная линза поглощают ультрафиолетовое излучение. Однако люди, у которых удалена глазная линза при снятии катаракты, могут воспринимать ультрафиолетовое излучение в диапазоне 300—350 нм.

Ультрафиолетовое излучение используется в люминесцентных лампах, люминесцентном анализе и дефектоскопии, для стерилизации воздуха на предприятиях и в медицинских учреждениях (оказывает бактерицидное действие).

Рентгеновское излучение. Рентгеновское излучение было открыто немецким ученым Вильгельмом Рентгеном (1845—1923) в 1895 г. Изучая ускоренное движение заряженных частиц в закрытой черным картоном разрядной трубке, Рентген обнаружил свечение экрана, покрытого слоем бария (это излучение он назвал X-лучами), большую проникающую способность этого излучения. Благодаря этому рентгеновское излучение применяется в рентгеноструктурном анализе (исследование структуры кристаллической решетки), при изучении структуры молекул, обнаружении дефектов в образцах, в медицине (рентгеновские снимки, флюорография, лечение раковых заболеваний), криминалистике.

Большие дозы рентгеновского излучения приводят к ожогам и изменению структуры крови человека.

Благодаря созданию чувствительных приемников рентгеновского излучения и размещению их на космических аппаратах появилась возможность исследовать космические рентгеновские источники.

Источниками рентгеновского излучения являются солнечная корона, некоторые очень горячие звезды, а также области горячего межзвездного газа, температура которого достигает миллионов градусов. Для получения рентгеновского излучения на Земле применяются специальные приборы — рентгеновские трубы (см. вклейку II).

Гамма-излучение. γ -Излучение — самое коротковолновое электромагнитное излучение. Оно было открыто французским ученым Полем Вилларом (1860—1934) в 1900 г. Изучая свойства радия, Виллар обнаружил коротковолновое электромагнитное излучение, не отклоняющееся магнитным полем.

Источники γ -излучения на Земле — радиоактивные атомные ядра, ядерные реакции, процессы превращения вещества в излучение. Более подробно об этом вы узнаете в старших классах.

Гамма-излучение обладает большей проникающей способностью, чем рентгеновское излучение. Оно проходит сквозь метровый слой бетона и слой свинца толщиной несколько сантимет-

ров. Приемники, установленные на искусственных спутниках Земли, фиксируют γ -излучение, идущее из космоса. Мощными источниками γ -излучения являются солнечные вспышки, время от времени происходящие в солнечной атмосфере. Но обнаружены и такие всплески γ -излучения, которые связаны с очень далекими звездными системами (галактиками). Почти все γ -излучение, приходящее из космоса, поглощается атмосферой Земли. Это обеспечивает существование жизни на Земле.

Только видимый свет и радиоволны достигают земной поверхности почти без потерь; эти волны могут восприниматься наземными обсерваториями. Сильнее всего атмосфера поглощает коротковолновую область спектра: ультрафиолетовое, рентгеновское и γ -излучения. Эта область, кроме ультрафиолетового излучения длиной волны 310—390 нм, доступна наблюдениям только с ракет и искусственных спутников, оснащенных специальной аппаратурой. Большая часть инфракрасного излучения поглощается молекулами воздуха. Часть инфракрасного излучения доступна наблюдениям со сравнительно небольших высот и может изучаться с аэростатов и шаров-зондов или в некоторых высокогорных обсерваториях.

Современные наземные и внеатмосферные методы наблюдений с использованием различных типов приемников излучения позволяют принимать излучение космических объектов во всех диапазонах спектра электромагнитных волн. На заднем форзаце учебника приведены фотографии Солнца в разных диапазонах: в видимом, в красной части видимого диапазона, в ультрафиолетовом, в рентгеновском. Вид любого источника меняется, если его фотографировать в разных диапазонах спектра. Вселенная предстает перед нами как гигантская, вечно изменяющаяся картина, раскрашенная невиданными цветами и оттенками.

?

1. Назовите основные диапазоны шкалы электромагнитных волн.
2. Назовите основные источники низкочастотных волн. Где применяются эти волны?
3. Назовите основные источники радиоволн. Где применяются эти волны?
4. Какие приборы (устройства) используются для излучения и приема радиоволн?
5. Назовите основные источники инфракрасного излучения. Где оно применяется?
6. Какой диапазон шкалы электромагнитных волн дает нам наибольшую информацию об окружающем мире?
7. На какие длины волны приходится максимум чувствительности глаза человека?
8. Назовите основные источники ультрафиолетового излучения, рентгеновского излучения, γ -излучения. Где они применяются?

● 1. Используя вклейку II, назовите диапазон длин волн (частот) радиоволн, инфракрасного, ультрафиолетового, рентгеновского и γ -излучений.

2. Используя вклейку II, назовите диапазон длин волн (частот) видимого света.

§ 27. ПРИНЦИПЫ РАДИОСВЯЗИ И ТЕЛЕВИДЕНИЯ

Передача информации на расстояние с помощью электромагнитных сигналов часто осуществляется по проводам (радиотрансляционная, телеграфная, телефонная связь). Такая связь энергетически выгодна, обеспечивает высокое качество передачи информации. Вместе с тем на прокладку линий связи необходимы большие затраты средств (особенно под водой или в условиях сложного рельефа). Поэтому предпочтение обычно отдают беспроволочной связи. Она оказывается единственной возможной при обмене информацией между космическими и военными объектами, самолетами, кораблями и т. д., а также между альпинистами, спасателями и др. Многие из вас пользуются мобильными телефонами.

Для передачи и приема информации с помощью электромагнитных волн, распространяющихся в пространстве, используют радиоволны.

Передача и прием информации с помощью радиоволн называется радиосвязью.

Различают несколько видов радиосвязи: радиотелеграфную, радиотелефонную и радиовещание, телевидение.

Радиотелеграфная связь. Именно с нее началось освоение радиосвязи. Радиотелеграфная связь осуществляется путем передачи сочетания точек и тире, кодирующего букву алфавита в азбуке Морзе. Впервые радиотелеграфная связь на расстоянии 250 м была продемонстрирована 7 мая 1895 г. в Санкт-Петербурге российским ученым А. С. Поповым. Этот день считается днем рождения радио. Через год после этой демонстрации итальянский инженер Гульельмо Маркони (1874–1937) представил в Англии прибор, почти точно повторяющий приемник А. С. Попова, и вскоре он получил патент на «усовершенствование в передаче электрических импульсов и сигналов». Франция, Германия и Россия отказались выдать ему аналогичный патент. Последующие работы Маркони привели к значительному увеличению дальности радиосвязи. Он впервые осуществил радиосвязь через Атлантический океан.

* Приемник А. С. Попова состоял из антенны 1, когерера 2, электромагнитного реле 3, электрического звонка 4 и источника постоянного тока 5 (рис. 142). Электромагнитные волны вызывали колебания тока и напряжения в антенне. Переменное напряжение, снимаемое с антенны, подавалось на два электрода, которые были расположены в когерере (стеклянная трубка, заполненная металлическими опилками).

Попов Александр Степанович (1859—1906) — русский физик и электротехник. В 1888 г. повторил опыты Г. Герца по получению электромагнитных волн, а в 1889 г. впервые указал на возможность их использования для передачи сигналов на расстояние. 24 марта 1896 г. при помощи своих приборов продемонстрировал передачу сигналов на расстояние, передав первую в мире радиограмму, состоящую из двух слов «Генрих Герц». В 1897 г. впервые обнаружил явление отражения электромагнитных волн от предметов (кораблей), находящихся на пути их распространения. В 1945 г. в СССР учреждена золотая медаль им. А. С. Попова за достижения в области радиофизики.



Из-за плохих контактов между опилками сопротивление когерера велико, поэтому электрический ток в цепи мал и реле звонок не замыкает. Под действием высокого переменного напряжения в когерере возникают электрические разряды между отдельными опилками, частицы опилок спекаются и его сопротивление уменьшается в 100—200 раз. Сила тока в катушке электромагнитного реле возрастает, и реле включает электрический звонок. Так регистрируется антенной прием электромагнитной волны.

Удар молоточка звонка по когереру встrijхивает опилки и возвращает его в исходное состояние. Приемник снова готов регистрировать электромагнитные волны.

Колебательный контур.

Система, состоящая из конденсатора и катушки, соединенных между собой в замкнутую электрическую цепь, называется электрическим колебательным контуром (рис. 143).

Конденсатор представляет собой два изолированных друг от друга разноименно заряженных проводника, разделенные слоем диэлектрика. В простейшем случае это могут быть две параллельные металлические пластины. Их называют обкладками конденсатора.

При подключении пластин заряженного конденсатора к концам катушки в ней возникает электрический ток и энергия электрического поля заряженного конденсатора начинает превращать-

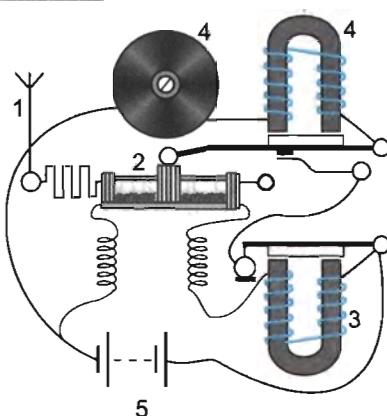


Рис. 142. Схема приемника Попова

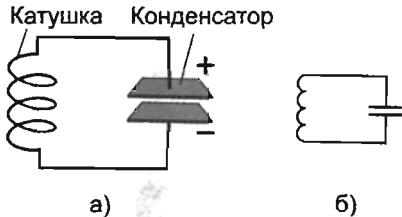


Рис. 143. Закрытый колебательный контур

ся в энергию магнитного поля катушки. Ток прекратится, когда заряды на обкладках конденсатора поменяют знаки на противоположные. В это же время начнется новый цикл перезарядки, и ток опять будет идти через обмотку катушки, но уже в обратном направлении.

Периодически повторяющиеся изменения силы тока в катушке и напряжения между пластинами конденсатора без потребления энергии от внешних источников называются электромагнитными колебаниями.

В колебательном контуре переменное магнитное поле сосредоточено в катушке, а переменное электрическое поле — между пластинами конденсатора (рис. 144, а). Такой колебательный контур называют *закрытым колебательным контуром*. Закрытый колебательный контур практически не излучает электромагнитные волны в окружающее пространство.

Если колебательный контур состоит из катушки и двух пластин плоского конденсатора, не параллельных друг другу, то, чем под большим углом развернуты эти пластины, тем более свободно «выходит» электромагнитное поле в окружающее пространство (рис. 144, б).

Когда пластины конденсатора удалены в противоположные стороны, такая система называется *открытым колебательным контуром* (рис. 144, в). Открытый колебательный контур можно получить, уменьшая площадь пластин конденсатора и одновременно уменьшая число витков в катушке. В конце концов можно получить открытый колебательный контур, кото-

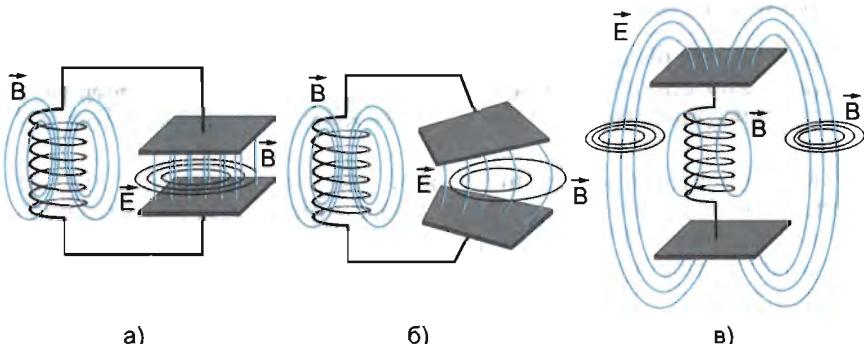


Рис. 144. Переход от закрытого колебательного контура к открытому

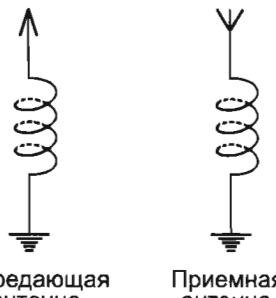


Рис. 145. Условное обозначение передающей и приемной антенн



Рис. 146. Передача радиоволн

рый будет состоять из катушки и длинного провода — антенны (рис. 145). Один конец антенны заземлен, другой поднят над поверхностью земли.

Переменный электрический ток высокой частоты, созданный в передающей антенне, вызывает в окружающем пространстве быстро меняющееся электромагнитное поле, которое распространяется в виде электромагнитной волны. Достигая приемной антенны, электромагнитная волна вызывает в ней переменный ток той же частоты, на которой работает передатчик (рис. 146).

В настоящее время значительная доля информации передается в радиодиапазоне.

Радиотелефонная связь. *Радиотелефонная связь* — передача в эфир речи, музыки, звуковых эффектов с помощью радиоволн. Именно эту связь чаще всего называют радиосвязью.

При радиотелефонной связи колебания давления воздуха в звуковой волне превращаются с помощью микрофона в электрические колебания той же формы. Казалось бы, если эти колебания усилить и подать на антенну, то можно передать на расстояние речь и музыку с помощью электромагнитных волн. Однако такой способ передачи неосуществим. Колебания звуковой частоты представляют собой сравнительно медленные колебания, причем на многих частотах одновременно, а электромагнитные волны звуковой частоты очень сложно получить и передать.

Для передачи колебаний звуковой частоты используется излучение высокочастотных колебаний, один из параметров которых изменяется (модулируется) с частотой звуковых колебаний. Простейшим видом модуляции высокочастотного сигнала является **амплитудная модуляция**.

Амплитудная модуляция — изменение амплитуды высокочастотных колебаний, которое происходит по тому же закону, что и изменение амплитуды передаваемого звукового сигнала.

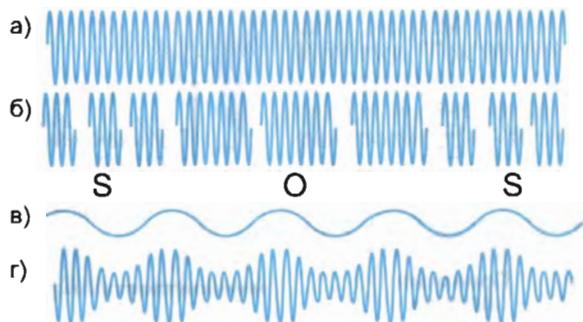


Рис. 147. Передаваемые радиосигналы: а) немодулированный высокочастотный сигнал; б) прерывистый высокочастотный сигнал (азбука Морзе); в) звуковой сигнал; г) амплитуда высокочастотного сигнала, модулированная звуковым сигналом

На рисунке 147 представлены графики колебаний высокой частоты (несущей частоты) (рис. 147, а), колебаний звуковой частоты (модулирующих колебаний) (рис. 147, в), модулированных по амплитуде колебаний (рис. 147, г).

Высокочастотные колебания обладают большой энергией и могут распространяться на большие расстояния, с их помощью мы можем контролировать, есть сигнал или его нет; но они не содержат информации о звуковых частотах. Низкочастотные колебания несут эту информацию, но обладают малой энергией и не могут передаваться на большие расстояния. Модулированные колебания обладают большой энергией, могут передаваться на большие расстояния и несут информацию о звуковых частотах.

Для выделения сигнала выбранной радиостанции, работающей на фиксированной несущей частоте, служит колебательный контур, содержащий катушку и конденсатор переменной емкости. Изменением электрической емкости контура можно добиться совпадения частоты колебательного контура с несущей частотой радиостанции.

Однако выделенный высокочастотный сигнал не воспринимается ухом человека и не способен непосредственно вызвать колебания мембранны телефона или рупора громкоговорителя со звуковой частотой. Из модулированного высокочастотного сигнала требуется выделить колебания звуковой частоты, содержащие передаваемую информацию.

Процесс выделения низкочастотных (звуковых) колебаний из модулированных колебаний высокой частоты называется детектированием (или демодуляцией).

В простейшем приемнике демодуляция осуществляется в два этапа: сначала высокочастотные колебания выпрямляются, а затем выделяется низкочастотная огибающая высокочастотных импульсов. На рисунке 148 приведена схема простейшего радиоприемника.

В приемной антенне 1 возбуждаются высокочастотные модулированные колебания. С колебательного контура 2

эти колебания поступают на детектор 3 — прибор с односторонней проводимостью. В качестве детектора можно использовать полупроводниковый диод, пропускающий ток высокой частоты только в одном направлении. Из детектора будет выходить пульсирующий ток, который сглаживается с помощью фильтра (простейший фильтр — конденсатор 4, присоединенный к резистору 5). Фильтр сглаживает высокочастотные колебания. Когда диод пропускает ток, одна часть его проходит через резистор 5, а другая часть ответвляется на конденсатор 4, заряжая его. Когда диод заперт, конденсатор 4 частично разряжается через резистор 5. В интервале между импульсами ток течет через нагрузку. (Катушка телефона 6 играет роль нагрузки.) Каждый новый импульс подзаряжает конденсатор. В результате этого через нагрузку (телефон) течет ток звуковой частоты.

По описанному принципу работали первые (так называемые детекторные) радиоприемники. Они могли принимать только достаточно мощные радиосигналы. В современных приемниках колебания тока многократно усиливаются как перед детектированием, так и после него.

Телевидение. С помощью радиоволн осуществляется передача на расстояние не только звуковых сигналов, но и изображений предметов.

Телевидение — область науки, техники и культуры, связанная с передачей на расстояние изображений подвижных объектов при помощи радиоэлектронных устройств.

Разработка и реализация принципов электронного телевидения — это заслуга ученых и инженеров ряда стран. Основополагающую роль здесь сыграли работы Б. Л. Розинга (СССР) и его ученика В. К. Зворыкина (США) в первой четверти XX в.

В СССР регулярная работа первого (московского) телекомплекса началась в 1939 г. Телевещание осуществлялось на одном

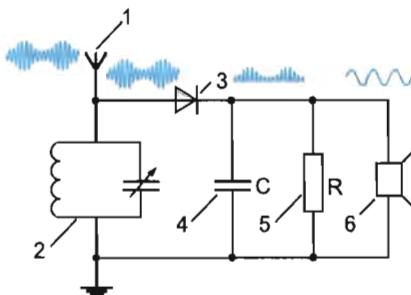


Рис. 148

канале четыре раза в неделю по два часа. Во время Великой Отечественной войны работа телестудии была свернута.

Рассмотрим простейшую схему передачи и приема изображений. Более подробно этот вопрос изучите в старших классах.

В телевидении принят принцип последовательной передачи элементов изображения, выдвинутый в конце XIX в. португальским ученым А. ди Пайва и независимо от него русским ученым П. И. Бахметьевым.

Для передачи одного кадра телевизионного изображения с помощью объектива в телевизионной камере получается изображение предмета на экране специального электровакуумного прибора — *передающей трубки* (рис. 149). Под действием све-

та участки экрана приобретают положительные заряды. На экран внутри передающей трубы направляется электронный луч (направленный поток быстро движущихся электронов), перемещающийся периодически слева направо по 625 строкам — горизонтальным линиям. Во время пробегания луча вдоль строки происходит нейтрализация электрических зарядов на отдельных участках экрана и в электрической цепи, соединяющей электронную пушку (источник быстрых электронов) и экран, возникает импульс тока. Изменения силы тока импульса соответствуют изменениям освещенности экрана на пути электронного луча.

Высокочастотные электромагнитные колебания (частотой в десятки и сотни мегагерц) в телевизионном передатчике модулируются сигналом импульса, полученного на выходе передающей трубы, и подаются на антенну передатчика. Антенна излучает электромагнитные волны.

В телевизоре (телевизионном приемнике) имеется *кинескоп* (электровакуумная трубка) (рис. 150). В кинескопе электронная пушка создает электронный луч. Электроны под действием электрического поля движутся внутри трубы к экрану, покрытому кристаллами (люминофорами), способными светиться под ударами быстро движущихся электронов. На пути к экрану электроны проходят через магнитные поля двух пар катушек, расположенных снаружи трубы.

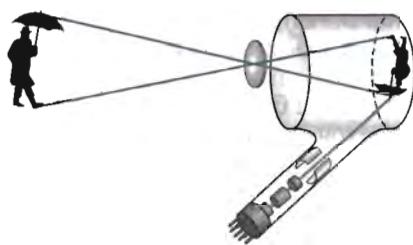


Рис. 149

зация электрических зарядов на отдельных участках экрана и в электрической цепи, соединяющей электронную пушку (источник быстрых электронов) и экран, возникает импульс тока. Изменения силы тока импульса соответствуют изменениям освещенности экрана на пути электронного луча.

Высокочастотные электромагнитные колебания (частотой в десятки и сотни мегагерц) в телевизионном передатчике модулируются сигналом импульса, полученного на выходе передающей трубы, и подаются на антенну передатчика. Антенна излучает электромагнитные волны.

В телевизоре (телевизионном приемнике) имеется *кинескоп* (электровакуумная трубка) (рис. 150). В кинескопе электронная пушка создает электронный луч. Электроны под действием электрического поля движутся внутри трубы к экрану, покрытому кристаллами (люминофорами), способными светиться под ударами быстро движущихся электронов. На пути к экрану электроны проходят через магнитные поля двух пар катушек, расположенных снаружи трубы.

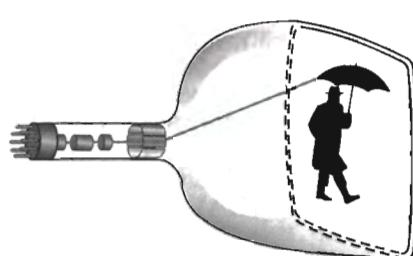


Рис. 150

Магнитное поле одной пары катушек отклоняет электронный луч по горизонтали, другой пары катушек — по вертикали. Периодические изменения силы тока в катушках вызывают изменения магнитных полей, в результате которых электронный луч за $\frac{1}{25}$ с 625 раз пробегает по экрану слева направо и один раз — сверху вниз.

Во время движения луча вдоль первой строки сила тока в электронном луче зависит от сигнала, принятого приемником от передатчика во время движения луча в передающей трубке по первой строке; при движении луча по второй строке сила тока зависит от сигнала — по второй строке и т. д. В результате за $\frac{1}{25}$ с луч «рисует» такое же изображение на экране телевизора, какое было на экране передающей трубы. Кадры сменяют друг друга с частотой 25 кадров в секунду. Последовательность сменяющих друг друга кадров с высокой частотой воспринимается глазом человека как непрерывное движение.

Прием цветных изображений требует совмещения трех однотоновых изображений — красного, синего и зеленого цветов.

Экран кинескопа покрыт кристаллами люминофоров трех сортов. Одни кристаллы при попадании на них электронного луча светятся красным светом, другие — синим, третьи — зеленым. Эти кристаллы расположены на экране в строгом порядке. Сигналы поступают от телевизионного передатчика к трем электронно-лучевым пушкам.

На экране цветного телевизора три луча создают одновременно три изображения красного, зеленого и синего цветов. Наложение этих изображений, состоящих из маленьких светящихся точек, воспринимается глазом человека как многоцветное изображение со всеми оттенками цветов.

Телевизионная техника непрерывно совершенствуется. В современных передающих камерах вместо вакуумных трубок используются твердотельные (так называемые матричные) светочувствительные приборы. Меняются и устройства, создающие изображения в телевизионных приемниках. Вместо вакуумных кинескопов приходят жидкокристаллические и плазменные панели. Они не используют электронный луч: электрические сигналы подаются непосредственно на микроскопические элементы экрана, способные излучать свет (плазменные экраны) или менять яркость проходящего через них светового потока (жидкокристаллические экраны).

Распространение радиоволн. Радиосвязь осуществляется на длинных (10 000—1000 м), средних (1000—100 м), коротких (100—10 м) и ультракоротких (< 10 м) волнах. Радиоволны с различными длинами волн по-разному распространяются у поверхности Земли (см. вклейку IV).

Проводящий слой земной атмосферы (ионосфера) способен поглощать и отражать электромагнитные волны. *Ионосферой*

называется верхняя часть атмосферы, начинающаяся с расстояния около 50 км от поверхности Земли, в которой содержится большое количество свободных электронов.

Многократные отражения радиоволн (особенно коротких) от ионосфера и земной поверхности делают возможной радиосвязь между далекими точками на Земле.

Ультракороткие радиоволны не отражаются от ионосферы, но их может ретранслировать искусственный спутник Земли (ИСЗ). (Ретранслятор — устройство, используемое как промежуточный пункт линий радиосвязи.)

- ?
1. Почему предпочтение отдается беспроволочной связи?
 2. Что понимают под радиосвязью? 3. Каким путем осуществляется радиотелеграфная связь?
 4. Что такое колебательный контур? Почему его называют закрытым колебательным контуром?
 5. С какой целью переходят от закрытого колебательного контура к открытому?
 6. Какая антенна называется передающей? Какая — приемной?
 7. Какая связь называется радиотелефонной?
 8. Почему важно осуществлять модуляцию высокочастотных колебаний?
 9. Почему важно осуществлять демодуляцию?

● * 1. С помощью рисунка 142 объясните принцип действия приемника А. С. Попова.

* 2. Объясните принцип действия простейшего радиоприемника (см. рис. 148).

* 3. Используя вклейку IV, ответьте на вопросы: 1) Какова протяженность тропосферы, стратосферы, ионосферы? 2) На какой высоте отражаются длинные, средние и короткие радиоволны? 3) С какой целью для радиосвязи используется ИСЗ?

◆ * На рисунке 151 изображен комплект приборов для сборки детекторного радиоприемника.

1. Ознакомьтесь с составом комплекта: 1 — катушка для средних и длинных волн; 2 — детектор; 3 — головной телефон;

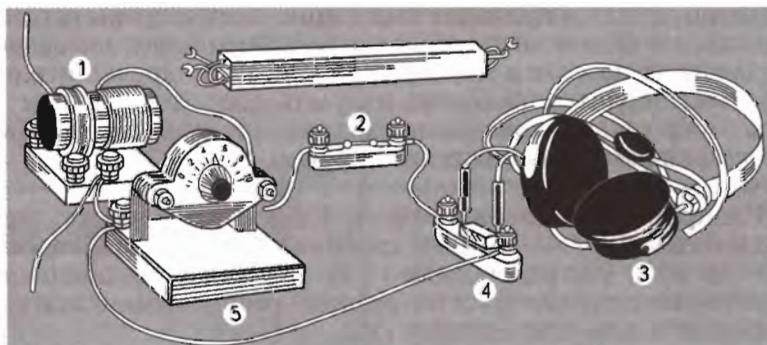


Рис. 151. Комплект приборов для сборки детекторного приемника

4 — конденсатор постоянной емкости; 5 — конденсатор переменной емкости.

2. Начертите схему детекторного приемника.

3. Соберите приемник и примите сигнал с передающей радиостанции на средних и длинных волнах.

§ 28. РАЗВИТИЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЙ О ПРИРОДЕ СВЕТА. ПРЯМОЛИНЕЙНОЕ РАСПРОСТРАНЕНИЕ СВЕТА

Первые научные гипотезы о природе света были высказаны в XVII в. К этому времени было хорошо известно прямолинейное распространение света в однородной среде и независимость распространения световых пучков, т. е. отсутствие влияния одного пучка света на распространение другого светового пучка. И. Ньютон в 1672 г. высказал предположение о корпускулярной природе света, рассматривая свет как поток частиц (корпускул; от лат. corpusculum — частица), не взаимодействующих друг с другом. Против этого выступали современники Ньютона — Р. Гук и Х. Гюйгенс, разработавшие волновую теорию света. В XX в. в физике утвердились представления о корпускулярно-волновом дуализме света: свет — это не волна и не частица, но в одних опытах обнаруживает волновые свойства, а в других — корпускулярные. Это означает, что природа света более сложна, чем природа привычных нам тел окружающего мира.

Свет распространяется как волна, но излучается и поглощается небольшими порциями, называемыми квантами или фотонами.

Скорость света. Первым успехом в изучении природы света было измерение скорости света. Впервые экспериментально скорость была определена астрономическим методом. Датский ученый Оле Рёмер (1644—1710) в 1676 г. обнаружил, что при изменении расстояния между Землей и планетой Юпитер (вследствие их обращения вокруг Солнца) происходит кажущееся изменение периодов обращения спутника Ио вокруг Юпитера (рис. 152). В том случае, когда Земля находится по другую сторону от Солнца по отношению к Юпитеру, спутник Ио появляется из-за Юпитера на 22 мин позже, чем это должно произойти по расчетам. Но спутники обращаются вокруг планет равномерно; следовательно, это запаздывание связано с изменяющимся расстоянием до Земли. Ремер догадался, что причиной кажущегося запаздывания появления спутника Юпитера при увеличении расстояния между Землей и Юпитером является конечность скорости распространения света. При перемещении Земли на противоположную сторону ее орбиты расстояние между Землей и Юпитером увеличивалось на диаметр

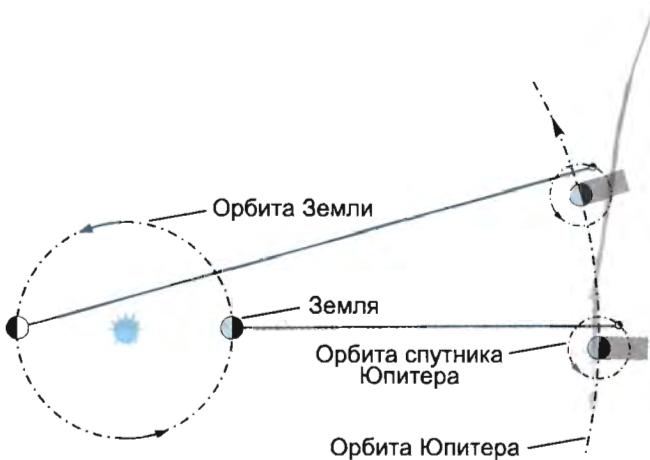


Рис. 152. Определение скорости света

земной орбиты, т. е. на 300 млн км. Разделив это расстояние на время запаздывания, Ремер нашел, что скорость света превышает 200 000 км/с.

Более точные измерения показывают, что скорость света равна 299 792 км/с или примерно 300 000 км/с.

Электромагнитная природа света. На вопрос о природе света и механизме его распространения дала ответ теория Максвелла. На основании совпадения экспериментально измеренного значения скорости света в вакууме с теоретическим значением скорости распространения электромагнитных волн Максвелл высказал предположение, что *свет — электромагнитные волны*. Эта теория подтверждается многими экспериментальными фактами. Представления электромагнитной теории света полностью соответствуют экспериментально открытым законам отражения и преломления света, а также ряду явлений, с которыми вы познакомитесь в старших классах.

Прямолинейное распространение света. Закон прямолинейного распространения света:

в однородной среде свет распространяется прямолинейно.

Следствием прямолинейного распространения света является образование тени и полутени (рис. 153). Прямолинейное распространение света в космическом пространстве следует, к примеру, из наблюдений солнечных (рис. 154) и лунных затмений. На переднем форзаце учебника приведены фотографии тени Луны на земной поверхности, тени Земли на лунной поверхности, тени спутника Ио на облачном слое планеты Юпитер.

При описании многих явлений, связанных с распространением световых волн (электромагнитных волн видимого диапазона), используется понятие **световой луч** (рис. 155).

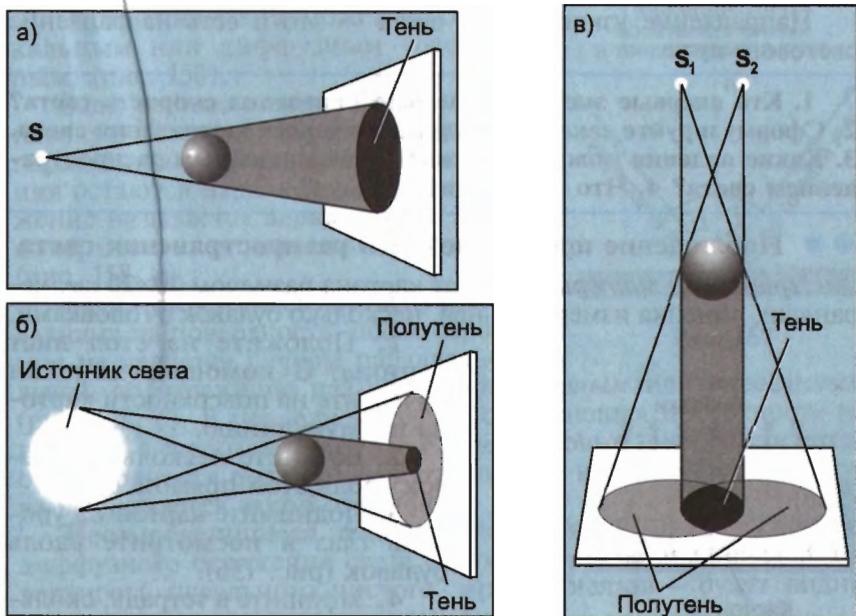


Рис. 153. Образование: а) тени от точечного источника света; б) тени и полутени от протяженного источника света; в) тени и полутени от двух точечных источников света

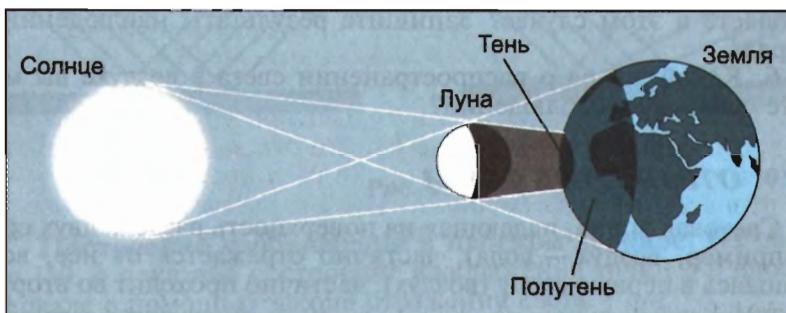


Рис. 154

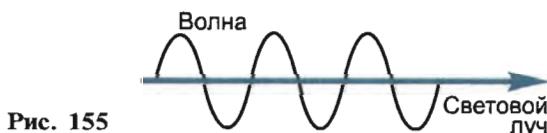


Рис. 155

Световым лучом называется прямая линия, совпадающая с направлением распространения электромагнитной волны.

Направление узкого пучка света — это и есть направление светового луча.

1. Кто впервые экспериментально определил скорость света?
2. Сформулируйте закон прямолинейного распространения света.
3. Какие явления можно объяснить прямолинейным распространением света? 4. Что такое световой луч?

◆ * Наблюдение прямолинейного распространения света

Приборы и материалы: лист картона размером 20×20 см, карандаш, линейка измерительная, несколько булавок с головками.

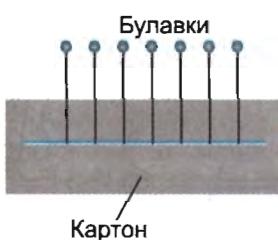


Рис. 156

из булавок воткнуть, немного отступив от прямой. Что вы наблюдаете в этом случае? Запишите результаты наблюдений в тетрадь.

6. Какой вывод о распространении света в воздухе вы можете сделать из наблюдений?

§ 29. ОТРАЖЕНИЕ СВЕТА

Световая волна, падающая на поверхность раздела двух сред (например, воздух — вода), частично отражается от нее, возвращаясь в первую среду (воздух), частично проходит во вторую (воду).

Отражение света. Отражение света — явление, заключающееся в том, что при падении света из одной среды на границу раздела с другой средой взаимодействие света с веществом приводит к появлению световой волны, распространяющейся от границы раздела обратно в первую среду.

Законы отражения света формулируются так:

Падающий световой луч, отраженный световой луч и перпендикуляр к границе раздела двух сред, восстановленный в точку падения светового луча, лежат в одной плоскости.

Угол отражения равен углу падения: $\angle\beta = \angle\alpha$ (рис. 157).

Отражение света может быть зеркальным или диффузным (рассеянным) (рис. 158).

Если световые лучи, падающие на плоскую поверхность раздела двух сред параллельным пучком, после отражения остаются параллельными, то отражение называется **зеркальным**, а сама поверхность — **плоским зеркалом** (рис. 158, а).

Если пучок параллельных лучей, падающих на поверхность, после отражения не является пучком параллельных лучей, то отражение называется **диффузным** или **рассеянным** (рис. 158, б). В последнем случае отражающая поверхность не гладкая, а шероховатая. Различные световые лучи отражаются от поверхности под разными углами. Для каждого светового луча выполняется закон отражения.

Несамосветящиеся тела становятся видимыми вследствие диффузного отражения света от их поверхностей. Увидеть поверхность идеального чистого зеркала нельзя — будут видны только предметы, отраженные в нем.

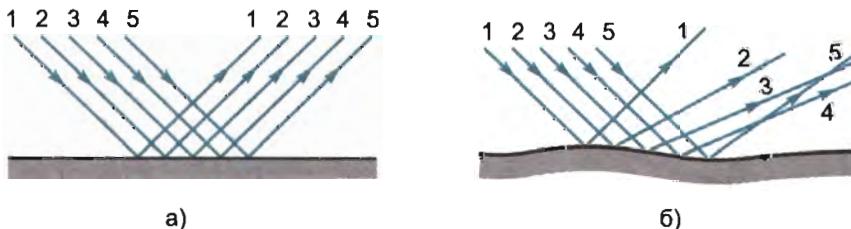


Рис. 158

Построение изображения в плоском зеркале. На рисунке 159, а показано построение изображения точки S в плоском зеркале с помощью закона отражения света.

Характер изображения, получаемого в плоском зеркале

1. Изображение мнимое; поскольку оно создается пересечением не самих световых лучей, а их продолжений.
 2. Расстояние от изображения до плоскости зеркала равно расстоянию от этой плоскости до предмета.
 3. Изображение протяженного предмета всегда равно по размеру самому предмету и расположено симметрично ему относительно плоскости зеркала (рис. 159, б).
- * **Построение изображения в сферическом зеркале.** Если зеркально отражающая поверхность представляет собой часть

Перпендикуляр, восстановленный в точке падения луча

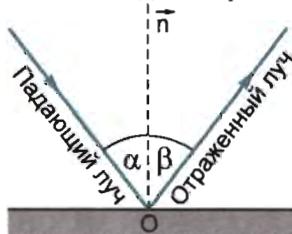


Рис. 157

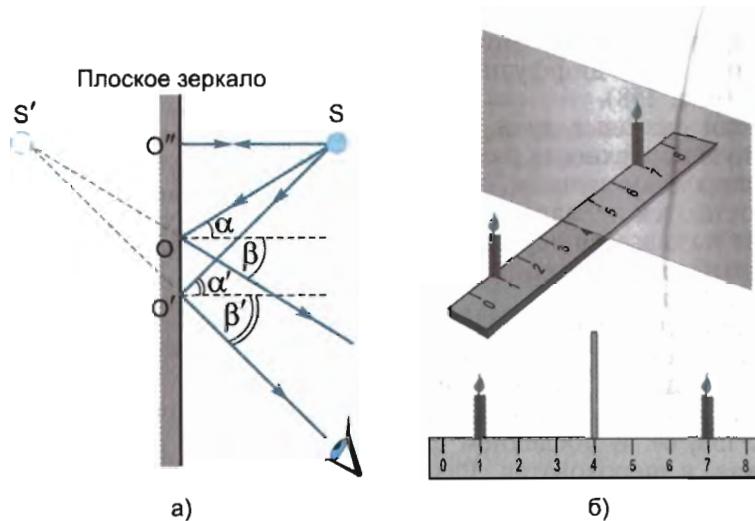


Рис. 159. Построение изображения в плоском зеркале: а) изображение точки; б) изображение предмета

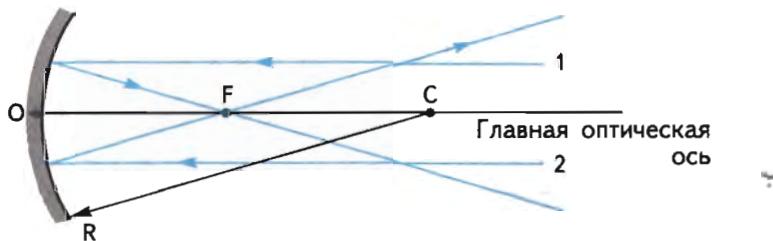


Рис. 160

шаровой поверхности, то такое зеркало называется **сферическим** зеркалом. Сферические зеркала бывают двух видов: *вогну́тые* и *выпуклые*.

На рисунке 160 изображено вогнутое зеркало. Точка *C* (центр шара) называется *оптическим центром* зеркала. *R* — радиус зеркала. Точка *O* — вершина шарового сегмента — называется *полюсом* зеркала. Прямая, проходящая через оптический центр и полюс зеркала, называется *главной оптической осью*.

Если на зеркало падает пучок параллельных лучей *1* и *2*, то после отражения все они пересекаются в одной точке, которая называется *фокусом* зеркала; он обозначается буквой *F*. Фокус, лежащий на главной оптической оси, называется *главным фокусом*.

Расстояние от полюса зеркала до главного фокуса (отрезок *OF*) называется *фокусным расстоянием* и обозначается буквой *F*. Наименование в СИ $[F] = \text{м}$.

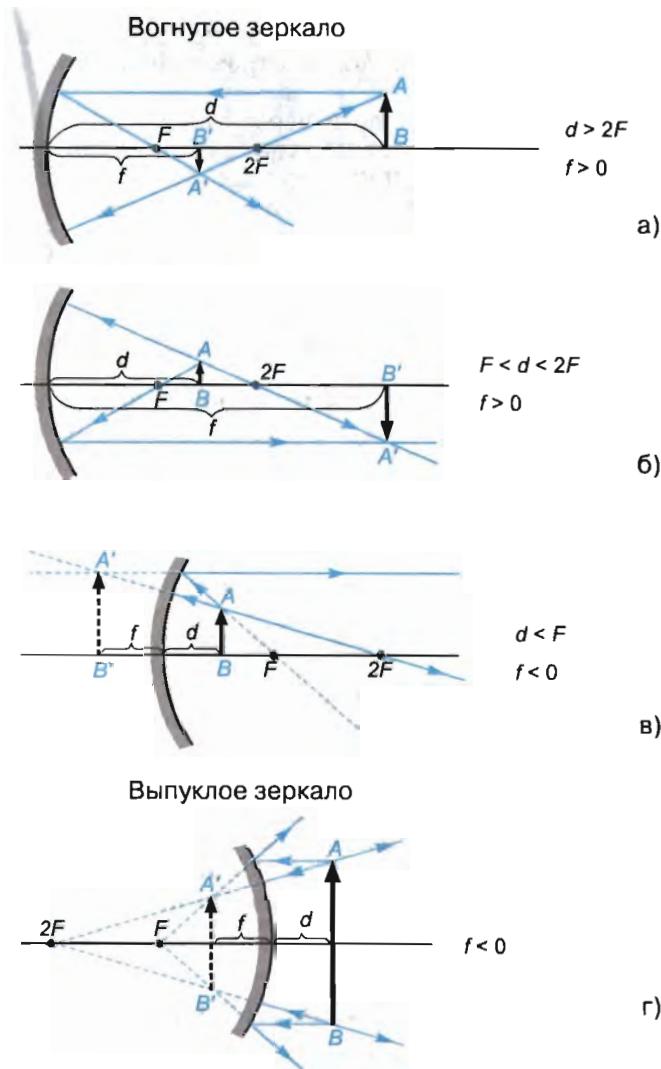


Рис. 161. Построение изображения в сферическом зеркале

Фокусное расстояние сферического зеркала равно половине радиуса:

$$F = R/2.$$

На рисунке 161, а, б, в и г приведены построения изображений, даваемых вогнутым и выпуклым зеркалами.

При построении изображения, даваемого сферическим зеркалом, используются следующие правила:

Абсолютный показатель преломления среды показывает, во сколько раз скорость света в вакууме (c) больше скорости света в данной среде (v):

$$n = c/v.$$

Абсолютный показатель преломления вакуума и воздуха равен 1.

На законах преломления света основано устройство линз и многих оптических приборов.

Дисперсия света. *Дисперсия света* — это зависимость показателя преломления вещества от длины волны (частоты) света. Следствие дисперсии света — разложение в спектр пучка белого света при прохождении его сквозь призму. Узкий пучок белого света при прохождении через стеклянную призму разлагается на пучки света разного цвета (см. вклейку V). Цветную полоску на экране называют *сплошным спектром*.

Дисперсия света была открыта И. Ньютоном в 1666 г. Он направил тонкий пучок белого света на стеклянную призму. За призмой он наблюдал разложение белого света (см. вклейку V).

Разложение белого света в спектр объясняется тем, что свет состоит из электромагнитных волн с разной длиной волны, а показатель преломления вещества зависит от длины волны. Для веществ показатель преломления увеличивается с уменьшением длины волны. В видимом диапазоне волн (в сплошном спектре) наименьшую длину волны имеет фиолетовый свет, и для него показатель преломления принимает наибольшее значение. Поэтому световые лучи фиолетового цвета преломляются сильнее. Красный свет имеет наибольшую длину волны, и для него показатель преломления принимает наименьшее значение. Поэтому световые лучи красного цвета преломляются слабее.

Белый свет можно получить смешением нескольких цветов. Обычно для отображения различных цветовых оттенков используют три цвета: красный, зеленый и синий. Эти цвета называют *основными* (см. вклейку V).

В зависимости от того, в какой пропорции складываются эти три цвета, можно получить самые разнообразные цвета и цветовые оттенки. Так, тела желтого цвета преимущественно отражают красный и зеленый цвета, совместное действие которых на глаз и дает ощущение желтого цвета. На сложении красного, зеленого и синего цветов основано цветное кино, фотография, телевидение и печать.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 8

ИЗМЕРЕНИЕ ПОКАЗАТЕЛЯ ПРЕЛОМЛЕНИЯ СТЕКЛА

Приборы и материалы: линейка измерительная, бумага с миллиметровой сеткой, свеча (или лампочка на подставке, источник тока, выключатель, соединительные провода), стеклян-

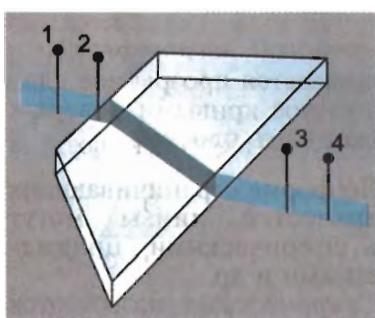


Рис. 165

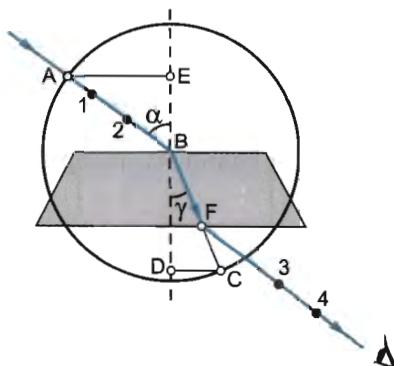


Рис. 166

ная пластина, экран со щелью, лист белой бумаги, картон гофрированный, булавки.

◆ 1. Установите перед свечой (или лампочкой) экран со щелью, а за ним положите лист бумаги.

2. Получите яркую, тонкую полоску света на бумаге (световой луч).

3. Пронаблюдайте явления преломления света в стеклянной пластиинке при различных углах падения.

4. Зафиксируйте ход световых лучей с помощью булавок. Для этого на лист гофрированного картона положите бумагу с миллиметровой сеткой, а сверху положите стеклянную пластиину (рис. 165) и воткните булавки 1, 2, 3, 4.

5. Выполните построение в соответствии с рисунком 166.

Учтите, что B — центр окружности R ; $\frac{AE}{R} = \sin \alpha$; $\frac{DC}{R} = \sin \gamma$; $n = \frac{\sin \alpha}{\sin \gamma}$.

6. Измерьте отрезки AE , DC и по формуле $n = AE/DC$ рассчитайте показатель преломления стекла.

■ 1. Узкий световой пучок падает на границу раздела стекло—воздух под углом 30° . Чему равен угол преломления? Показатель преломления стекла 1,7, а показатель преломления воздуха 1.

2. На рисунке 167 изображено преломление светового луча на границе воздух — стекло. Чему равен показатель преломления стекла?

◆ 3. Рассчитайте, на какой угол отклоняется узкий световой пучок от своего первоначального направления при переходе из стекла в воздух, если угол падения 30° . Показатель преломления стекла примите равным 1,5.

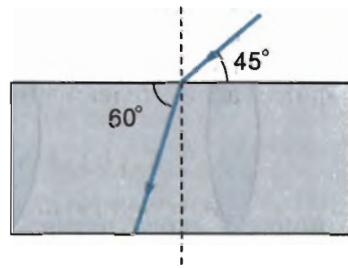


Рис. 167

§ 31. ЛИНЗЫ

Линзой (от лат. lens — чечевица) называется прозрачное для света отшлифованное тело, ограниченное кривыми поверхностями (одна из поверхностей может быть плоской).

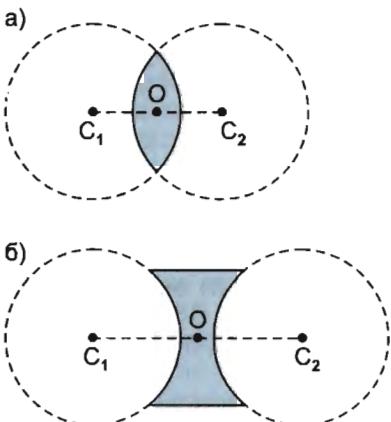


Рис. 168

По форме ограничивающих поверхностей линзы могут быть сферическими, цилиндрическими и др.

Сферическими называются линзы, ограниченные с двух или с одной стороны сферическими поверхностями (рис. 168). На рисунке 168, а представлена *собирающая* (выпуклая) линза, на рисунке 168, б — *рассевающая* (вогнутая) линза. C₁ и C₂ — центры сферических поверхностей; прямая, проходящая через центры сферических поверхностей C₁ и C₂, ограничивающих линзу, называется *главной оптической осью линзы*; точка O — *optический центр линзы* (точка, лежащая на главной оптической оси в центре линзы).

На рисунках 169 и 170 показаны некоторые виды собирающих и рассевающих линз и их условные обозначения. На рисунке 171 представлен ход лучей через собирающую и рассевающую линзы.

Если на собирающую линзу падает световой пучок параллельно главной оптической оси, то после преломления световые лучи пересекаются в одной точке (рис. 171, а).

Точка, в которой пересекаются преломленные световые лучи, называется *фокусом линзы F* (рис. 171, а). Расстояние от

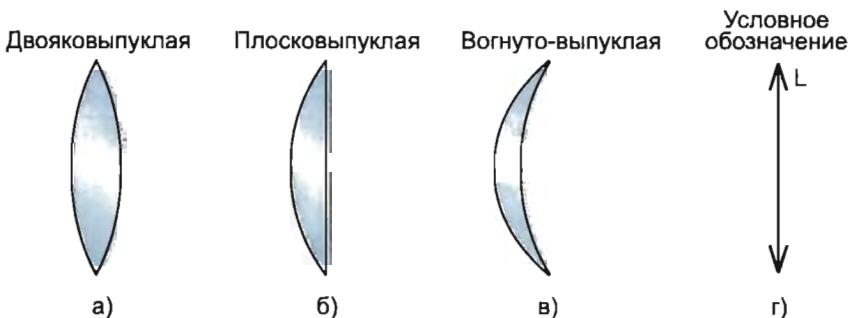


Рис. 169

Двояковогнутая Плосковогнутая Выпукло-вогнутая Условное обозначение

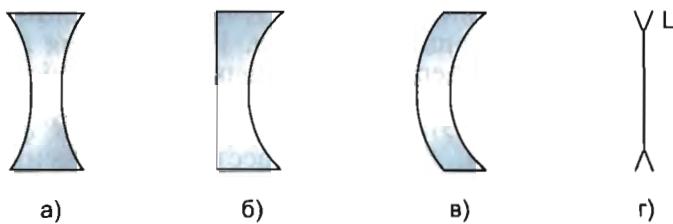


Рис. 170

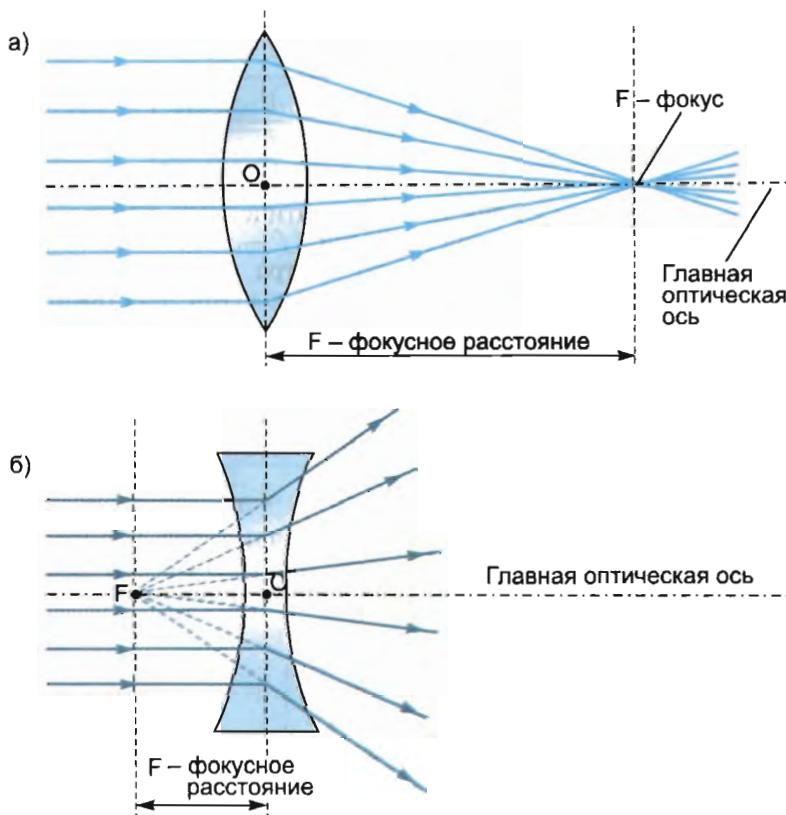


Рис. 171

оптического центра линзы до фокуса, считая вдоль главной оптической оси, называется *фокусным расстоянием линзы*. Его также обозначают буквой F . Фокусное расстояние собирающей линзы считается положительной величиной. У собира-

ющей линзы два фокуса, и оба действительных; они расположены на главной оптической оси.

У рассеивающей линзы световые лучи после преломления в линзе выходят расходящимся пучком. Продолжения расходящихся световых лучей пересекутся в точке F , лежащей на главной оптической оси с той же стороны, с которой падает свет на линзу (рис. 171, б). Эта точка называется *мнимым фокусом* рассеивающей линзы. Фокусное расстояние рассеивающей линзы считается отрицательной величиной. У рассеивающей линзы два фокуса, и оба мнимых.

Если на некотором расстоянии от линзы находится предмет, то линза создает его изображение. Расстояние от тонкой линзы до предмета и до его изображения связано с фокусным расстоянием формулой тонкой линзы



$$\frac{1}{d} \pm \frac{1}{f} = \pm \frac{1}{F}, \text{ или } \frac{1}{d} \pm \frac{1}{f} = \pm D,$$

где d — расстояние от предмета до оптического центра линзы, считая вдоль главной оптической оси; f — расстояние от изображения предмета до оптического центра линзы, считая вдоль главной оптической оси ($f > 0$, если изображение действительное; $f < 0$, если изображение мнимое); F — фокусное расстояние линзы; D — оптическая сила линзы (величина, обратная фокусному расстоянию $D = 1/F$). $F > 0$ и $D > 0$ для собирающей линзы, $F < 0$ и $D < 0$ для рассеивающей линзы.

Наименование единиц величин в Международной системе единиц (СИ):

$$[d] = \text{м}, [f] = \text{м}, [F] = \text{м}, [D] = 1/\text{м} = \text{дп} \text{ (диоптрия)}.$$

Величина, показывающая, во сколько раз изображение предмета, даваемое линзой, больше (меньше) самого предмета, называется *линейным увеличением* (или *уменьшением*). Оно рассчитывается по формуле:



$$\Gamma = \frac{h}{H} = \frac{|f|}{d},$$

где h — линейные размеры изображения; H — линейные размеры предмета.

Построение изображения в линзе. На рисунке 172, а, б, в приведены построения изображения, даваемые собирающей линзой, на рисунке 172, г — рассеивающей линзой. Штриховая линия означает продолжение преломленных световых лучей.

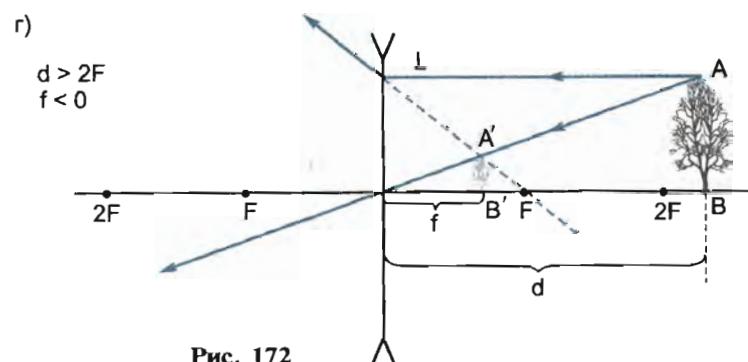
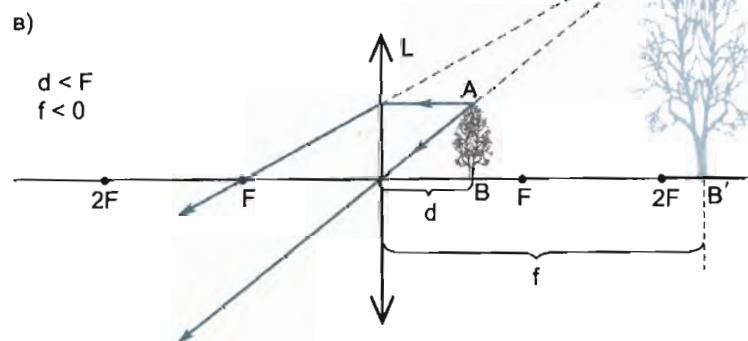
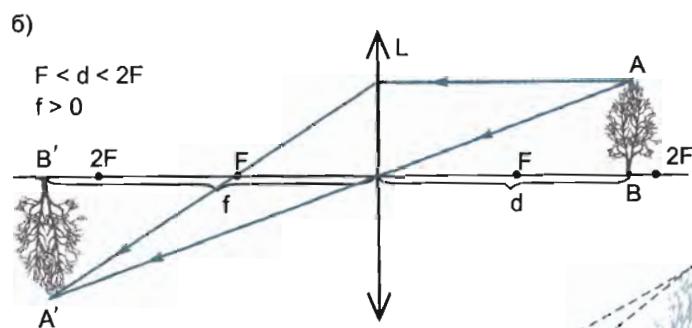
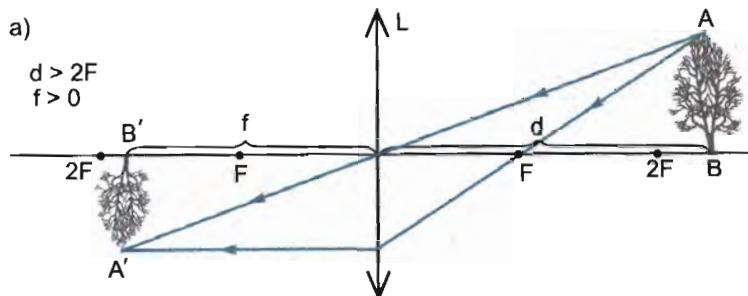


Рис. 172

При построении изображения, даваемого тонкой линзой, используют следующие правила:

Световой луч, проходящий через оптический центр тонкой линзы, не преломляется.

Световой луч, проходящий параллельно главной оптической оси, после преломления проходит через фокус.

Световой луч, проходящий через фокус, после преломления проходит параллельно главной оптической оси.

Для построения изображения точки достаточно взять два любых световых луча.

Характер изображения, даваемого линзой

Для собирающей линзы изображение:

- а) действительное, обратное (перевернутое) и уменьшенное; $F < f < 2F$ (рис. 172, а);
- б) действительное, обратное (перевернутое) и увеличенное; $f > 2F$ (рис. 172, б);
- в) мнимое, прямое и увеличенное; изображение находится с той же стороны, что и предмет (рис. 172, в).

Для рассеивающей линзы изображение:

мнимое, прямое и уменьшенное; всегда находится с той же стороны, что и предмет (рис. 172, г).

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 9

ИЗМЕРЕНИЕ ФОКУСНОГО РАССТОЯНИЯ И ОПТИЧЕСКОЙ СИЛЫ СОБИРАЮЩЕЙ ЛИНЗЫ

Приборы и материалы: линейка измерительная, собирающая линза на подставке, свеча (или лампочка на подставке с колпачком, источник тока, выключатель, соединительные провода), экран со щелью, направляющая рейка.

1. Расположите источник света, собирающую линзу, экран вдоль направляющей рейки.

2. Добейтесь увеличенного изображения пламени свечи (или изображения светящейся буквы). Измерьте расстояния d, f . Запишите значения в таблицу.

3. Добейтесь уменьшенного изображения пламени свечи (или изображения светящейся буквы). Измерьте расстояния d, f . Запишите значения в таблицу.

4. Используя формулу тонкой линзы $1/d + 1/f = 1/F$, рассчитайте фокусное расстояние линзы.

5. Рассчитайте значение оптической силы линзы: $D = 1/F$.

6. Результаты измерений и вычислений запишите в таблицу.

№ опыта	$d, \text{ м}$	$f, \text{ м}$	$F, \text{ м}$	$D, \text{ дп}$

?

1. Что такое линза? 2. Какие виды линз вы знаете? 3. Запишите формулу тонкой линзы. Поясните величины, входящие в эту формулу.
4. Запишите формулу расчета линейного увеличения (уменьшения), даваемого линзой. Поясните величины, входящие в эту формулу.

■ 1. Предмет расположен на расстоянии 0,15 м от рассеивающей линзы с фокусным расстоянием 0,3 м. На каком расстоянии от линзы получится изображение данного предмета?

* 2. Светящийся предмет находится на расстоянии 420 см от экрана. Где надо поместить собирающую линзу, чтобы получить на экране 20-кратное увеличение предмета? Чему равна оптическая сила линзы?

§ 32. ОПТИЧЕСКИЕ ПРИБОРЫ

Фотоаппарат. Основные части фотоаппарата — объектив, светонепроницаемый корпус, видоискатель, диафрагма и затвор. В светонепроницаемый корпус фотоаппарата помещают фотопленку, чувствительную к действию света.

Фотопленка располагается таким образом, что при срабатывании затвора свет попадает на тот ее участок, который располагается напротив объектива, в его фокусе. Объектив создает изображение фотографируемых объектов на фотопленке, которые пленка запечатлевает. Оно становится видимым после проявления пленки. На рисунке 173 изображен внешний вид фотоаппарата, а на рисунке 174 приведена схема изображения предмета, даваемого прибором.

В настоящее время широкое распространение получили цифровые фотоаппараты, которые используют светочувствительные полупроводниковые приемники изображения. Как и в



Рис. 173

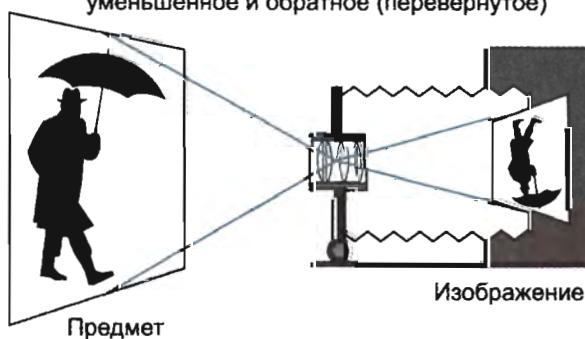


Рис. 174

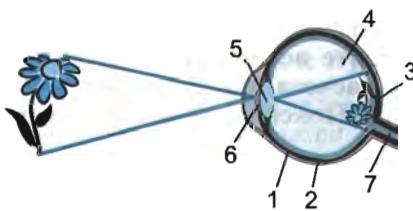


Рис. 175. Схема строения глаза человека и изображение предмета на сетчатке: 1 — белочная наружная оболочка; 2 — сосудистая оболочка; 3 — сетчатка; 4 — стекловидное тело; 5 — хрусталик; 6 — зрачок; 7 — зрительный нерв

Зрение считается *нормальным*, если в ненапряженном состоянии глаз собирает параллельные световые лучи в точке, лежащей на сетчатке. На рисунке 176, а показано положение изображения для нормального глаза.

Далеко не у всех людей глаз является нормальным.

Близорукий глаз хорошо видит только близко расположенные предметы, световые лучи от предмета пересекаются перед сетчаткой (рис. 176, б). *Дальнозоркий* глаз обладает относительно слабой преломляющей способностью, и лучи, идущие от далеких предметов, фокусируются за сетчаткой (рис. 176, в).

При близорукости пользуются очками с рассеивающими линзами (рис. 177, а); при дальнозоркости — с собирающими линзами (рис. 177, в). Если человек носит линзы (очки), опти-

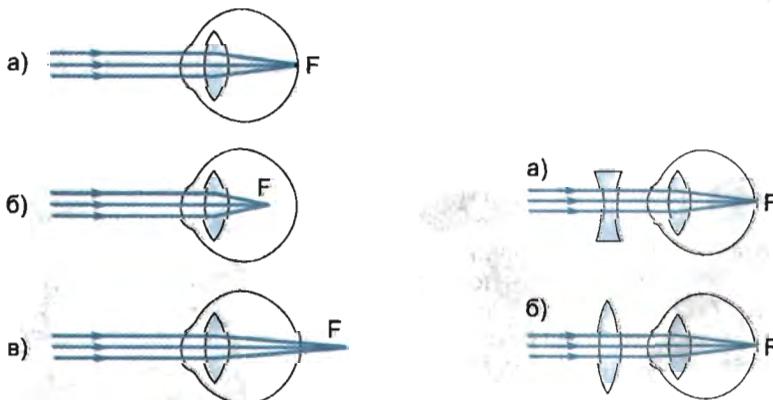


Рис. 176. Положение изображения:
а) нормальный глаз (на сетчатке);
б) близорукий глаз (перед сетчаткой);
в) дальнозоркий глаз (за сетчаткой)

случае с фотопленкой, на них проецируются резкие изображения предметов.

Глаз. Оптическая система глаза человека подобна оптической системе фотоаппарата. На рисунке 175 приведена схема строения глаза человека и изображение предмета на сетчатке. Свет, попадающий в глаз, преломляется в хрусталике и стекловидном теле. На сетчатке изображение рассматриваемого предмета действительное, уменьшенное и обратное (перевернутое).

Глаз. Оптическая система

глаза человека подобна оптической системе фотоаппарата.

На рисунке 175 приведена схема строения глаза человека и изображение предмета на сетчатке.

Свет, попадающий в глаз, преломляется в хрусталике и стекловидном теле.

На сетчатке изображение рассматриваемого предмета действительное, уменьшенное и обратное (перевернутое).

ческая сила которых, например, равна -1 дп (или -2 дп, или -3 дп), то, значит, он близорукий. Если человек носит линзы (очки), оптическая сила которых, например, $+0,75$ дп (или $+2$ дп, или $+2,5$ дп), то, значит, он дальнозоркий.

Когда предмет приближается к глазу, кривизна хрусталика возрастает. Однако увеличение кривизны хрусталика имеет предел. Нормальный глаз может длительно без особого напряжения рассматривать предметы, расположенные от него не ближе 25 см. Расстояние от глаза до предмета, равное 25 см, называется *расстоянием наилучшего зрения* (d_0).

Лупа. Лупа (от франц. loupe — лупа) — короткофокусная собирающая линза или система линз, действующих как одна собирающая линза. Лупа предназначена для рассматривания мелких объектов, плохо различаемых глазом. На рисунках 178 и 179 приведены внешний вид лупы и построение изображения, даваемое лупой: α — угол, под которым виден предмет на расстоянии наилучшего зрения (этот угол мал, детали предмета трудно различить); α_1 — угол, под которым виден предмет на расстоянии d_0 , когда ставят линзу (лупу).

Рассматриваемый предмет $A' B'$ располагается между линзой и фокусом линзы с таким расчетом, чтобы его изображение (прямое, увеличенное и мнимое) получилось на расстоянии наилучшего (ясного) зрения для нормального глаза ($d_0 = 25$ см) $A'' B''$ (см. рис. 179). Световые лучи от изображения $A'' B''$ попадают в глаз под углом α_1 , большим, чем световые лучи от самого предмета (угол α). Этим объясняется увеличивающее действие лупы.

Фокусное расстояние простейших луп обычно составляет от 1 до 10 см. Увеличение лупы $\Gamma = d_0/F$; от 2,5 до 25 раз.



Рис. 178

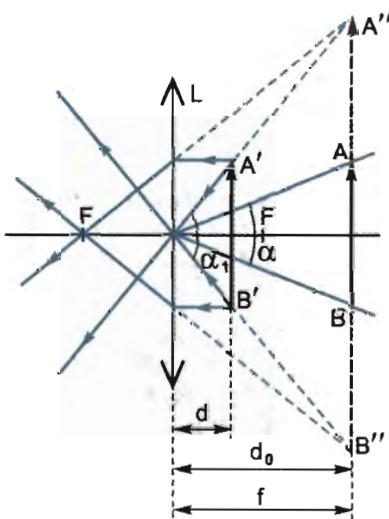


Рис. 179. Построение изображения, даваемого лупой

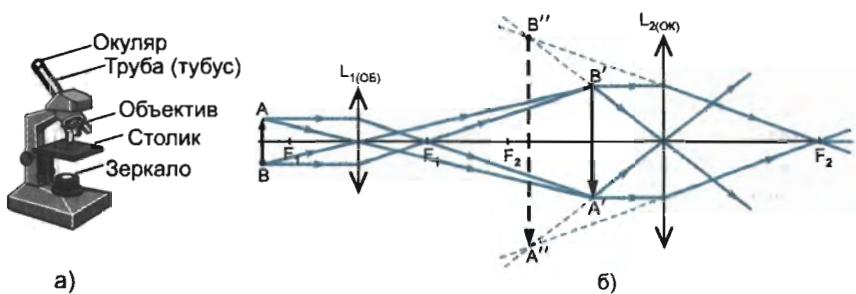


Рис. 180. Микроскоп: а) внешний вид и основные части микроскопа; б) изображение, даваемое микроскопом; F_1 — фокусное расстояние объектива; F_2 — фокусное расстояние окуляра

Лупы применяют часовых дел мастера, ботаники, криминалисты. Многие из вас неоднократно использовали лупу для рассматривания мелких предметов (например, марок).

✳ **Микроскоп.** Микроскоп предназначен для получения больших увеличений при рассматривании мелких предметов. Увеличение микроскопа обычно не превышает 2000 раз. Частицы размером менее 0,3 мкм (микрона) в оптический микроскоп неразличимы. На рисунке 180 изображен внешний вид и построение изображения, даваемого микроскопом. На рисунке показано, что предмет AB располагают между фокусом объектива (линза $L_{1(\text{об})}$, обращенная к предмету) и точкой, находящейся на его вторичном фокусном расстоянии. Действительное увеличенное изображение предмета $A' B'$, даваемое объективом, рассматривается через лупу $L_{2(\text{ок})}$ — окуляр. Изображение, получаемое в микроскопе, мнимое, увеличенное, обратное (перевернутое). Микроскоп позволяет различать мелкие детали предмета, которые при наблюдении невооруженным глазом или с помощью лупы неразличимы.

Проекционный аппарат. В проекционном аппарате (рис. 181) рисунок или фотоснимок предмета на прозрачной пленке или стекле помещают от объектива на расстоянии d ,

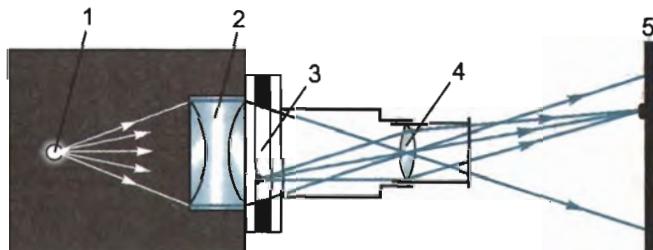


Рис. 181. Проекционный аппарат (схема получения изображения)

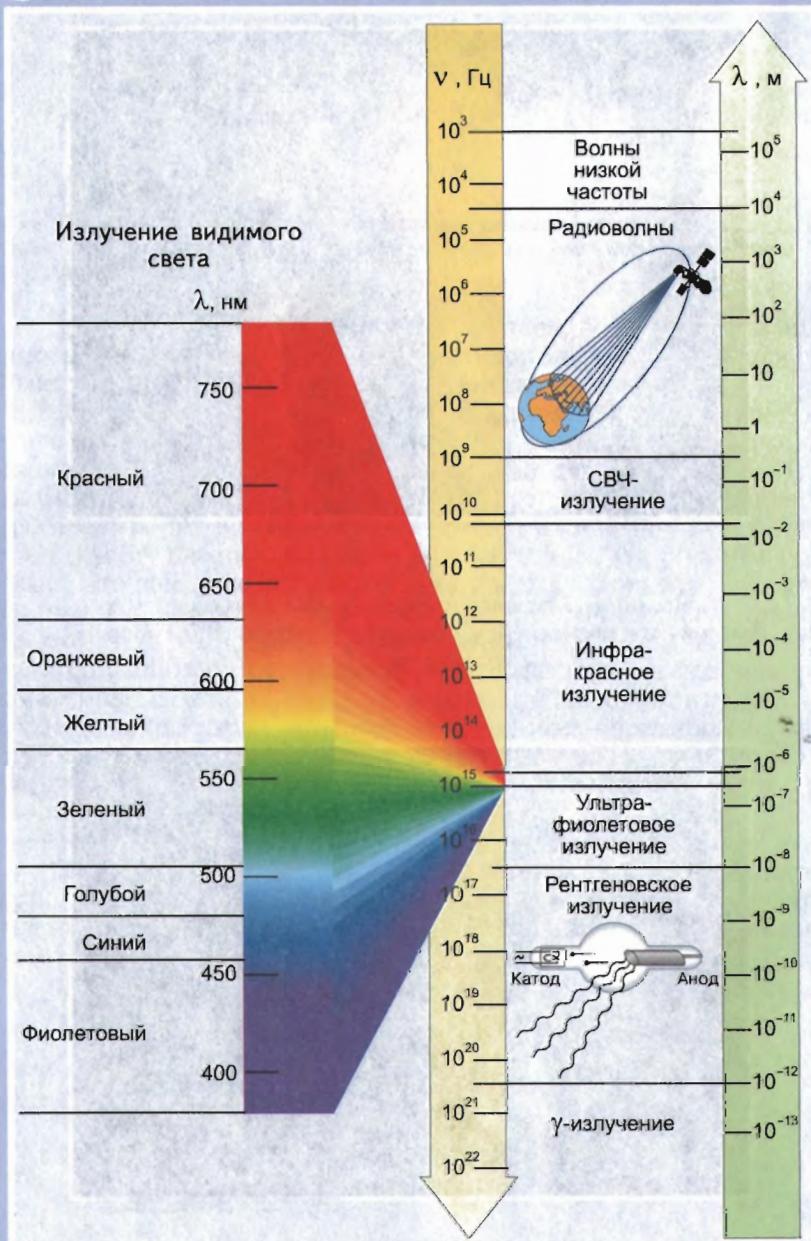


Молния — искровой разряд в атмосфере.
Над Землей каждую секунду происходит около 100 грозовых
разрядов.



II

Шкала электромагнитных волн



III



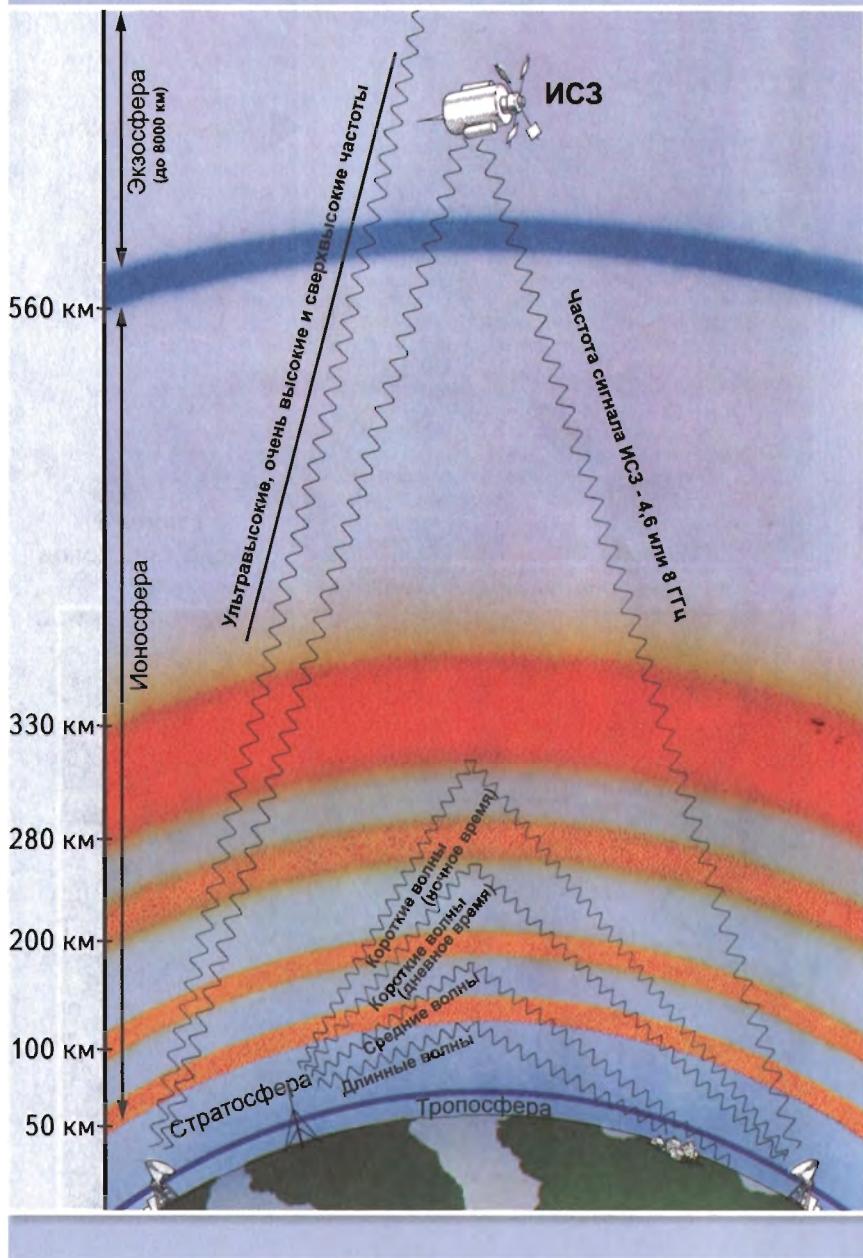
Радиотелескоп

Система
радиотелескопов

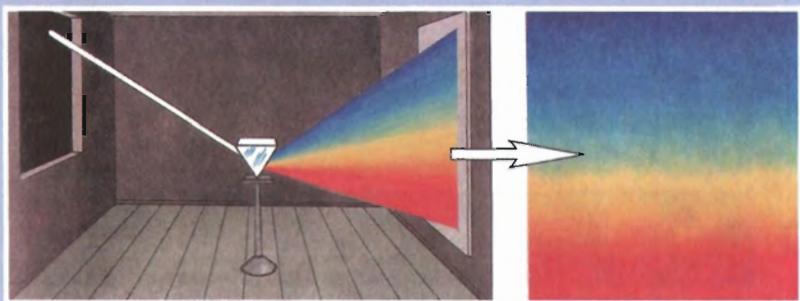


IV

Распространение радиоволн



V



Опыт Ньютона по разложению белого света

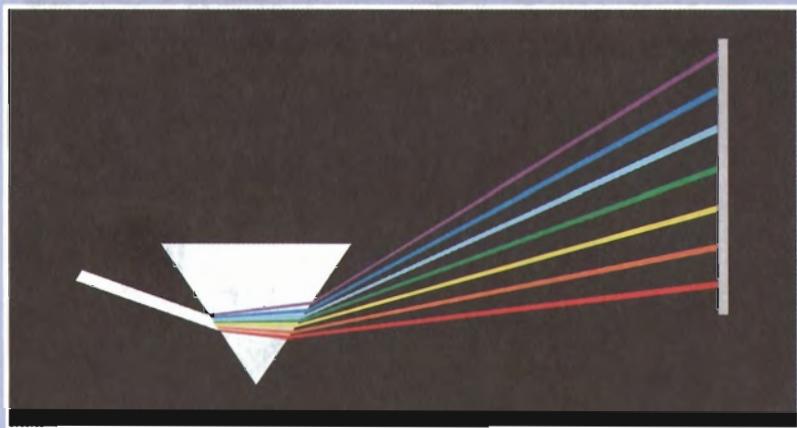
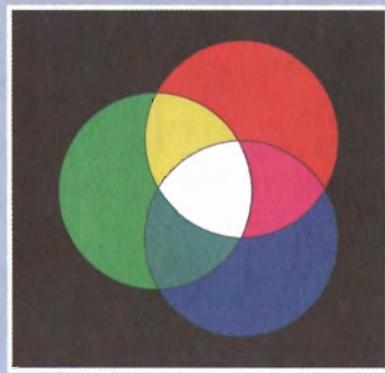
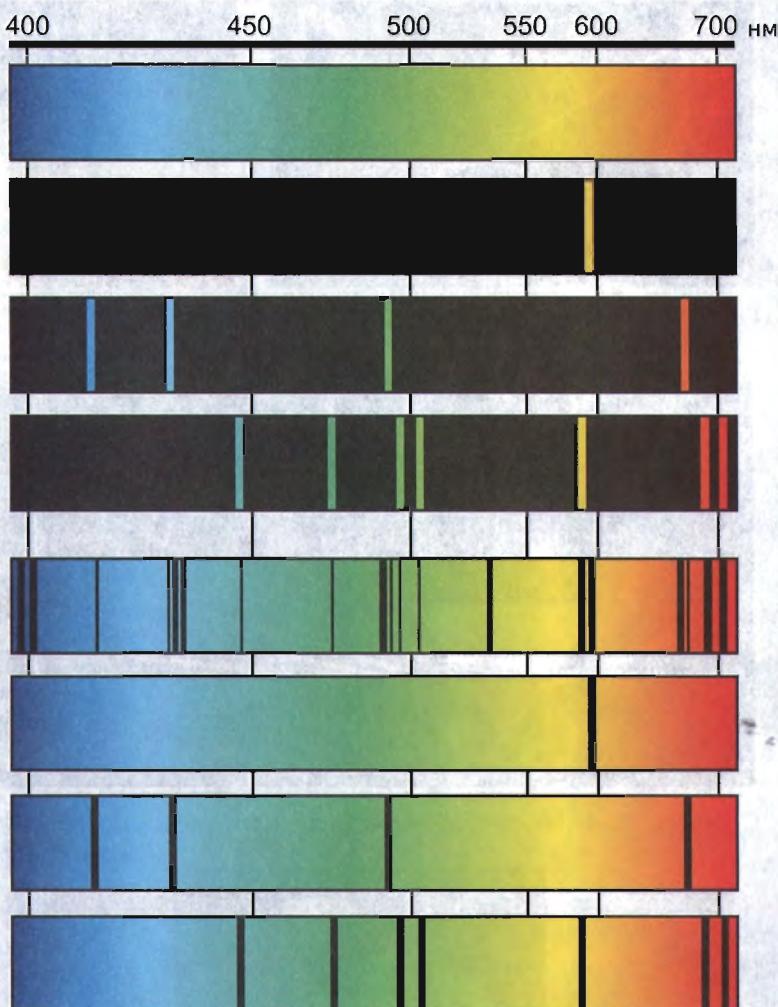


Схема разложения белого света в спектр с помощью призмы



Смешение основных цветов

VI



ЛИНЕЙЧАТЫЕ СПЕКТРЫ ИСПУСКАНИЯ И ПОГЛОЩЕНИЯ

Спектры испускания:

1 – сплошной, 2 – натрия, 3 – водорода, 4 – гелия

Спектры поглощения:

5 – солнечный, 6 – натрия, 7 – водорода, 8 – гелия

VII

Взрыв водородной бомбы



VIII



Первая в мире атомная электростанция в г. Обнинске
Московской области.
27 июня 1954 года она дала первый промышленный ток.
Мощность АЭС составила 5 МВт.

удовлетворяющему условию $F < d < 2F$. На экране получается увеличенное и действительное изображение предмета. Такое изображение можно рассматривать со сравнительно большого расстояния. Для освещения пленки используют электрическую лампу 1. Для равномерного освещения экрана при отсутствии пленки применяется конденсор 2. Конденсор представляет собой систему линз, направляющих расходящийся световой пучок от источника света через кадр пленки 3. Изображение ярко освещенной пленки создается на экране 5 с помощью объектива 4 проекционного аппарата.

*** Телескопы.** Телескопы — оптические инструменты, которыми человек пользуется при наблюдении за небом. Впервые были изобретены в начале XVII в. Телескоп с линзовым объективом называется *рефрактором*. Объектив телескопа выполняет две функции: первая — собирать свет, идущий от наблюдаемых объектов, вторая — получить по возможности более резкие изображения объектов.

На рисунке 182 приведен ход световых лучей через объектив телескопа-рефрактора.

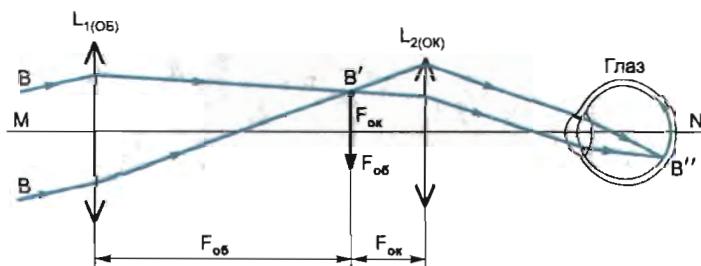


Рис. 182. Построение изображения звезды, даваемого телескопом-рефрактором: $L_{1(\text{об})}$ — объектив — длиннофокусная собирающая линза, $L_{2(\text{ок})}$ — окуляр — короткофокусная собирающая линза, играющая роль лупы

Большая часть профессиональных телескопов — рефлекторы. В *телескопах-рефлекторах* объективом являются не линзы, а вогнутые зеркала. Чем больше площадь зеркала, тем более слабые объекты можно наблюдать в телескоп. Современные зеркала изготавливают не из стекла, а из керамических соединений, у которых при температурных колебаниях практически отсутствует деформация.

Диаметр зеркала космического телескопа «Хаббл» равен 2,4 м. На рисунке 183 изображен зеркальный телескоп в Монте-Паломаре (США), диаметр зеркала составляет 1,2 м.

Современные телескопы не рассчитаны для наблюдения глазом. Изображения небесных объектов воспринимаются специальными светочувствительными приемниками излучения.

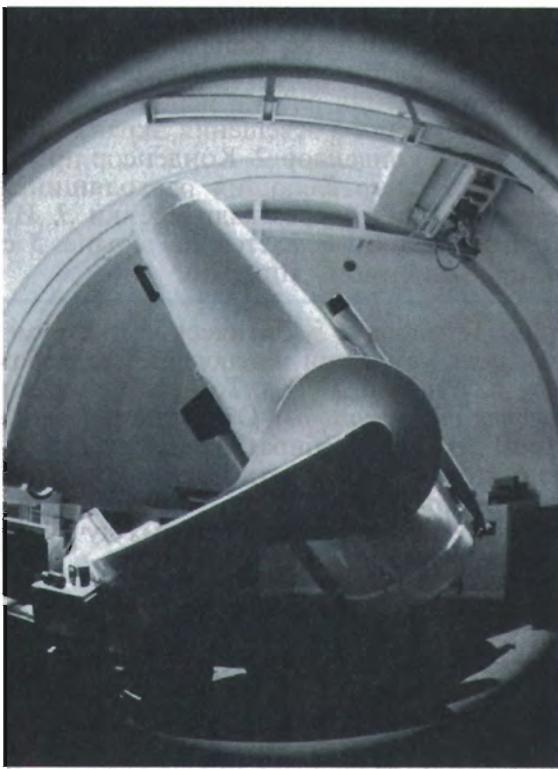


Рис. 183. Зеркальный телескоп в Монте-Паломаре

-
- ?
1. Какое изображение получается в фотоаппарате? 2. Назовите основные части глаза как оптической системы. 3. Какое и где получается изображение в глазу? 4. С какой целью используются очки? * 5. Для чего предназначена лупа? * 6. Для чего предназначен микроскоп? 7. Для чего предназначен проекционный аппарат? * 8. Какие функции выполняет телескоп? * 9. Какой телескоп называется рефрактором? рефлектором?

АТОМ И АТОМНОЕ ЯДРО

§ 33. СТРОЕНИЕ АТОМА. ОПЫТЫ РЕЗЕРФОРДА

Сложное строение атомов подтверждается многими опытами и явлениями. К их числу относятся: открытие электрона и обнаружение электронов в составе атомов всех химических элементов, открытие линейчатых спектров атомов всех химических элементов, открытие радиоактивности и др.

Модель Томсона. Одну из первых моделей строения атома предложил в 1903 г. английский ученый Джозеф Джон Томсон. Он предположил, что атом имеет форму шара; положительный заряд распределен равномерно по всему объему шара, а отрицательно заряженные электроны «вкраплены» в нее; суммарный отрицательный заряд электронов равен положительному заряду сферы (рис. 184). Радиус атома должен быть равен примерно 10^{-10} м. Это значение оценивалось по известным расстояниям между центрами атомов в кристаллических решетках твердых тел.

Модель атома Томсона оказалась в противоречии с опытами по исследованию расположения положительного заряда в атоме, проведенными Эрнестом Резерфордом.

Опыты Резерфорда. В 1910—1911 гг. английский ученый Эрнест Резерфорд совместно со своими сотрудниками провел эксперименты по изучению структуры атома. На рисунке 185 приведена схема опыта Резерфорда. Тонкая золотая фольга облучалась α -частицами (α -частица — ядро атома гелия), пролетающими через щели в свинцовых экранах со скоростью около 10^7 м/с (рис. 185, а). Альфа-частицы испускались радиоактивными источниками.

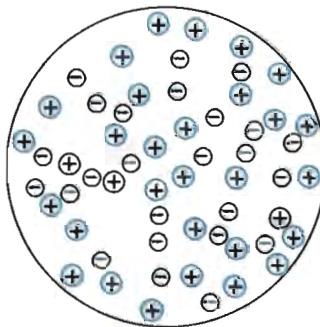


Рис. 184. Модель атома Томсона

Томсон Джозеф Джон (1856—1940) — английский физик. Работы посвящены электродинамике, атомной физике. В 1897 г. открыл электрон. Разработал теорию движения электрона в магнитном и электрическом полях. Изучил многие особенности электрического разряда в газах. Является одним из основоположников классической электронной теории металлов. Удостоен Нобелевской премии 1906 г. за открытие электрона.





Резерфорд Эрнест (1871—1937) — английский физик. Исследования посвящены радиоактивности, атомной и ядерной физике. В 1899 г. открыл α -, β -излучения. Установил закон радиоактивного распада. В 1920 г. предсказал существование нейтрона и дейтерона (ядро тяжелого изотопа водорода — дейтерия). В 1934 г. осуществил реакцию синтеза дейтронов с образованием лития. Удостоен Нобелевской премии 1908 г. по химии за исследования по превращению элементов и химии радиоактивных веществ.

После взаимодействия с атомами золота α -частицы попадали на экраны, покрытые слоем сернистого цинка ZnS. Ударяясь об экраны, α -частицы вызывали слабые кратковременные вспышки света — *сцинтиляции* (от лат. *scintillatio* — мерцание). По числу вспышек определялось число частиц, рассеянных фольгой на определенный угол. Подсчеты показали, что большинство α -частиц проходит фольгу практически беспрепятственно, отклоняясь на углы менее 1° . Некоторые α -частицы (в среднем одна из 20 000) резко отклонялись от первоначального направления, даже отражаясь назад (на угол 180°) (рис. 185, б). Столкновение α -частицы с электроном не может так существенно изменить ее траекторию, так как масса электрона примерно в 7300 раз меньше массы α -частицы. Резерфорд предположил, что отклонение α -частиц обусловлено их отталкиванием положительно заряженными частицами, обладающими массой, соизмеримой с массой α -частицы. Рассеяние отдельных α -частиц на большие углы Резерфорд объяснял тем, что положительный заряд в атоме не распределен равномерно в шаре радиусом 10^{-10} м, как предполагали ранее, а сосредоточен в центральной части атома в области значительно меньшего объема по сравнению с объемом атома. В этой центральной

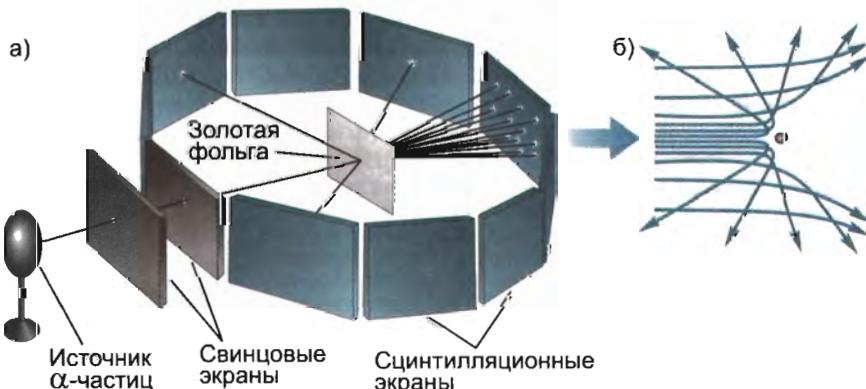


Рис. 185

положительно заряженной области атома — **атомном ядре** — сосредоточена и почти вся масса атома. Расчеты Резерфорда показали, что для объяснения опытов нужно принять радиус атомного ядра равным примерно 10^{-15} м.

Резерфорд предположил, что атом устроен подобно Солнечной системе. Как вокруг Солнца на больших расстояниях от него обращаются планеты, так электроны в атоме обращаются вокруг атомного ядра (рис. 186), образуя электронную оболочку. Радиус круговой орбиты самого далекого от ядра электрона и есть радиус атома. Такая модель строения атома была названа **планетарной** или **ядерной** моделью. Эта модель наглядна, хотя является сильно упрощенной. Реальное строение атома оказалось сложнее. Атом электронейтрален: заряд ядра равен суммарному заряду электронов. Опыты Резерфорда показали, что атомное ядро примерно в 10 000 раз меньше размера электронной оболочки и сосредоточивает 99,9% массы атома.

Ядерная модель атома позволила объяснить результаты опытов по рассеянию α -частиц веществ, однако она не могла объяснить устойчивость (долгоживучесть) атомов.

?

1. Перечислите опыты и явления, подтверждающие сложное строение атомов. 2. Какую модель строения атома предложил Дж. Дж. Томсон? В чем ее несостоятельность? 3. Какую модель строения атома предложил Э. Резерфорд? Что не могла объяснить модель Резерфорда?

● С помощью рисунка 185 расскажите об опыте Резерфорда. Какие выводы сделал Резерфорд из анализа результатов опыта?

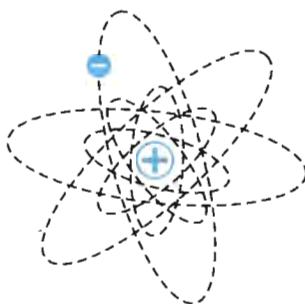


Рис. 186. Планетарная модель строения атома водорода

* § 34. ЛИНЕЙЧАТЫЕ СПЕКТРЫ ИСПУСКАНИЯ И ПОГЛОЩЕНИЯ

Фотоны. В классической физике испускание света источником рассматривается как непрерывный процесс. Вы знаете, что свет — электромагнитная волна. В 1900 г. немецким ученым Максом Планком (1858—1947) была высказана гипотеза, согласно которой атомы и молекулы вещества испускают и поглощают свет не непрерывно, а определенными порциями — **квантами света**, или **фотонами** (от лат. quantum — количество, греч. φῶτος — свет). Фотон — квант электромагнитного

излучения (в узком смысле — света). Фотоны — частицы, энергия и импульс которых выражаются через волновые характеристики — частоту и длину волны. Энергия каждого фотона прямо пропорциональна частоте v излучения:

$$E = hv,$$

где h — постоянная Планка (универсальная постоянная), $h = 6,63 \cdot 10^{-34}$ Дж · с; v — частота света.

Скорость фотона равна скорости света в вакууме:

$$v_\phi = c.$$

Квантовые постулаты Бора. Вращающиеся вокруг ядра атома электроны по законам классической физики должны непрерывно излучать электромагнитные волны и, теряя энергию, падать на ядро. Атом должен прекратить свое существование. В действительности ничего подобного не происходит. Атомы устойчивы и могут существовать неограниченно долго, не излучая электромагнитные волны. Первый шаг на пути разрешения противоречия между теорией и результатами эксперимента Резерфорда по рассеянию α -частиц был сделан датским ученым Нильсом Бором (1885—1962). Свои представления об особых свойствах атомов Бор сформулировал в 1913 г. в виде двух постулатов.

1. Атомная система может находиться только в особых стационарных или квантовых состояниях, каждому из которых соответствует определенная энергия атома E_n ; в стационарном состоянии атом не излучает.

2. При переходе атома из одного стационарного состояния в другое испускается или поглощается квант электромагнитного излучения. Энергия фотона равна разности энергий атома в двух стационарных состояниях:

$$hv = E_m - E_n.$$

Все стационарные состояния, кроме одного, являются стационарными лишь условно. Бесконечно долго каждый атом может находиться лишь в стационарном состоянии с минимальным запасом энергии. Это состояние атома называется *основным*. Все остальные стационарные состояния атома называются *возбужденными*.

В результате соударения с другим атомом, с заряженной частицей или при поглощении фотона атом может перейти из стационарного состояния с меньшим запасом энергии в стационарное состояние с большим запасом энергии. Из любого возбужденного состояния атом самопроизвольно может переходить в основное состояние (или другое возбужденное

состоиние, но с меньшей энергией); этот переход сопровождается излучением фотонов. Время жизни атомов в возбужденных состояниях, как правило, не превышает 10^{-8} – 10^{-7} с.

Линейчатые спектры и постулаты Бора. На вклейке VI изображены линейчатые спектры испускания и поглощения различных веществ; 3 и 7 — это атомные спектры водорода. Атомные спектры возникают при испускании и поглощении электромагнитного излучения свободными или слабо связанными атомами (например, в газах или парах). Атомные спектры являются линейчатыми, т. е. состоят из отдельных линий, характеризуемых частотой излучения.

Постулаты Бора позволяют объяснить происхождение линейчатых спектров испускания и поглощения атомов. Излучение фотонов происходит при переходах атомов из состояния с большей энергией в состояние с меньшей энергией. Поглощая фотон, атом переходит из состояния с меньшей энергией в состояние с большей энергией.

Энергия фотона, поглощенная при переходе из основного состояния с энергией E_1 в возбужденное состояние с энергией E_2 (рис. 187, а), в точности равна энергии фотона, излучаемого атомом при обратном переходе (рис. 187, б), так как в том и в другом случае она равна разности энергий атома в этих двух состояниях. Поэтому частоты фотонов, излучаемых веществом, в точности совпадают с частотами фотонов, поглощаемых этим же веществом при пропускании через него света. Иначе говоря, положение линий в линейчатом спектре испускания вещества (например, атома водорода) точно совпадает с положением в линейчатом спектре поглощения этого же вещества.

Рассмотрим упрощенную модель образования линейчатого спектра на примере атома водорода (рис. 188).

Видимому излучению атома водорода соответствуют фотоны, которые испускаются атомом при переходе электрона с

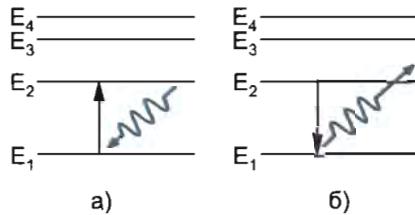


Рис. 187

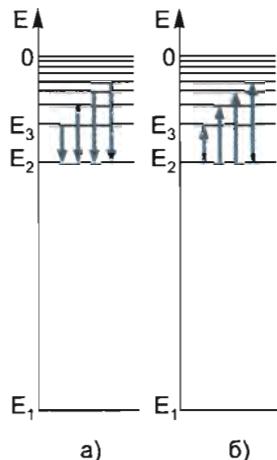


Рис. 188

третьего и более удаленных энергетических уровней на второй энергетический уровень (рис. 188, *a*). При переходе электрона с третьего энергетического уровня E_3 на второй энергетический уровень E_2 излучается фотон. Энергия излученного фотона соответствует частоте красного света (в спектре испускания 3 изображена красная линия). Зеленая линия спектра атома водорода соответствует переходу $E_4 \rightarrow E_2$, голубая линия — переходу $E_5 \rightarrow E_2$, синяя линия — переходу $E_6 \rightarrow E_2$.

Возможен переход электрона и на первый энергетический уровень, но рождающийся при этом фотон будет иметь значительно большую энергию (более короткую длину волны), соответствующую не видимому глазом ультрафиолетовому излучению.

Поглощение света — процесс, обратный излучению. Электрон, поглощая фотон, переходит из более низких энергетических состояний в более высокие (рис. 188, *б*). При переходе электрона со второго энергетического уровня E_2 на третий энергетический уровень E_3 поглощается фотон. Энергия поглощенного фотона соответствует частоте красного света (в спектре поглощения атома водорода 7 изображена черная линия в красной части сплошного спектра). Черная линия в зеленой части сплошного спектра соответствует переходу $E_2 \rightarrow E_4$; черная линия в голубой части сплошного спектра — переходу $E_2 \rightarrow E_5$; черная линия в синей части спектра — переходу $E_2 \rightarrow E_6$.

Спектральный анализ и его применение. Спектральный анализ — метод определения химического состава и других характеристик вещества по его спектру.

Исследование линейчатого спектра вещества позволяет определить, из каких химических элементов оно состоит и в каком количестве содержится каждый элемент в данном веществе. Для проведения спектрального анализа вещества с неизвестным химическим составом пробы вещества переводят в газообразное состояние и нагревают до такой температуры, когда оно излучает свет, затем этот свет раскладывают в спектр и определяют частоты (длины волн) и интенсивности наблюдаемых в нем линий. Сравнивая полученные значения частот (длин волн) с известными спектрами отдельных элементов таблицы Менделеева, можно определить, какие химические элементы входят в состав исследуемого вещества.

Спектральный анализ широко применяется при поисках полезных ископаемых для определения химического состава образцов руды; в промышленности для контроля состава сплавов и примесей, вводимых в металлы для получения материалов с заданными свойствами; в медицине при проведении биохимического анализа крови.

Спектральный анализ позволяет определить химический состав космических тел, удаленных от нас на сотни миллионов и даже миллиарды световых лет. Исследование и анализ спектров

позволяют определить также температуру, давление излучающего газа, скорость движения космических объектов, индукцию магнитного поля среды, сквозь которую проходит излучение.

На вклейке VI изображен солнечный спектр поглощения. Впервые линии поглощения в спектре Солнца исследовал и описал в 1817 г. немецкий ученый Йозеф Фраунгофер (1787–1826). Он обратил внимание на то, что сплошной спектр Солнца содержит значительное число темных линий; установил, что линии эти не случайны и всегда присутствуют в спектре Солнца на строго определенных местах. Это линии поглощения газов различных элементов в атмосфере Солнца. Спектральный анализ показал, что Солнце (как и другие звезды) состоит из тех же химических элементов, какие известны на Земле. Гелий первоначально был открыт на Солнце, и лишь затем его обнаружили на Земле. Название этого элемента напоминает об истории его открытия: слово *гелий* означает «солнечный».

1. Какую гипотезу выдвинул М. Планк? 2. Как можно рассчитать энергию фотона? Поясните величины, входящие в эту формулу. 3. Чему равна скорость фотона? 4. С какой целью используется спектральный анализ?

1. В § 34 вы найдете формулировки постулатов Бора. Что можно объяснить, используя эти постулаты?
2. С помощью постулатов Бора объясните образование линейчатых спектров атома водорода в видимом диапазоне.
3. Приведите примеры применения спектрального анализа.
4. Используя вклейку VI, определите, содержатся ли в солнечном спектре водород и натрий.

1. Рассчитайте энергию фотонов, излучаемых радиопередатчиком, работающим на частоте 100 кГц.
2. Рассчитайте энергию фотона, длина волны которого соответствует рентгеновскому излучению с длиной волны $\lambda = 10^{-10}$ м.

§ 35. АТОМНОЕ ЯДРО

Протон. Частицы, входящие в состав атомных ядер, были обнаружены экспериментально с помощью бомбардировки веществ α -частицами. При этом из ядер вылетали частицы, входящие в их состав. Первой такой частицей, открытой Э. Резерфордом в 1919 г. при бомбардировке ядер В (бора), F (фтора), Na (натрия), Al (алюминия), P (фосфора), Ne (неона), Mg (магния) и других элементов, был **протон** (от греч. *protos* — первый, первичный), или ядро самого легкого водорода ${}^1\text{H}$ (обозначается также буквой *p*). Как вы знаете, протон имеет положитель-

ный заряд, равный модулю заряда электрона: $q_p = 1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл; масса протона $m_p = 1,6726485 \cdot 10^{-27}$ кг. В атомной и ядерной физике часто массу выражают в атомных единицах массы (а.е.м.). 1 а.е.м. = $1,6605 \cdot 10^{-27}$ кг, $m_p = 1,007276470$ а.е.м. Протоны входят в состав ядер атомов всех элементов. Протоны встречаются в свободном состоянии как ядра атома водорода. Протон и связанный с ним электрон образуют нейтральный атом водорода.

Заряд ядра. Точные измерения электрического заряда атомных ядер были выполнены в 1913 г. английским ученым Генри Мозли (1887—1915). Заряды ядер атомов различных химических элементов он определил по спектрам рентгеновского излучения, испускаемого ядрами атомов при облучении вещества потоком электронов высокой энергии. Мозли установил, что электрический заряд ядра атома равен произведению элементарного электрического заряда (заряда электрона e) на порядковый номер Z химического элемента в таблице Менделеева:

$$q = eZ.$$

Порядковый же номер химического элемента в таблице Менделеева определяется числом положительных зарядов в ядре этого элемента или числом электронов в оболочке нейтрального атома.

Нейtron. Если бы атомные ядра состояли только из протонов, то ядро химического элемента с порядковым номером Z должно было бы обладать электрическим зарядом $q = eZ$ и массой $m = Zm_p$. Однако это не так.

В 1932 г. английский ученый Джеймс Чэдвик (1891—1974) установил, что при облучении ядер атома бериллия α -частицами из ядра вылетают нейтральные частицы массой, близкой к массе протона. Эта частица была названа **нейтроном** (от лат. neutron — нейтральный). Нейтрон обозначается так: ${}_0^1n$. Масса нейтрона $m_n = 1,6749543 \cdot 10^{-27}$ кг = 1,008665012 а.е.м. (т. е. отличается от массы протона всего на 0,14%). Нейтроны в свободном виде в земных условиях практически не встречаются из-за их неустойчивости. Среднее время жизни нейтрона близко к 15,3 мин.

Протоны и нейтроны называют **нуклонами** (от лат. nucleus — ядро).

Протонно-нейтронная модель атомного ядра. Согласно протонно-нейтронной



Иваненко Дмитрий Дмитриевич (1904—1994) — советский физик. Работы посвящены теории ядра, единой теории поля, теории гравитации, истории физики. В 1932 г. предложил протонно-нейтронную модель ядра.

ной модели ядра, предложенной в 1932 г. советским ученым Д. Д. Иваненко и независимо от него немецким ученым Вернером Гейзенбергом (1901—1976), ядро атома любого химического элемента состоит из двух видов элементарных частиц: протонов и нейтронов. Впоследствии такое представление о ядре полностью подтвердилось. Число протонов в ядре равно порядковому номеру элемента в таблице Менделеева и обозначается знаком Z . Число нейтронов в ядре обозначается знаком N . Общее число протонов и нейтронов в ядре обозначается знаком A и называется **массовым числом**:

$$A = Z + N.$$

Изотопы.

Изотопы — атомы одного и того же химического элемента, имеющие одинаковое число протонов в ядре и разное число нейтронов (от греч. *isos* — одинаковый, *topos* — место).

Из-за разного числа нейтронов ядра различных изотопов одного химического элемента обладают разными массами и могут различаться по физическим свойствам. Из-за одинакового заряда ядра атомы разных изотопов одного химического элемента имеют одинаковое строение электронных оболочек и поэтому обладают одинаковыми химическими свойствами.

Обозначается изотоп символом химического элемента X с указанием слева вверху массового числа A и слева внизу числа протонов Z в атомном ядре: ${}^A_Z X$. Например, водород имеет три изотопа: ${}_1^1 H$ — протий (в ядре только один протон), ${}_1^2 H$ — дейтерий (в ядре один протон и один нейtron), ${}_1^3 H$ — тритий (в ядре один протон и два нейтрана).

Ядерные силы. Силы притяжения, связывающие протоны и нейтроны в атомном ядре, называют **ядерными силами**. Другое название этого взаимодействия — **сильное взаимодействие**. Наличие такого взаимодействия было подтверждено в 1919 г. опытами Резерфорда.

Ядерные силы являются **короткодействующими** силами. На расстояниях, не больших 10^{-15} м, сильное взаимодействие нуклонов значительно превышает электромагнитное и гравитационное, но с увеличением расстояния между нуклонами очень быстро убывает.

Энергия связи ядра. Особое значение в ядерной физике имеет понятие «энергия связи ядра».

Энергия, которая необходима для полного расщепления ядра на отдельные нуклоны, называется **энергией связи ядра**.

Эта энергия расходуется на совершение работы против действия ядерных сил притяжения между нуклонами.

Согласно закону сохранения энергии можно утверждать, что энергия связи ядра равна той энергии, которая выделяется при образовании ядра из свободных нуклонов.

Энергию связи ядра несложно оценить, если известна его масса и масса отдельных свободных частиц (протонов и нейтронов), входящих в состав ядра. Полная энергия любого тела и его масса связаны соотношением: $E = mc^2$ (закон взаимосвязи массы и энергии открыт Альбертом Эйнштейном в 1905 г.).

Измерение масс атомов и атомных ядер производится с помощью специального устройства — *масс-спектрометра* (с устройством и принципом действия этого прибора вы познакомитесь в старших классах). Точные измерения масс атомных ядер показали, что масса любого ядра, содержащего Z протонов и N нейтронов, меньше суммы масс свободных протонов и нейтронов:

$$m_{\text{я}} < Zm_p + Nm_n.$$

Отсюда найдем энергию связи $\Delta E_{\text{св}}$ как разность между свободной энергией протонов и нейтронов и собственной энергией ядра:

$\Delta E_{\text{св}} = Zm_p c^2 + Nm_n c^2 - m_{\text{я}} c^2 \Rightarrow \Delta E_{\text{св}} = (Zm_p + Nm_n - m_{\text{я}}) c^2$.
Здесь разность между суммой масс нуклонов и массой ядра: $(Zm_p + Nm_n - m_{\text{я}}) = \Delta M$.

Уменьшение массы при образовании ядра из нуклонов ΔM получило название **дефект массы**. Дефект массы служит мерой энергии связи ядра: чем больше дефект массы, тем выше энергия связи ядра и тем устойчивее ядро.

Отношение энергии связи ядра к числу нуклонов A в ядре называется **удельной энергией связи** нуклонов в ядре.

Удельная энергия связи нуклона в атоме углерода $^{12}_6\text{C}$:

$$(\varepsilon_{\text{св}})_1 = 12,3 \cdot 10^{-13} \text{ Дж/нуклон.}$$

Максимальная удельная энергия связи у изотопа никеля $^{62}_{28}\text{Ni}$ и изотопа железа $^{56}_{26}\text{Fe}$, наиболее стабильных из всех ядер. Для изотопа никеля удельная энергия связи равна

$$\varepsilon_{\text{св}} = 14,1 \cdot 10^{-13} \text{ Дж/нуклон.}$$

Высокая энергия связи ядра железа объясняет широкую распространенность железа во Вселенной. У тяжелых элементов энергия связи ядер уменьшается из-за кулоновского отталкивания протонов.

- ?
1. Чему равны заряд и масса протона? Как обозначается протон?
 2. Как определяется электрический заряд ядра атома?
 3. Чему равны заряд и масса нейтрона? Как обозначается нейtron?
 4. Что понимают под изотопами? Какие изотопы водорода вам известны?
 5. Чему равен радиус действия сил сильного взаимодействия?
 6. Что понимают под энергией связи ядра?

- 1. Рассчитайте число электронов, протонов и нейтронов у изотопа урана $^{238}_{92}\text{U}$.
- 2. Хлор имеет два изотопа: $^{35}_{17}\text{Cl}$ и $^{37}_{17}\text{Cl}$. Объясните, чем различаются ядра изотопов хлора.
- 3. Кислород имеет три изотопа: $^{16}_{8}\text{O}$, $^{17}_{8}\text{O}$ и $^{18}_{8}\text{O}$. Укажите, чем различаются ядра изотопов кислорода.

§ 36. РАДИОАКТИВНОСТЬ. АЛЬФА-, БЕТА- И ГАММА-ИЗЛУЧЕНИЯ

Открытие радиоактивности. В настоящее время известно около 2500 ядер изотопов различных химических элементов. Примерно 90% из них нестабильны. Они самопроизвольно распадаются на более легкие ядра и частицы. Стабильные изотопы встречаются только у элементов с $Z \leq 83$.

Радиоактивность — явление самопроизвольного превращения одних ядер в другие с испусканием различных частиц (от лат. *radio* — излучаю).

В 1896 г. французский ученый Антуан Анри Беккерель (1852—1908), изучая действие различных веществ на фотопластинку, открыл радиоактивность. Беккерель экспериментировал с солями урана. У него возник вопрос: не появляются ли после облучения солей урана наряду с видимым светом и рентгеновские лучи? Беккерель завернул фотопластинку в плотную черную бумагу, положил сверху крупинки урановой соли и выставил на яркий солнечный свет. После проявления пластиинка покернела на тех участках, где лежала урановая соль. Значит, уран создавал какое-то излучение, пронизывающее непрозрачные тела и действующее на фотопластинку. Беккерель считал, что это излучение возникает под действием солнечного света. Но в 1896 г. провести очередной эксперимент ему не удалось. Беккерель убрал пластиинку в ящик стола, положив на нее сверху медный крест, покрытый солью урана. Проявив пластиинку некоторое

Склодовская-Кюрий Мария (1867—1934) — польский и французский физик и химик. Работы посвящены радиоактивности и ее применению. Испытывала много элементов на радиоактивность, исследовала их свойства, разработала методы радиоактивных измерений, установила влияние радиоактивного излучения на живую клетку. Первой ввела термин «радиоактивность».

Удостоена Нобелевской премии по физике в 1903 г. за исследования явления радиоактивности, в 1911 г. по химии за открытие радия и полония, получение радия в металлическом состоянии.





Кюри Пьер (1859—1906) — французский физик. Исследования посвящены физике кристаллов, магнетизму, радиоактивности. В 1898 г. (совместно со Склодовской-Кюри) открыл новые радиоактивные элементы — полоний и радий. В 1901 г. обнаружил биологическое действие радиоактивного излучения. В 1903 г. открыл закон снижения радиоактивности, ввел понятие периода полураспада и показал его независимость от внешних условий. Предложил использовать период полураспада как эталон для установления возраста земных пород. Организовал промышленную добычу радия из урановой руды. Удостоен Нобелевской премии 1903 г. за исследования радиоактивности радия.

время спустя, он обнаружил на ней почернение в форме отчетливой тени креста. Это означало, что соли урана самопроизвольно, без влияния внешних факторов создают какое-то излучение.

Не обладают ли способностью к самопроизвольному излучению другие химические элементы, кроме урана? В 1898 г. Мария Склодовская-Кюри во Франции и другие ученые обнаружили излучение тория. В дальнейшем главные усилия в поисках новых элементов были предприняты Марией Склодовской-Кюри и Пьером Кюри. Исследования руд, содержащих уран и торий, позволили им выделить новый неизвестный ранее химический элемент — полоний (назван так в честь родины Склодовской-Кюри — Польши). Был открыт еще один элемент, названный радием. Радий по своим химическим свойствам относится к щелочно-земельным элементам. Радий занимает в таблице Менделеева клетку под номером 88 (до открытия Кюри эта клетка пустовала).

Нестабильными радиоактивными являются тяжелые ядра с порядковым номером $Z > 83$ или массовым числом $A > 209$, которые могут самопроизвольно распадаться.

Различают естественную и искусственную радиоактивность. *Естественная радиоактивность* — радиоактивность, наблюдаемая у неустойчивых изотопов, существующих в природе. *Искусственная радиоактивность* — радиоактивность изотопов, полученных искусственным путем из стабильных элементов.

Альфа-, бета- и гамма-излучения. Сложный состав радиоактивного излучения был обнаружен экспериментально. Препарат радия помешали на дно узкого канала в куске свинца. Против канала находилась фотопластинка. На выходящее из канала излучение действовало сильное магнитное поле, линии магнитной индукции которого были перпендикулярны излучению. Вся установка размещалась в вакууме. В отсутствие магнитного поля на фотопластинке после проявления обнаруживалось одно темное пятно, точно напротив канала (рис. 189, а). В магнитном поле пучок распадался на три пучка (рис. 189, б). Эти три вида

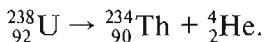
излучения получили названия по первым буквам греческого алфавита: α -, β -, γ -излучения.

Позднее была изучена физическая природа этих видов излучения.

Накапливая α -частицы, появляющиеся в результате радиоактивного излучения, внутри специального резервуара на протяжении нескольких дней, Резерфорд с помощью спектрального анализа убедился в том, что в сосуде накапливается гелий.

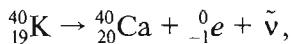
Альфа-излучение — это выброс ядер атомов гелия.

При вылете α -частицы число протонов в ядре уменьшается на два и продукт α -распада оказывается ядром элемента с порядковым номером на две единицы меньше исходного, а массовое число ядра-продукта меньше массового числа исходного ядра на четыре единицы. Например, продуктом α -распада ядра изотопа урана является ядро изотопа тория:



Бета-излучение — поток электронов, движущихся со скоростью, близкой к скорости света.

Ядро, образовавшееся в результате β -распада, оказывается ядром одного из изотопов элемента с порядковым номером в таблице Менделеева, на единицу большим порядкового номера исходного ядра. Массовое число ядра — продукта β -распада — остается прежним, так как число нуклонов в ядре не изменяется. Но один нейтрон превращается в протон, так что положительный заряд возрастает. Это согласуется с законом сохранения электрического заряда, поскольку один отрицательный элементарный заряд уносится электроном. Например, при β -распаде изотопа калия продуктом распада является изотоп кальция:



где $\tilde{\nu}$ — элементарная частица, называемая антинейтрино.

Гамма-излучение — поток квантов электромагнитного излучения (фотонов) с очень большой энергией.

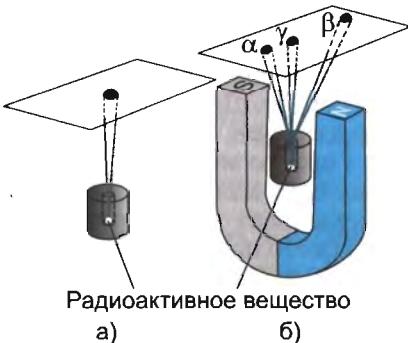


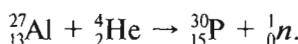
Рис. 189

Эти три вида излучения сильно различаются по проникающей способности (т. е. по-разному поглощаются веществами). Наименьшей проникающей способностью обладает альфаизлучение. Для него слой бумаги толщиной около 0,1 мм уже непрозрачен.

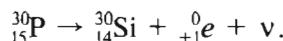
Гораздо меньше поглощается при прохождении через вещество бета-излучение. Алюминиевая пластина полностью его задерживает только при толщине несколько миллиметров.

Наибольшей проникающей способностью обладает гаммаизлучение. Слой свинца толщиной 1 см не является для него непреодолимой преградой.

Искусственную радиоактивность в 1934 г. обнаружили французские ученые Фредерик Жолио-Кюри (1900—1958) и Ирен Жолио-Кюри (1897—1956) при облучении потоком α -частиц ядра изотопа алюминия. В результате реакции образуется изотоп фосфора и испускается свободный нейтрон:



Полученный изотоп фосфора оказался радиоактивным. В результате его распада возникает изотоп кремния, позитрон (частица с массой электрона, имеющая положительный заряд, по модулю равный заряду электрона) и нейтрино ν :



Опыты показали, что искусственные радиоактивные изотопы могут быть получены у всех без исключения элементов.

 **Закон радиоактивного распада.** Распад большого числа ядер любого радиоактивного изотопа подчиняется закону, который записывается в следующем виде:

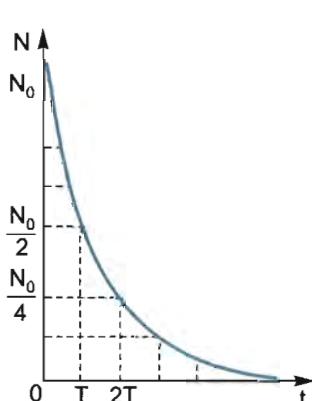


Рис. 190

$$N = N_0 \cdot 2^{-\frac{t}{T}}.$$

Это уравнение носит название **закона радиоактивного распада**.

В этом законе N — число нераспавшихся атомов, N_0 — число радиоактивных атомов в начальный момент времени, T — период полураспада (промежуток времени, в течение которого распадается половина всех имеющихся радиоактивных атомов). Период полураспада — основная величина, характеризующая скорость радиоактивного распада. t — время, протекшее от начала распада.

На рисунке 190 показан график зависимости числа распавшихся радиоактивных ядер от времени распада.

Период полураспада для различных элементов колеблется от миллионных долей секунды до миллиардов лет.

В таблице 7 приведены значения периодов полураспада некоторых радиоактивных изотопов.

Таблица 7

Период полураспада некоторых радиоактивных изотопов

Химический элемент	Обозначение	Период полураспада
Водород (тритий)	${}^3_1\text{H}$	12,3 года
Железо	${}^{59}_{26}\text{Fe}$	45 сут.
Кальций	${}^{45}_{20}\text{Ca}$	165 сут.
Натрий	${}^{24}_{11}\text{Na}$	15,4 ч
Полоний	${}^{210}_{84}\text{Po}$	138 сут.
Плутоний	${}^{239}_{94}\text{Pu}$	$2,4 \cdot 10^4$ лет
Углерод	${}^{14}_6\text{C}$	20 мин
Углерод	${}^{14}_6\text{C}$	5600 лет
Уран	${}^{234}_{92}\text{U}$	$2,5 \cdot 10^5$ лет
Уран	${}^{235}_{92}\text{U}$	$7,1 \cdot 10^8$ лет
Уран	${}^{238}_{92}\text{U}$	$4,5 \cdot 10^9$ лет

Сравнивая содержание различных изотопов в веществе и зная период их полураспада, ученые устанавливают время возникновения вещества. Например, в археологии для определения возраста растительных окаменелостей или костей изменяется содержание радиоактивного изотопа углерода, а по относительному содержанию изотопов урана можно определить возраст пород Земли и Луны (он составляет несколько миллиардов лет!).

? 1. Что такое радиоактивность? 2. Какие виды радиоактивности вы знаете? Чем они различаются? 3. Кто из ученых открыл естественную радиоактивность и при каких обстоятельствах это произошло? 4. Кто из ученых открыл полоний и радий? 5. Какова природа альфа-, бета- и гамма-излучений? 6. Кто из уче-

ных и когда открыл искусственную радиоактивность? * 7. Приведите математическую запись закона радиоактивного распада. Поясните величины, входящие в формулу. * 8. «Период полу-распада изотопа железа равен 45 суток». Что означает это утверждение?

● 1. Используя текст § 36 и рисунок 189, расскажите о том, как был обнаружен сложный состав радиоактивного излучения.

2. С помощью рисунка 191 расскажите о проникающей способности α -, β - и γ -излучений.

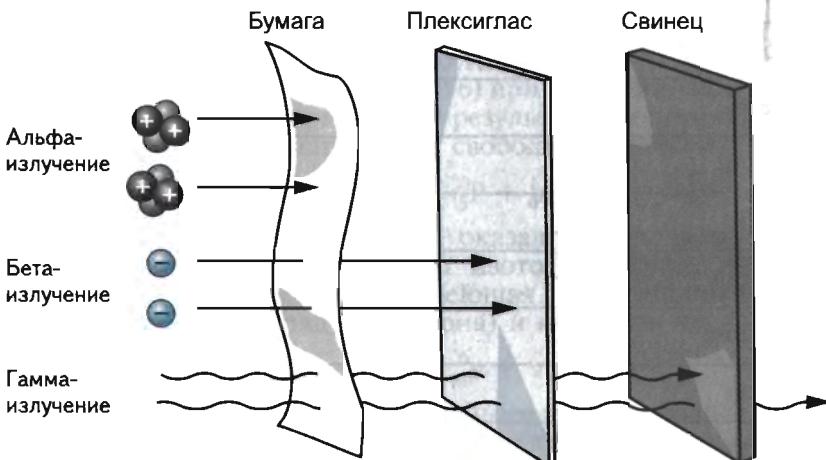
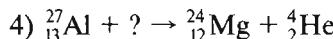
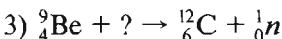
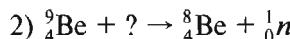
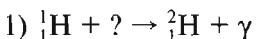
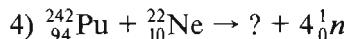
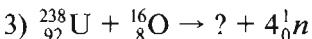
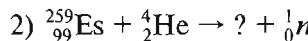
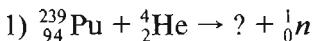


Рис. 191. Различная проникающая способность α -, β -, γ -излучений

3. Какие из написанных ниже реакций вызываются α -частицами, протонами, нейtronами и фотонами?



4. Какие химические элементы, названные в честь ученых, были получены в результате следующих реакций?



§ 37. ДЕЛЕНИЕ ЯДЕР УРАНА

Деление ядер урана. В 1938 г. немецкие ученые Отто Ган (1879–1968) и Франц Штассманн (1902–1980) наблюдали деление ядра урана ${}_{92}^{235}U$ при облучении урана нейтронами.

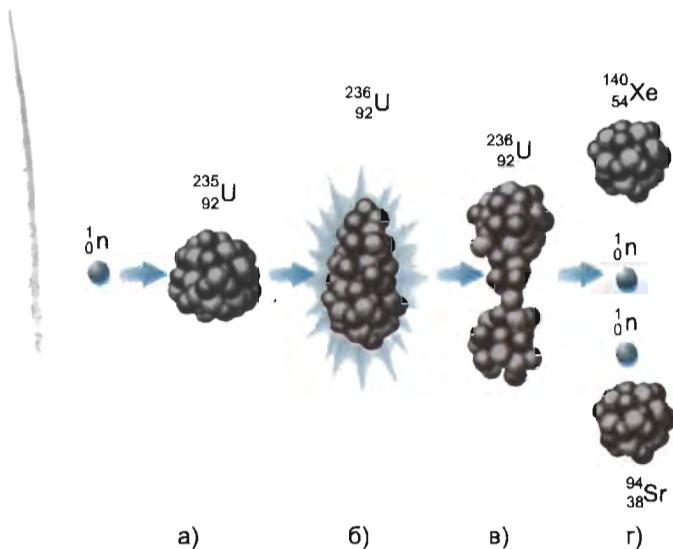
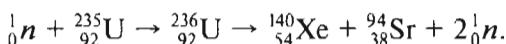


Рис. 192. Деление ядер урана

Поскольку нейтрон не имеет электрического заряда, то он беспрепятственно проникает в атомное ядро (рис. 192, *а*). Захват нейтрона нарушает стабильность ядра, обусловленную балансом сил кулоновского отталкивания и ядерного притяжения (рис. 192, *б*). В результате захвата нейтрона ядром урана $^{235}_{92}\text{U}$ образуется неустойчивое ядро урана $^{236}_{92}\text{U}$. Поглотив лишний нейтрон, ядро возбуждается и деформируется, приобретая вытянутую форму (рис. 192, *в*). Поскольку ядерные силы короткодействующие, то в вытянутом ядре они уже не могут удерживать удаленные друг от друга части ядра. Под действием электростатических (кулоновских) сил отталкивания ядро разрывается на две части (рис. 192, *г*) — на два ядра-осколка. Массы ядер-осколков отличаются друг от друга примерно в 1,5 раза. Большинство крупных осколков имеет массовое число *A* в пределах от 135 до 145, а мелких — от 90 до 100. В результате реакции деления ядра урана образуются два или три свободных нейтрона.

Типичным примером реакции деления ядра с образованием двух свободных нейтронов (реакции превращения атомных ядер при взаимодействии с элементарными частицами) является следующая ядерная реакция :



Оба возникающих ядра-осколка — ксенон и стронций обладают чрезмерным избытком нейтронов и претерпевают многократные β -распады, в результате которых получаются стабильные изотопы церия и циркония.

Энергия, выделяющаяся при делении одного ядра урана, равна около $3,2 \cdot 10^{-11}$ Дж, что примерно в 2 млн раз больше энергии сгорания такой же массы нефти. Однако число атомов и ядер очень велико. Так, в 1 кг урана содержится $2,5 \cdot 10^{24}$ атомов. Поэтому при делении всех ядер этих атомов могла бы выделяться энергия, равная $8 \cdot 10^{13}$ Дж. Эта энергия эквивалентна энергии взрыва взрывчатого вещества — тринитротолуола массой 20 000 т. Носителями энергии, выделяющейся при делении ядер урана, являются: **ядра-осколки**, разлетающиеся при делении с большими скоростями (около 90% всей энергии); **быстрые нейтроны**, выброшенные из ядра при его делении; γ -излучение; α - и β -частицы, выбрасываемые при дальнейшем преобразовании ядер-осколков.

* В 1940 г. советские физики К. А. Петржак и Г. Н. Флеров в результате сложных экспериментов с небольшим количеством урановой руды сделали открытие фундаментальной важности. Они установили, что ядра урана могут делиться спонтанно (самопроизвольно) и без облучения нейтронами. Это открытие дало возможность овладеть атомной энергией, и прежде всего создать взрывное устройство невероятной мощности — атомную бомбу.

Дальнейшие эксперименты показали, что спонтанное деление это основной процесс, определяющий устойчивость и время существования тяжелых атомных ядер.

Цепная реакция деления ядер урана. После исходного деления образующиеся нейтроны могут быть захвачены другими ядрами урана, которые при этом также делятся, образуя уже удвоенное число новых нейтронов. Эти нейтроны могут вызвать дальнейшее деление ядер урана. Происходит

цепная реакция — лавинное нарастание числа расщепившихся атомов урана.

Впервые предположение о возможности осуществления цепных ядерных реакций высказал Ф. Жолио-Кюри в 1934 г. Он же в 1939 г. вместе с немецким ученым Хансом Халбаном (1908—1964) и французским ученым Львом Коварским (1907—1979) экспериментально обнаружил, что при делении ядра урана, кроме ядер-осколков, вылетают 2—3 свободных нейтрона.

Нейтроны, освобождающиеся при делении ядер урана, способны вызывать деление лишь ядер урана с массовым числом 235. Для разрушения же ядер изотопа урана с массовым числом 238 их энергия оказывается недостаточной. Природный уран в основном состоит из двух изотопов: 99,3% урана с массовым числом 238 и 0,7% урана с массовым числом 235. Поэтому первый воз-

можный путь осуществления цепной ядерной реакции деления связан с разделением изотопов урана и получением в чистом виде в достаточно больших количествах изотопа с массовым числом 235. Необходимым условием осуществления цепной реакции является наличие достаточно большой массы урана, так как в образце малых размеров большинство нейтронов пролетает сквозь образец, не попадая ни в одно ядро. Минимальная масса урана, в котором может произойти цепная реакция, называется **критической массой**. Критическая масса для изотопа $^{235}_{92}\text{U}$ равна 48 кг, для плутония $^{239}_{94}\text{Pu}$ — около 10 кг.

Простейший способ осуществления цепной реакции может быть таким: изготавливаются два куска металлического урана-235, каждый массой, несколько меньшей критической. Цепная реакция в каждом из них в отдельности невозможна. Если же быстро соединить эти куски, то развивается цепная реакция и выделяется огромная энергия, происходит **ядерный взрыв**. Во время взрыва температура достигает миллионов градусов, сам уран и любые другие вещества, находящиеся поблизости, превращаются в пар. Раскаленный газообразный шар быстро расширяется, образуя мощную ударную волну, разрушая и сжигая все на своем пути.

Цепная ядерная реакция осуществляется в атомной бомбе.

Первая атомная бомба была испытана в США 16 июля 1945 г. Две атомные бомбы в 1945 г. были сброшены американской авиацией на японские города Хиросима (6 августа), Нагасаки (9 августа) и вызвали огромные жертвы и колоссальные разрушения.

В СССР первая атомная бомба была испытана 23 сентября 1949 г.

*** Устройство атомной бомбы.** Принципиальная схема первой советской атомной бомбы изображена на рисунке 193. (Советская атомная бомба была аналогом американской атомной бомбы Fat Man.)

Атомная бомба представляла собой снаряд грушевидной формы с максимальным диаметром 127 см, длиной (со стабилизатором) 325 см и массой около 4500 кг.

Нейтронный инициатор представлял собой полониево-бериллевую систему радиусом 10 мм. Делящимся материалом бомбы являлся плутоний плотностью

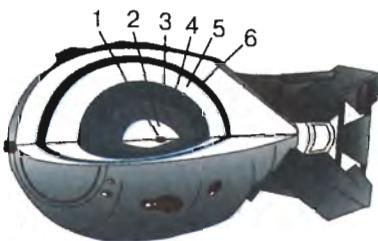


Рис. 193. Устройство первой советской бомбы:

- 1 — нейтронный инициатор;
- 2 — делящийся материал (плутоний);
- 3 — металлический уран-238;
- 4 — алюминий;
- 5 — взрывчатое вещество и фокусирующая система;
- 6 — дуралюминиевый корпус

15,8 г/см³. Внешний диаметр плутониевого шара составлял 80—90 мм.

Плутониевое ядро находилось внутри полого шара из металлического урана с внешним диаметром 230 мм. Наружная граница была покрыта слоем бора. Металлический уран содержался внутри алюминиевой оболочки — полого шара с наружным диаметром 460 мм.

За слоем алюминия находился слой взрывчатого вещества с фокусирующей линзовой системой, состоящей из 32 блоков специальной формы. Общая масса взрывчатого вещества составляла около 2 т.

? 1. Назовите носители энергии при делении ядер урана. 2. Какая реакция называется цепной реакцией деления? 3. При каком условии возможна цепная реакция? 4. Где используется управляемая ядерная реакция? 5. Какие последствия вызывает ядерный взрыв? 6. Когда были испытаны первые атомные бомбы?

- 1. С помощью рисунка 192 расскажите, как происходит исходное деление ядра урана.
- ★ 2. Сколько β -распадов должен испытать изотоп ксенона, чтобы превратиться в стабильный изотоп церия? Запишите в виде реакций.
- ★ 3. Сколько β -распадов должен испытать изотоп стронция, чтобы превратиться в стабильный изотоп циркония? Запишите в виде реакций.

§ 38. ЯДЕРНАЯ ЭНЕРГЕТИКА

Ядерный реактор. Для протекания управляемой цепной реакции необходимо регулировать число нейтронов, вылетающих при делении ядер и способных поглощаться ядерным топливом.

Ядерный реактор — устройство, в котором происходит выделение энергии в результате управляемой цепной реакции деления ядер.

Впервые управляемая цепная реакция деления ядер урана была осуществлена в США группой физиков под руководством итальянского ученого Энрико Ферми (1901—1954). 2 декабря 1942 г. впервые ими же был осуществлен запуск первого ядерного реактора. В настоящее время в мире работает около тысячи ядерных реакторов различного типа и назначения.

На рисунке 194 изображена принципиальная схема ядерного реактора.

Ядерное топливо (уран $^{235}_{92}\text{U}$ и $^{238}_{92}\text{U}$, плутоний $^{239}_{94}\text{Pu}$) располагается в активной зоне в виде вертикальных стержней 1, называемых *тепловыделяющими элементами*. В активной зоне может находиться до 90 000 стержней.

Во время цепной реакции образуются быстрые нейтроны. Для того чтобы их последующее взаимодействие с ядрами $^{235}_{92}\text{U}$ было эффективно, их замедляют, вводя в активную зону *замедлитель нейтронов* 2 — вещество, уменьшающее кинетическую энергию нейтронов. В качестве замедлителя нейтронов чаще всего используется обычная (H_2O) или тяжелая вода (D_2O — читается «дейтерий два о»), графит.

Для уменьшения утечки нейтронов активную зону окружают *отражателем нейтронов* 3 — оболочкой, отражающей нейтроны внутрь зоны.

Управление скоростью цепной реакции деления ядер осуществляется с помощью передвижения в активной зоне *регулирующих стержней* 4. Стержни содержат кадмий или карбид бора (т. е. вещества, которые являются поглотителями нейтронов). При увеличении глубины погружения регулирующих стержней в активную зону возрастает число поглощаемых нейтронов, вследствие этого цепная реакция ослабевает. Если полностью погрузить стержни в активную зону, то цепная реакция может прекратиться.

Для защиты персонала, обслуживающего ядерный реактор, от мощного потока нейтронов, γ -излучения предусмотрена *радиационная защита* 5. В качестве радиационной защиты используется бетон с наполнителями.

На рисунке 195 показаны процессы образования нептуния и плутония в ядерных реакторах.

При захвате ядром урана с массовым числом 238 нейтрона образуется изотоп урана с массовым числом 239. В результате β -распада возникает изотоп нептуния с массовым числом 239. При β -распаде нептуния возникает изотоп плутония с массовым числом 239. Примерно через год $\frac{1}{3}$ урана-238 в реакторе превращается в плутоний, который можно использовать как ядерное топливо в реакторах для получения ядерного горючего.

Ядерные реакторы применяются в силовых установках подводных лодок, кораблей, используются для научных и меди-

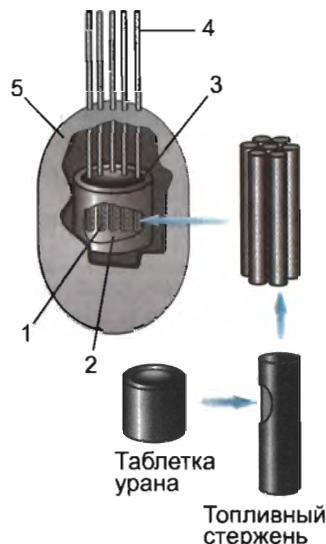


Рис. 194

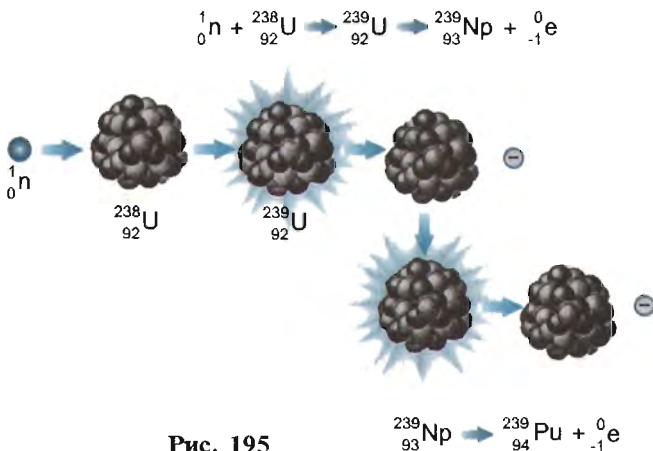


Рис. 195

цинских целей, для получения искусственных радиоактивных изотопов.

Атомная электростанция. Ядерный реактор является основным элементом атомной электростанции (АЭС), преобразующей ядерную энергию в электрическую. Путь же превращения энергии в электрический ток остается традиционным и сложным.

Схема превращения энергии в электрический ток



На рисунке 196 приведена схема работы атомной электростанции. Для отвода энергии, образующейся при работе ядерного реактора, необходим *теплоноситель*. В качестве теплоносителя используется вода, жидкий натрий и др.

В мощных реакторах активная зона нагревается до 300 °C. Чтобы вода не закипала, она выводится из активной зоны в парогенератор под высоким давлением порядка 10 МПа. В парогенераторе радиоактивная вода (теплоноситель), циркулирующая в первом контуре, отдает энергию обычной воде, циркулирующей во втором контуре. Передаваемая энергия превращает воду во втором контуре в пар. Пар температурой около 230 °C под высоким давлением направляется на лопасти паровой турбины, а она вращает ротор генератора электрической энергии. Конденсация отработанного пара происходит в пароконденсаторе, где он охлаждается и вновь превращается в воду.

В СССР первый ядерный реактор был запущен в 1946 г. в Москве под руководством И. В. Курчатова. Под его же руководством развивались исследования в различных областях ядерной физики, в атомной науке и технике, введена первая в

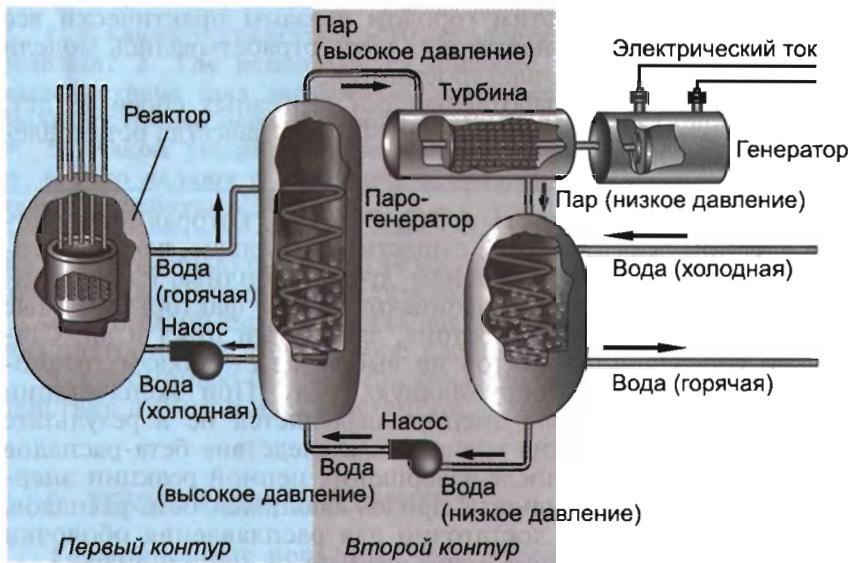


Рис. 196

мире атомная станция мощностью всего 5 МВт. Она была построена в 1954 г. в г. Обнинске Московской области (см. вклейку VIII).

Вырабатываемой ею энергии было достаточно, чтобы осветить 10 тысяч квартир. По современным меркам это немного, однако это был прорыв — прорыв науки и технологий.

Опыт эксплуатации Обнинской станции пригодился при проектировании АЭС малой мощности для снабжения теплом и электричеством труднодоступные и удаленные районы страны.

В Обнинске был разработан реактор на быстрых нейтронах, который сейчас используется в некоторых моделях атомных

Курчатов Игорь Васильевич (1903—1960) — советский физик. Первые работы посвящены электропроводности твердых тел. Внес существенный вклад в изучение электрических свойств кристаллов. С 1932 г. занимался изучением ядерной физики. В 1940 г. доказал возможность цепной ядерной реакции. Организатор науки. Под его руководством сооружен первый в СССР циклотрон (1944 г.), первый в Европе атомный реактор (1946 г.), созданы атомная (1949 г.) и термоядерная (1953 г.) бомбы, построена первая в мире атомная электростанция (1954 г.), начаты исследования по управляемому термоядерному синтезу. Имя И. В. Курчатова носит созданный им Институт атомной энергии, имя его значится на карте Луны.



подводных лодок. С этим городом связаны практически все открытия в атомной энергетике: здесь отрабатывались модели других, более мощных электростанций.

Первая АЭС, проработавшая без серьезных сбоев 48 лет, приказом руководства Минатома РФ была навсегда остановлена 29 апреля 2002 г.

★ **Ядерная безопасность АЭС.** Энергия, которая выделяется в ядерном реакторе АЭС, существенно больше, чем при сгорании угля, природного газа или другого топлива. Радиационную защиту реактора обеспечивают многие факторы: толстые стены и корпус из железобетона, замкнутый цикл и др. Стабильно работающий реактор не выбрасывает никаких радиоактивных изотопов в окружающую среду. При эксплуатации АЭС значительная доля энергии выделяется не в результате цепной реакции деления урана, а как следствие бета-распадов ядер-осколков. Даже после завершения цепной реакции энергия выделяется в результате продолжающихся бета-распадов. Этой энергии вполне достаточно для расплавления оболочки реактора, если не принять меры защиты.

В 1986 г. в реакторе четвертого энергоблока Чернобыльской АЭС избыточное число регулирующих стержней было удалено из активной зоны реактора. Мощность реактора за 4 с выросла в 100 раз по сравнению с нормальной. Взрыв пара разгерметизировал трубы системы охлаждения и повредил бетонную плиту радиационной защиты. Графитовый замедлитель нейтронов от избыточного энерговыделения сгорел за несколько дней, так как не были приняты меры защиты.

После аварии на Чернобыльской АЭС на территории Российской Федерации в 14 областях и в Республике Мордовии образовались зоны загрязнения радиоактивным цезием-137, стронцием-90. По воздействию на окружающую природную среду аварию на Чернобыльской АЭС следует рассматривать как атомную бомбу. Она нанесла непоправимый ущерб земельным ресурсам: сотни гектаров сельскохозяйственных и лесных угодий, обширная сеть водных источников практически навсегда выведены из строя.

В результате работы АЭС возникают ядерные отходы. Радиоактивность отработанных тепловыделяющих элементов остается высокой и представляет опасность для людей спустя даже 25 000 лет. Это основной недостаток АЭС. Ядерные отходы хранят в жидком виде в цистернах из нержавеющей стали, окружённых бетоном. Наиболее активные отходы остекловывают и хранят в глубоких шахтах под землей.

В России размещаются полигоны для захоронения отходов, не только с российских территорий, но и с территорий бывших союзных республик и тех стран, где сооружены ядерные энергетические объекты по советской технологии.

-
- ? 1. В каких устройствах осуществляется управляемая ядерная реакция? 2. Где используются ядерные реакторы? 3. Когда в нашей стране был запущен ядерный реактор? 4. Когда и где была построена первая в мире атомная электростанция (АЭС)?
 - * 5. Какой ущерб нанесла авария на Чернобыльской АЭС?
 - * 6. Что делают с ядерными отходами, образующимися в результате работы АЭС?
-

- 1. С помощью рисунка 194 расскажите о назначении основных элементов ядерного реактора.
- 2. С помощью рисунка 195 расскажите, как образуется изотоп плутония в активной зоне ядерного реактора.
- 3. С помощью схемы и рисунка 196 расскажите о принципе действия атомной электростанции.

§ 39. ТЕРМОЯДЕРНЫЙ СИНТЕЗ

Термоядерные реакции. Человечество овладело энергией деления тяжелых атомных ядер. Однако энергия, выделяющаяся при синтезе (слиянии легких ядер), в несколько раз больше на единицу массы топлива. Трудность осуществления этих реакций в том, что слияние ядер происходит только под действием ядерных сил притяжения. Поэтому ядра должны быть сближены на расстояние, на котором действуют ядерные силы (оно порядка 10^{-15} м). Сближению на такое расстояние препятствуют кулоновские силы отталкивания положительно заряженных ядер. Для преодоления кулоновских сил отталкивания ядра должны обладать очень большой кинетической энергией.

Кинетическая энергия ядер зависит от температуры. Реакция слияния легких ядер может протекать при температуре выше десятков сотен миллионов градусов. При такой температуре газы полностью ионизуются и переходят в состояние плазмы.

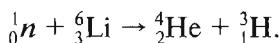
Ядерные реакции, происходящие при очень высокой температуре, называются термоядерными реакциями (от лат. *therme* — тепло).

Термоядерный синтез — реакция, в которой при высокой температуре из легких ядер синтезируются более тяжелые.

Управляемый термоядерный синтез. Если бы удалось осуществить управляемый термоядерный синтез, то человечество получило бы практически неисчерпаемый источник энергии. Дейтерий содержится в воде морей и океанов, тритий можно получить в ядерном реакторе в результате облучения

жидкого лития. Как было сказано ранее, при нагревании газа до температуры 10 млн градусов и выше атомы ионизуются. Для удержания плазмы необходимо создать сильное магнитное поле. Российские ученые А. Д. Сахаров и И. Е. Тамм предложили применять плазменную конфигурацию в форме бублика (тора), которая используется в установке «Токамак». В этой установке удалось нагреть плазму до температуры 13 млн градусов. Однако удержать возникающую при этом плазму в течение длительного времени, необходимого для поддержания термоядерной реакции, не удалось. Физики исследуют и другие пути получения и удерживания сверхгорячей плазмы.

★ **Водородная бомба.** Неуправляемый термоядерный синтез удалось осуществить при взрыве водородной (термоядерной) бомбы. Термоядерным зарядом явилось вещество дейтерий лития ^6LiD . В его состав, помимо дейтерия, входит изотоп лития ^7Li . В качестве запала используется атомная бомба. Сначала происходит взрыв атомной бомбы. Он сопровождается резким ростом температуры, электромагнитным излучением, а также возникновением мощного потока нейтронов. В результате реакции нейтронов с изотопом лития образуются гелий и тритий:



Наличие дейтерия и лития при высокой температуре во время взрыва водородной (термоядерной) бомбы инициирует термоядерную реакцию, в результате которой выделяется значительное количество энергии (см. вклейку VII).

Первая водородная бомба была испытана в СССР в 1953 г.

★ **Термоядерные реакции в Солнце и звездах, или почему светят звезды.** С физической точки зрения причина, по которой Солнце и звезды излучают свет, очень проста: они светятся как любые горячие тела, поскольку их внешние слои нагреты до нескольких тысяч градусов (на Солнце почти до 6 тыс. градусов). Но закон сохранения энергии выполняется во Всеянной повсеместно, и, теряя энергию на излучения, Солнце, казалось бы, должно медленно остывать. Однако этого не происходит и еще миллиарды лет не будет происходить.

Действительно, возраст Солнца оценивается в 4,5–5 млрд лет. При этом в прошлом оно было практически таким же ярким и горячим, о чем говорят, например, геологические свидетельства наличия жидкой воды на Земле более 3 млрд лет назад, а потому Земля должна была быть теплой. Примерно такой же возраст насчитывают и найденные самые древние останки микроорганизмов. До середины XX в. было непонятно, за счет какой энергии Солнце светит продолжительное время и как долго оно еще останется мощным источником энергии. Лишь с развитием физических представлений о ядерных взаи-

модействиях, с одной стороны, и о химическом составе и внутреннем строении Солнца и звезд — с другой, удалось найти решение этой проблемы.

Вы знаете, что основное вещество, входящее в состав Солнца (около 70%), — это самый легкий газ — водород, находящийся в его недрах под очень высоким давлением. Около 28% принадлежит гелию, а остальные 2% — более тяжелым элементам. Как показали расчеты, в недрах Солнца и звезд температура составляет около 15 млн градусов, а при такой температуре термоядерные реакции слияния легких ядер просто неизбежны. Именно эти реакции и дают энергию, достаточную для того, чтобы миллиарды лет поддерживать излучение Солнца и звезд.

Внутри Солнца выделяется горячее ядро размером примерно $\frac{1}{4}$ радиуса Солнца, в котором и происходит термоядерная реакция образования гелия при последовательном слиянии ядер водорода (протонов).

В большинстве случаев ($\approx 70\%$) она состоит из следующих трех реакций:

1. ${}^1\text{H} + {}^1\text{H} \Rightarrow {}^2\text{H} + {}^0_+e + \nu + E_1$.
2. ${}^2\text{H} + {}^1\text{H} \Rightarrow {}^3\text{He} + \gamma + E_2$.
3. ${}^3_2\text{He} + {}^3_2\text{He} \Rightarrow {}^4\text{He} + {}^1\text{H} + {}^1\text{H} + E_3$.

В этих реакциях ${}^1\text{H}$ — протон, ${}^2\text{H}$ — ядро дейтерия, ${}^3_2\text{He}$ и ${}^4_2\text{He}$ — изотопы гелия, ${}^0_+e$ (e^+) — позитрон, ν — нейтрино, γ — гамма-квант, E_1 , E_2 и E_3 — выделившаяся энергия.

Масса ядра гелия меньше суммы масс четырех протонов на $\Delta M \approx 4,8 \cdot 10^{-29}$ кг. Этому дефекту массы соответствует энергия связи $E_{\text{св}} = \Delta Mc^2 = 4,3 \cdot 10^{-12}$ Дж, выделяющаяся при образовании одного ядра гелия из четырех ядер водорода. Сопоставим теперь эту величину с мощностью излучения Солнца P_C , которая равна $4 \cdot 10^{26}$ Дж/с. Разделив P_C на $E_{\text{св}}$, обнаружим, что для поддержания излучения Солнца требуется, чтобы каждую секунду из водорода образовывалось около 10^{38} атомов, или $7 \cdot 10^{11}$ кг, гелия. В году примерно $3 \cdot 10^7$ с, поэтому за один год в гелий будет переработано солнечного вещества массой около $2 \cdot 10^{19}$ кг. Если учесть большую массу Солнца, составляющую $2 \cdot 10^{30}$ кг, то станет ясно, что при нынешних темпах выделения энергии Солнцем в гелий переходит всего лишь около 1% массы солнечного вещества за миллиард лет. Поэтому запасов термоядерной энергии хватит надолго.

Согласно теории ядерных взаимодействий реакция превращения водорода в гелий должна сопровождаться образованием трудноувидимых частиц — нейтрино. Поскольку эти частицы крайне слабо взаимодействуют с веществом, Солнце для них совершенно прозрачно, и они свободно уходят из центральной

области Солнца в окружающее пространство. Миллиарды этих частиц, летящих от Солнца, ежесекундно и днем и ночью проходят через каждый квадратный сантиметр любой поверхности на Земле, но уловить их крайне трудно. Лишь в конце XX в. благодаря сложным физическим экспериментам удалось не только зафиксировать космические нейтрино, но и доказать, что они приходят со стороны Солнца, подтвердив тем самым правильность представлений о термоядерных реакциях в его недрах.

Эволюция Солнца. Этап «горения» водорода проходят все звезды, но химическая эволюция звезд на этом не заканчивается. Солнце уже прожило примерно половину своей «жизни», но еще 5—6 млрд лет оно будет светить за счет реакции образования гелия. Как показывают расчеты, по мере иссякания запасов водородного топлива термоядерное ядро Солнца будет медленно сжиматься и благодаря этому разогреваться. Ядерные реакции при этом будут наиболее интенсивно происходить в слое горячего газа, окружающем ядро, почти лишенное водорода. Это неизбежно приведет к тому, что мощность излучения Солнца станет возрастать, а его внешние слои будут расширяться, пока Солнце не увеличится по размеру в десятки раз. В небольшом, но сильно сжатом ядре Солнца температура достигнет ста миллионов градусов. При такой температуре станут возможными термоядерные реакции синтеза уже не в водородной, а в гелиевой среде с образованием углерода.

Солнце при этом будет излучать в десятки раз больше тепла и света, чем сейчас, а свет его окажется красноватым из-за более низкой температуры поверхностных слоев. Если не вмещается человеческий разум, физические условия на Земле в это время станут совершенно непригодны для каких-либо форм жизни: это будет горячая, сухая и пустынная планета, практически лишенная атмосферы.

Если для Солнца такая картина представляет очень далекое будущее, то многие звезды, которые на миллиарды лет старше Солнца, уже проходят этот этап эволюции, когда их размеры и мощность излучения возрастают, а температура понижается. Их называют *красными гигантами*. Некоторые из красных гигантов видны как яркие звезды на ночном небе. Например, весной и летом хорошо виден Арктур в созвездии Волопаса, а зимой — Альдебаран в созвездии Тельца. Изучение подобных звезд помогает лучше понять, как эволюционируют звезды и что ожидает в будущем нашу Солнечную систему.

С «выгоранием» гелия в центре звезды химическая эволюция таких звезд, как Солнце, прекращается. Они сбрасывают разреженную оболочку, окружающую центральное плотное ядро, и начинают очень медленно остывать. Но у более массивных звезд углеродное ядро достигает таких температур, при которых начинаются термоядерные реакции углерода с ядрами

гелия. При этом образуются кислород, неон, магний, а затем и более тяжелые элементы — вплоть до железа и других элементов, близких к железу по атомной массе (для основного изотопа железа она равна 56). На этом цепочка термоядерных превращений обрывается. Мы уже знаем, что энергия связи между частицами, составляющими ядра таких элементов, как железо, максимальна, т. е. ядерные силы наиболее прочно удерживают частицы вместе в ядре. Это означает, что при дальнейшем утяжелении ядер энергия не выделяется, а поглощается. Химические элементы, которые тяжелее железа, образуются уже по иному: предположительно при взрывах звезд, при поглощении нейтронов атомными ядрами. Но взрывы звезд — события очень редкие: взрываются только звезды, которые многократно массивнее Солнца.

Таким образом, практически все химические элементы, которые тяжелее гелия, встречающиеся в природе — как на Земле, так и в космосе, возникли в недрах некогда существовавших звезд или при взрывах наиболее массивных из них.

1. Какие реакции относят к термоядерным реакциям? 2. В чем сложность осуществления термоядерных реакций? 3. В каких устройствах осуществляется управляемый синтез? * 4. Каковы источники энергии Солнца и других звезд?

§ 40. РАДИОАКТИВНОЕ ЗАГРЯЗНЕНИЕ И ЕГО ВЛИЯНИЕ НА ЖИВЫЕ ОРГАНИЗМЫ

Радиоактивное загрязнение — загрязнение, связанное с превышением естественного уровня содержания радиоактивных веществ в окружающей среде.

Источники радиоактивного загрязнения

1. Глобально распределенные долгоживущие радиоактивные изотопы (продукты испытаний ядерного оружия, проводившихся в атмосфере и под землей).
2. Выброс радиоактивных веществ в результате аварии на четвертом блоке Чернобыльской АЭС в апреле—мае 1986 г.
3. Плановые и аварийные выбросы радиоактивных веществ в окружающую среду от предприятий атомной промышленности.
4. Выбросы в атмосферу и сбросы в водные системы радиоактивных веществ с действующих АЭС в процессе их эксплуатации.
5. Твердые радиоактивные отходы и радиоактивные источники.

Радиоактивное излучение включает γ - и рентгеновское излучения, электроны, протоны, α -частицы, ионы тяжелых метал-

лов. Его называют также *ионизирующим излучением*, так как, проходя через любую среду, оно вызывает ионизацию атомов.

Доза ионизирующего излучения. Мерой воздействия любого вида излучения на вещество является доза поглощенного излучения. *Доза поглощенного излучения* — отношение энергии излучения $E_{\text{изл}}$, поглощенной облучаемым телом, к его массе:

$$D = E_{\text{изл}}/m.$$

Единица дозы поглощенного излучения в СИ получила название грей (1 Гр). 1 Гр = 1 Дж/кг.

1 Гр — доза поглощенного излучения, при которой веществу массой 1 кг передается энергия ионизирующего излучения 1 Дж.

Для оценки действия излучения на живые организмы введена специальная величина — эквивалентная доза. *Эквивалентная доза поглощенного излучения* — произведение дозы поглощенного излучения на так называемый коэффициент биологической активности (он устанавливается экспериментально):

$$H = Dk,$$

где k — коэффициент биологической активности.

Единица эквивалентной дозы в СИ — зыверт (1 Зв).

1 Зв — это такая доза излучения, которая по воздействию на организм эквивалентна дозе поглощенного рентгеновского или γ -излучения в 1 Гр (грей).

Коэффициент биологической активности k показывает, во сколько раз радиационная опасность от воздействия на живой организм данного вида излучения больше, чем от воздействия рентгеновского или γ -излучения (при одинаковых поглощенных дозах). Для β - и γ -излучений он равен 1, для потока протонов и нейтронов — около 10, для α -излучения — около 20.

Эквивалентная доза определяет относительно безопасные и очень опасные для живого организма дозы облучения:

Допустимая доза облучения	< 0,25 Гр
Доза облучения, вызывающая острую лучевую болезнь	1—6 Гр
Смертельная доза облучения	более 6—10 Гр

Поглощенная и эквивалентная дозы зависят от времени облучения (т. е. от времени взаимодействия со средой). При прочих равных условиях эти дозы тем больше, чем большее время облучения.

Для оценки на радиоактивность участка местности, строительных материалов, продуктов питания или окружающих предметов пользуются дозиметрическими приборами — *дозиметрами* (от греч. *dósis* — доля, порция, прием и *metréō* — измеряю).

Дозиметр — устройство для измерения доз ионизирующих излучений и их мощностей.

На рисунке 197 изображен дозиметр АНРИ-0,1-0,2 («Сосна»).

Диапазон измерений этого дозиметра:

Мощность эквивалентной дозы 0,1 – 100 мкЗв/ч.

Энергия γ -излучения $9,6 \cdot 10^{-15}$ – $2 \cdot 10^{-13}$ Дж.

Биологическое действие ионизирующих излучений. Физическое воздействие ионизирующего излучения любого вида на ткани живого организма заключается в процессах возбуждения и ионизации атомов и молекул среды. Возбужденные атомы и ионы обладают высокой активностью, поэтому в клетках организма появляются новые химические соединения, чуждые здоровому организму. Под действием ионизирующих излучений разрушаются сложные молекулы и элементы клеточных структур.

В результате действия ионизирующего излучения на организм человека в тканях происходит нарушение обмена веществ, нормального течения биохимических реакций и др.

В таблице 8 приведены ориентировочные данные о последствиях единовременного радиационного облучения всего тела человека.



Рис. 197. Дозиметр

Таблица 8

Биологическое действие ионизирующего излучения на человека

Доза облучения, Зв	Последствия облучения	Доза облучения, Зв	Последствия облучения
До 0,25	Никаких изменений в органах и тканях не обнаруживается	1	Нижний уровень развития легкой степени лучевой болезни (тошнота, рвота)
0,5	Временное снижение лейкоцитов	1,5	Смертность 5%
0,75	Незначительные изменения состава крови	2	Долговременное снижение количества лейкоцитов

Продолжение

Доза облучения, Зв	Последствия облучения	Доза облучения, Зв	Последствия облучения
4	Лучевая болезнь средней тяжести, смертность до 60%	6	Крайне тяжелая форма лучевой болезни, смертность до 90%
4,5	Тяжелая степень лучевой болезни	>6	Смертность 100%

Естественный радиационный фон. В любом месте на поверхности земли, под землей, в водоемах, атмосфере и космическом пространстве существует ионизирующее излучение, или естественный радиационный фон. Среднее значение эквивалентной дозы поглощенного излучения, обусловленной естественным радиационным фоном, составляет около 10^{-3} Гр в год.

Значительное влияние на естественный радиационный фон оказывают радиоактивный радон ($\approx 50\%$) и продукты его распада, попадающие в организм при дыхании. Образуясь в почве, инертный газ радон выходит в атмосферу. Его концентрация особенно велика в закрытых непроветриваемых помещениях.

Естественный радиационный фон составляют космические лучи ($\approx 8\%$), γ -излучение естественных радиоактивных изотопов земной коры ($\approx 8\%$), продукты питания ($\approx 11\%$), а также искусственные источники радиации ($\approx 18\%$), к которым относятся рентгеновские установки медицинских учреждений, промышленные товары и др.

Наличие естественного фона радиации — необходимое условие эволюции жизни на Земле, поскольку слабая радиация создает генетические изменения — мутации живых организмов. В отсутствие естественного радиационного фона, вероятно, не было бы и жизни на Земле.

-
- ?
1. Что понимают под радиоактивным загрязнением? 2. Назовите источники радиоактивного загрязнения. 3. Как можно рассчитать дозу поглощенного излучения? 4. Что такое эквивалентная доза поглощенного излучения? 5. Какова допустимая доза облучения? 6. Почему важен естественный радиационный фон? 7. Каково влияние естественных источников радиации на естественный радиационный фон?
-

ПОВТОРИТЕЛЬНО-ОБОБЩАЮЩИЙ РАЗДЕЛ

- ? 1. В каком случае тело считается заряженным? Что такое электризация тел? Приведите примеры учета или применения электризации тел.
2. Сформулируйте и приведите математическую запись закона сохранения электрического заряда. Каковы условия применимости закона?
3. Сформулируйте и приведите математическую запись закона Кулона. Каковы условия применимости закона Кулона?
4. Что понимают под электростатическим полем? Назовите основные свойства электростатического поля. Какая величина служит силовой характеристикой электрического поля?
5. Как можно рассчитать работу по перемещению заряда в электрическом поле? Зависит ли работа от формы траектории движения заряда из одной точки поля в другую?
6. Что такое потенциал электрического поля? Какова формула расчета потенциала? Что такое разность потенциалов? Какова формула расчета разности потенциалов? Поясните величины, входящие в эти формулы.
7. Назовите основные положения классической электронной теории металлов. Как было доказано, что в металлах движутся свободные электроны?
8. Расскажите о законе Ома для участка цепи, ответив на вопросы: 1) Какие величины связывает закон? 2) Какова формулировка закона? 3) Какова математическая запись закона? Каковы условия применимости закона?
9. В металлическом проводнике, помещенном в электрическое поле, кулоновские силы совершают работу по перемещению свободных электронов. Любой электрический прибор рассчитан на потребление энергии в единицу времени. При протекании тока в проводнике он нагревается. Заполните таблицу, пояснив величины, входящие в каждую формулу.

Величина или закон	Расчетная формула
Работа тока	
Мощность тока	
Закон Джоуля—Ленца	

10. Заполните таблицу, сравнив электрическое (электростатическое) и магнитное поля.

Вопросы для сравнения	Поле	
	электростатическое	магнитное
1. Что является источником поля?		
2. С помощью чего исследуется поле?		
3. Каковы основные свойства поля?		
4. Как графически изображается поле? Замкнуты или не замкнуты линии напряженности? линии магнитной индукции?		

11. Какое явление называют электромагнитной индукцией? Приведите примеры опытов, с помощью которых можно наблюдать возникновение индукционного тока. Какова математическая запись закона электромагнитной индукции? Поясните величины, входящие в эту формулу.

12. В каких технических устройствах и приборах используется явление электромагнитной индукции?

13. Что понимают под электромагнитным полем? Каков процесс образования электромагнитного поля?

14. Что понимают под электромагнитной волной? Какие характеристики электромагнитных волн вы знаете? Перечислите основные свойства электромагнитных волн.

15. Диапазон частот (длин волн), излучаемых электромагнитными волнами, огромен. Заполните таблицу, обратив внимание на источники электромагнитных волн, диапазон длин волн (частот), применение.

Вид излучения	Источник излучения	Диапазон длин волн (частот)	Применение
Волны низкой частоты			
Радиоволны			
Инфракрасное излучение			
Видимый свет			
Ультрафиолетовое излучение			

Вид излучения	Источник излучения	Диапазон длин волн (частот)	Применение
Рентгеновское излучение			
Гамма-излучение			

16. Перечислите опыты и явления, подтверждающие сложное строение атомов. Какую модель строения атома предложил Резерфорд? Что не могла объяснить эта модель?

17. Что такое радиоактивность? Какие виды радиоактивности вы знаете? Чем они различаются?

18. Какова природа α -, β - и γ -излучений?

19. Назовите носители энергии при делении ядер урана. Какая реакция называется цепной реакцией деления? При каком условии возможна цепная реакция?

20. В каких устройствах осуществляется управляемая ядерная реакция? Где используются ядерные реакторы?

21. Какие реакции относят к термоядерным реакциям? В чем сложность осуществления термоядерных реакций? Каковы источники энергии Солнца и других звезд?

22. Что понимают под радиоактивным загрязнением? Назовите источники радиоактивного загрязнения. Каково биологическое воздействие ионизирующего излучения на человека?

● Выберите правильный ответ.

1. Какая из перечисленных частиц имеет наименьший отрицательный заряд?

- А. Протон.
- Б. Нейtron.
- В. Электрон.
- Г. Альфа-частица.

2. На рисунке 198 изображены два легких разноименно заряженных шарика. На каком из рисунков — 1, 2 или 3 — взаимодействие заряженных шариков указано правильно?

- А. 1.
- Б. 2.
- В. 3.
- Г. 1 и 3.

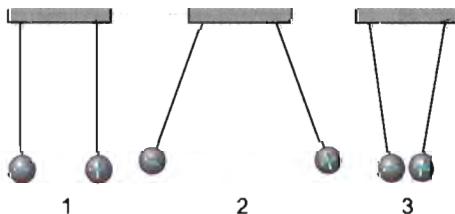


Рис. 198

3. В одну и ту же точку однородного электрического поля вначале поместили протон, а затем электрон. Значение кулоновской силы, действующей на частицу ...

- А. увеличилось.
- Б. уменьшилось.
- В. не изменилось.
- Г. вначале увеличилось, а затем уменьшилось.

4. Как изменится сила кулоновского взаимодействия двух точечных зарядов при увеличении расстояния между ними в 6 раз?

- А. Увеличится в 6 раз.
- Б. Уменьшится в 6 раз.
- В. Увеличится в 36 раз.
- Г. Уменьшится в 36 раз.

5. Электрическое поле создано положительным зарядом (рис. 199). Какое направление — 1, 2, 3 или 4 — имеет вектор напряженности в точке A?

- А. 1.
- Б. 2.
- В. 3.
- Г. 4.

6. В однородном электрическом поле конденсатора перемещают одинаковые отрицательные заряды из точки 1 несколькими способами (рис. 200). В каком случае работа по перемещению заряда равна нулю?

- А. 1 — a.
- Б. 1 — б.
- В. 1 — в.
- Г. 1 — г.

7. Какими носителями электрического заряда создается электрический ток в металлах?

- А. Электронами и отрицательными ионами.
- Б. Электронами и положительными ионами.
- В. Положительными и отрицательными ионами.
- Г. Только свободными электронами.

8. Какой минимальный заряд (абсолютное значение) может быть перенесен электрическим током через проводящую среду?

- А. Любой сколь угодно малый.
- Б. Равный заряду электрона.
- В. Зависящий от времени протекания тока.
- Г. Равный заряду ядра атома.

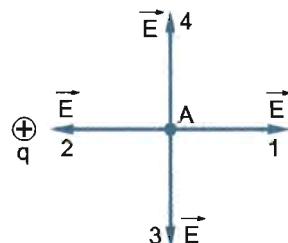


Рис. 199

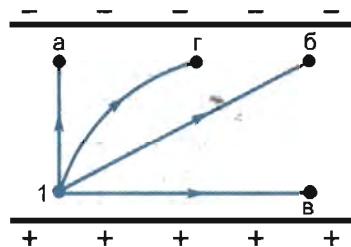


Рис. 200

9. Какая из перечисленных величин служит количественной характеристикой электрического тока: 1 — плотность вещества; 2 — масса; 3 — сила тока; 4 — модуль Юнга?

- A. 1.
- Б. 2.
- В. 3.
- Г. 4.

10. На рисунке 201 изображена схема электрической цепи, состоящей из источника тока постоянного напряжения, двух одинаковых ламп накаливания, амперметра и ключа. Как изменится показание амперметра, если замкнуть ключ? Сопротивлением ключа и проводников пренебречь.

- А. Не изменится.
- Б. Увеличится в 2 раза.
- В. Уменьшится в 2 раза.
- Г. Сначала уменьшится, а затем увеличится.

11. На рисунке 202 изображена схема электрической цепи, состоящей из источника тока постоянного напряжения, двух одинаковых ламп накаливания, амперметра и ключа. Как изменится показание амперметра, если замкнуть ключ? Сопротивлением ключа и проводников пренебречь.

- А. Не изменится.
- Б. Увеличится в 2 раза.
- В. Уменьшится в 2 раза.
- Г. Сначала уменьшится, а затем увеличится.

12. Три никромовых проводника одинаковой площади поперечного сечения, но разной длины подключены в цепь так, как показано на рисунке 203. Найдите правильное соотношение между сопротивлениями проводников.

- А. $R_1 > R_2 > R_3$.
- Б. $R_1 < R_2 < R_3$.
- В. $R_1 < R_2 > R_3$.
- Г. $R_1 = R_2 = R_3$.

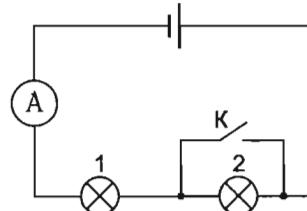


Рис. 201

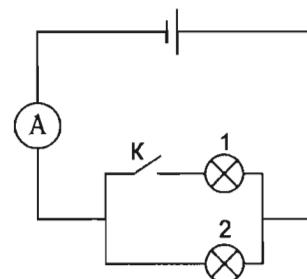


Рис. 202

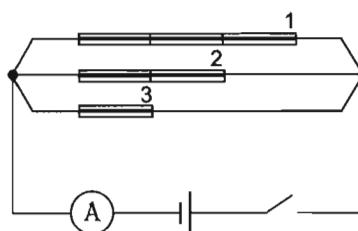


Рис. 203

13. Как изменится мощность, потребляемая электрической лампой накаливания, если, не изменяя ее электрического сопротивления, уменьшить напряжение на ней в 3 раза?

- A. Уменьшится в 3 раза.
- Б. Увеличится в 3 раза.
- В. Не изменится.
- Г. Увеличится в 9 раз.

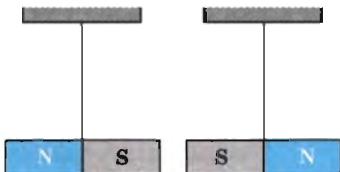
14. Как изменится количество теплоты, выделяемое за единицу времени, в проводнике с постоянным электрическим сопротивлением при увеличении силы тока в цепи в 4 раза?

- A. Уменьшится в 4 раза.
- Б. Увеличится в 2 раза.
- В. Увеличится в 4 раза.
- Г. Увеличится в 16 раз.

15. Как изменится количество теплоты, выделяемое за единицу времени, в проводнике при постоянном напряжении на концах проводника, если его сопротивление увеличить в 3 раза?

- А. Увеличится в 3 раза.
- Б. Уменьшится в 3 раза.
- В. Не изменится.
- Г. Уменьшится в 9 раз.

16. Как будут взаимодействовать магниты, изображенные на рисунке 204?



- А. Притягиваться.
- Б. Отталкиваться.
- В. Колебаться.
- Г. Не будут взаимодействовать.

Рис. 204

17. Какая из катушек — 1, 2 или 3 — обладает наибольшим магнитным полем (рис. 205)?

- А. 1.
- Б. 2.
- В. 3.
- Г. 1 и 2.

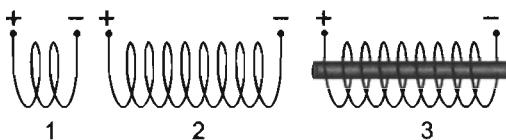


Рис. 205

18. Как изменится сила, действующая на проводник с током, при уменьшении индукции магнитного поля в 3 раза?

- A.** Уменьшится в 3 раза.
- B.** Увеличится в 3 раза.
- C.** Не изменится.
- Г.** Уменьшится в 9 раз.

19. На рисунке 206, *a* изображена катушка с током, а на рисунке 206, *б* направление магнитного поля внутри катушки. Сравните значение индукции магнитного поля в точках 1, 2 и 3.

- A.** $B_1 = B_2 = B_3$.
- B.** $B_1 < B_2 < B_3$.
- Г.** $B_1 > B_2 > B_3$.
- Д.** $B_1 = B_2 = B_3 = 0$.

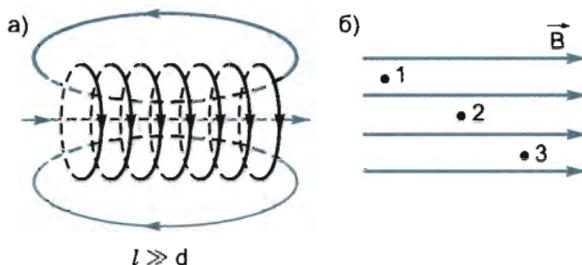


Рис. 206

20. Проводник с током помещен в однородное магнитное поле так, как показано на рисунке 207, *а*. Как направлена сила, действующая на проводник с током, со стороны магнитного поля (рис. 207, *б*)?

- А.** 1.
- Б.** 2.
- В.** 3.
- Г.** 4.

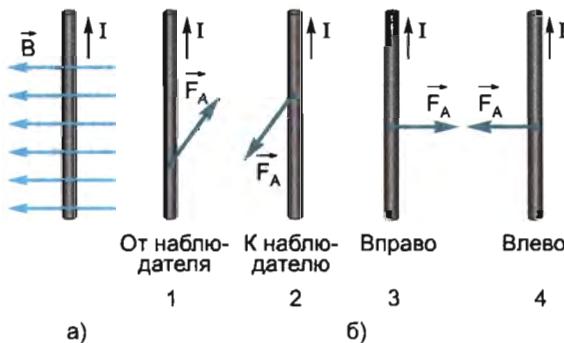


Рис. 207

21. Какие преобразования энергии происходят при работе электродвигателя постоянного тока?

А. Кинетическая энергия преобразуется в электромагнитную энергию.

Б. Электромагнитная энергия преобразуется в химическую энергию.

В. Потенциальная энергия преобразуется в электромагнитную энергию.

Г. Электромагнитная энергия преобразуется в кинетическую энергию.

22. На рисунке 208 изображена электрическая цепь. К динамометру над центром катушки подвешен железный стержень.



Рис. 208

При замыкании ключа в катушке возникает ток. При этом показание динамометра...

А. уменьшается, так как катушка экранирует влияние Земли.

Б. не меняется, так как масса стержня постоянна.

В. увеличивается, так как увеличивается сила тяжести, действующая на стержень.

Г. увеличивается, так как катушка становится магнитом и притягивает стержень.

23. Какие из перечисленных волн являются поперечными волнами: 1 — звуковые волны, 2 — радиоволны, 3 — ультразвуковые волны в жидкости?

А. 1.

Б. 2.

В. 3.

Г. 1 и 3.

24. На рисунке 209 изображена схема детекторного радиоприемника. Укажите элемент радиоприемника, с помощью которого можно произвести его настройку на определенную радиостанцию.

А. 1.

Б. 2.

В. 4.

Г. 3, 5 и 6.

25. При солнечном затмении на Земле от Луны образуется тень и полутень (рис. 210). Что видит человек, находящийся в точке А?

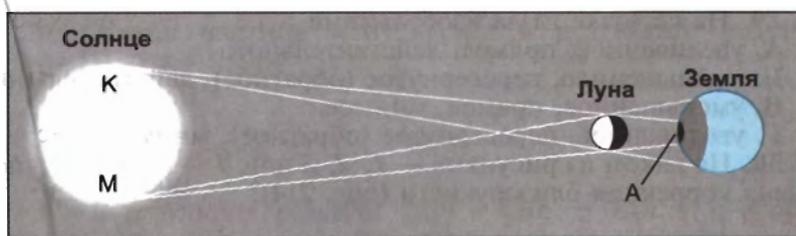


Рис. 210

А. Светящийся диск Солнца целиком.

Б. Не видит светящегося диска Солнца совсем.

В. Только верхнюю часть светящегося диска Солнца (*K*).

Г. Края светящегося диска Солнца (*K* и *M*).

26. Какая из точек — 1, 2, 3, 4 или 5, показанных на рисунке 211, является изображением точки *S* в плоском зеркале?

А. 1.

Б. 2 и 5.

В. 3.

Г. 4.

27. На каком из рисунков — 1, 2, 3 или 4 — правильно показано преломление света (рис. 212)?

А. 1. **В.** 3.

Б. 2. **Г.** 4.

28. На каком из рисунков — 1, 2, 3 или 4 — показано отражение света от плоского зеркала (рис. 213)?

А. 1. **В.** 3.

Б. 2. **Г.** 4.

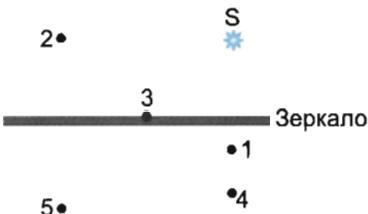


Рис. 211

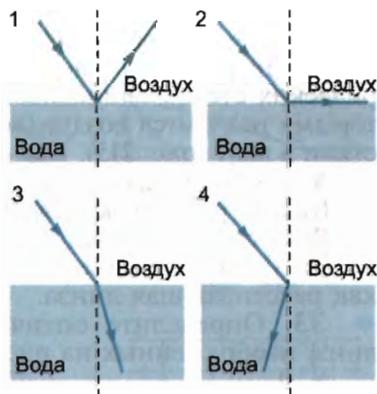


Рис. 212

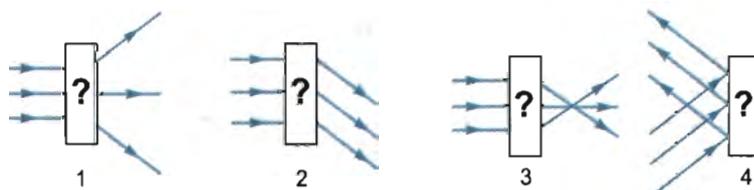


Рис. 213

- 29.** На сетчатке глаза изображение...
- увеличенное, прямое, действительное.
 - уменьшенное, перевернутое (обратное), действительное.
 - уменьшенное, прямое, мнимое.
 - увеличенное, перевернутое (обратное), мнимое.
- 30.** На каком из рисунков — 1, 2, 3 или 4 — правильно показана коррекция близорукости (рис. 214)?

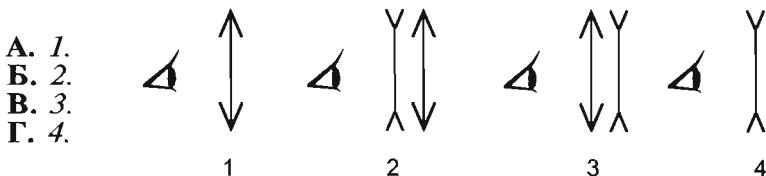


Рис. 214

- 31.** Оптическая система глаза приспосабливается к рассматриванию предметов, находящихся на разном расстоянии за счет...

- изменения кривизны хрусталика.
- дополнительного освещения.
- приближения и удаления предметов.
- световых раздражений.

- * **32.** Линзу, изготовленную из двух тонких сферических стекол одинакового радиуса, между которыми находится воздух (воздушная линза), опустили в воду (рис. 215). Как «действует» эта линза?

- Как собирающая линза.
- Как рассеивающая линза.
- Она не изменяет хода лучей.
- Может «действовать» и как собирающая, и как рассеивающая линза.

- * **33.** Определите оптическую силу системы линз, изображенных на рисунке 216.

- 0.
- 2 дп.
- 4 дп.
- 8 дп.

- 34.** Каков состав ядра изотопа радия $^{226}_{88}\text{Ra}$?

- 226 протонов и 88 нейтронов.
- 88 протонов и 138 нейтронов.
- 88 электронов и 138 протонов.
- 138 протонов и 88 нейтронов.

- 35.** Каков состав ядра изотопа железа $^{56}_{26}\text{Fe}$?

- 56 протонов и 26 нейтронов.
- 26 протонов и 30 нейтронов.
- 26 электронов и 30 протонов.
- 30 протонов и 26 нейтронов.

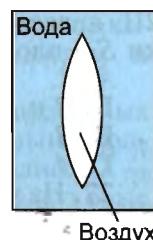


Рис. 215

$$F_1 = -0,25 \text{ м}$$

$$D_2 = 4 \text{ дп}$$



Рис. 216

36. Какая частица испускается в результате реакции $^{113}_{49}\text{In} + ^1_1\text{H} \rightarrow ? + ^{113}_{50}\text{Sn}?$

- А.** Электрон.
- Б.** Протон.
- В.** Альфа-частица.
- Г.** Нейтрон.

37. В результате реакции $^{72}_{32}\text{Ge} + ^4_2\text{He} \rightarrow 2^1_0n + ?$ образуется...

- А.** электрон.
- Б.** протон.
- В.** альфа-частица.
- Г.** изотоп селена $^{74}_{34}\text{Se}$.

38. Изотоп теллура $^{131}_{52}\text{Te}$ испытывает β -распад. При этом образуется...

- А.** альфа-частица.
- Б.** изотоп иода $^{131}_{53}\text{I}$.
- В.** нейтрон.
- Г.** позитрон.

39. Изотоп нептуния $^{239}_{93}\text{Np}$ испытывает β -распад. При этом образуется...

- А.** альфа-частица.
- Б.** изотоп плутония $^{239}_{94}\text{Pu}$.
- В.** нейтрон.
- Г.** протон.

40. Какой из графиков — 1, 2, 3 или 4, изображенных на рисунке 217, правильно отражает зависимость числа распавшихся ядер радиоактивного элемента от времени (закон радиоактивного распада)?

- А.** 1. **В.** 3.
- Б.** 2. **Г.** 4.

* **41.** На рисунке 218 представлена диаграмма энергетических уровней атома. Какой из переходов — 1, 2, 3 или 4 — в спектре испускания атома соответствует самой большой длине волны?

- А.** 1. **В.** 3.
- Б.** 2. **Г.** 4.

* **42.** На рисунке 219 представлена диаграмма энергетических уровней атома. Какой из переходов — 1, 2, 3 или 4 — в спектре поглощения атома соответствует самой малой частоте?

- А.** 1. **В.** 3.
- Б.** 2. **Г.** 4.

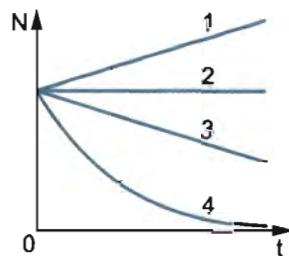


Рис. 217

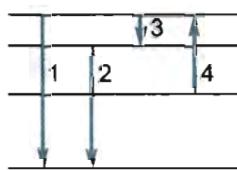


Рис. 218

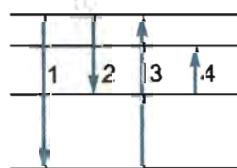


Рис. 219

● Изучение шкал измерительных приборов

- С помощью рисунка 220, выполните задания.
- Ответьте на следующие вопросы: а) Как называется измерительный прибор? б) Каковы нижний и верхний пределы измерения данного прибора? в) Какова цена деления и инструментальная погрешность измерительного прибора?
- Запишите в таблицу показания прибора. В каком интервале находятся показания данного прибора?

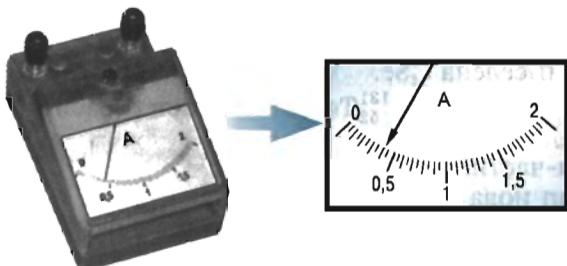


Рис. 220

Результаты анализа рисунка запишите в таблицу.

Название прибора	Предел измерения		Цена деления	Инструментальная погрешность	Показание прибора
	нижний	верхний			

- С помощью рисунка 221, выполните задания.

- Ответьте на следующие вопросы: а) Как называется измерительный прибор? б) Каковы нижний и верхний пределы измерения данного прибора? в) Какова цена деления и инструментальная погрешность измерительного прибора?

- Запишите в таблицу показания прибора. В каком интервале находятся показания данного прибора?

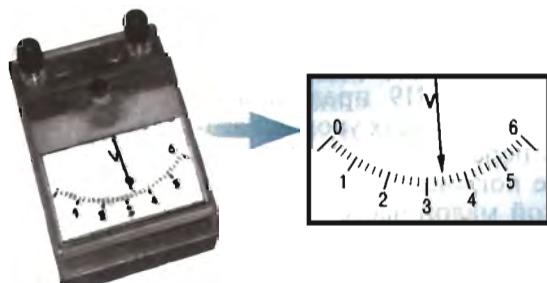


Рис. 221

Результаты анализа рисунка запишите в таблицу.

Название прибора	Предел измерения		Цена деления	Инструментальная погрешность	Показание прибора
	нижний	верхний			

■ 1. Два неподвижных точечных заряда находятся на расстоянии 1 м друг от друга. Как нужно изменить это расстояние, чтобы сила взаимодействия между зарядами уменьшилась в 4 раза?

2. Электрический заряд $2 \cdot 10^{-5}$ Кл перемещают в однородном электрическом поле из одной точки поля в другую. Какую работу совершают поле, если разность потенциалов между точками равна 200 В?

3. На рисунке 222 изображен график зависимости силы тока от напряжения на одной из секций телевизора. Чему равно сопротивление этой секции?

4. Какую работу совершают электрическое поле по перемещению зарядов на участке цепи за 15 мин при напряжении 220 В и силе тока 2 А?

5. Какое количество теплоты отдано электрическим кипятильником мощностью 0,5 кВт за 2 мин работы? Потерями на нагревание окружающей среды пренебречь.

6. С какой силой действует магнитное поле индукцией 1,5 Тл на проводник длиной 30 см, расположенный перпендикулярно вектору индукции? Сила тока в проводнике равна 2 А.

7. За 2 с магнитный поток, пронизывающий проволочную рамку, увеличивается с 4 до 12 Вб.

Чему равна ЭДС индукции, наведенная в рамке?

8. Для определения показателя преломления стекла узкий пучок света из осветителя направили на стеклянный полуцилиндр, закрепленный на оптической шайбе. По результатам эксперимента на рисунке изобразили ход падающего и преломленного световых лучей (рис. 223). Каков показатель преломления стекла? Ответ округлите до десятых.

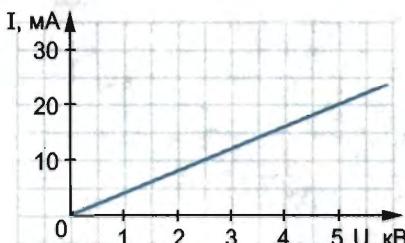


Рис. 222

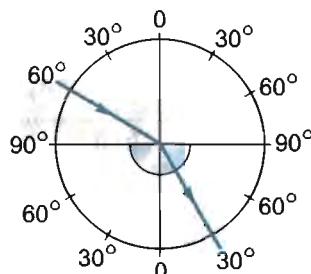


Рис. 223

- ◆ 9. На каком расстоянии от собирающей линзы с фокусным расстоянием 10 см нужно поставить предмет, для того чтобы получить действительное изображение, увеличенное в 10 раз?
- ◆ 10. Какое время потребуется для нагревания воды массой 1 кг от начальной температуры 10 °C до кипения в электрическом чайнике с электрическим нагревателем мощностью 1 кВт, если его КПД равен 90%? Чему равна сила тока в электрической спирали нагревательного элемента, если напряжение равно 220 В? Воду считать дистиллированной.

◆ 1. СБОРКА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЦЕПИ.
ИЗМЕРЕНИЕ СИЛЫ ТОКА И НАПРЯЖЕНИЯ

1. На рисунке 224 изображена электрическая цепь. Назовите приборы, составляющие эту цепь.

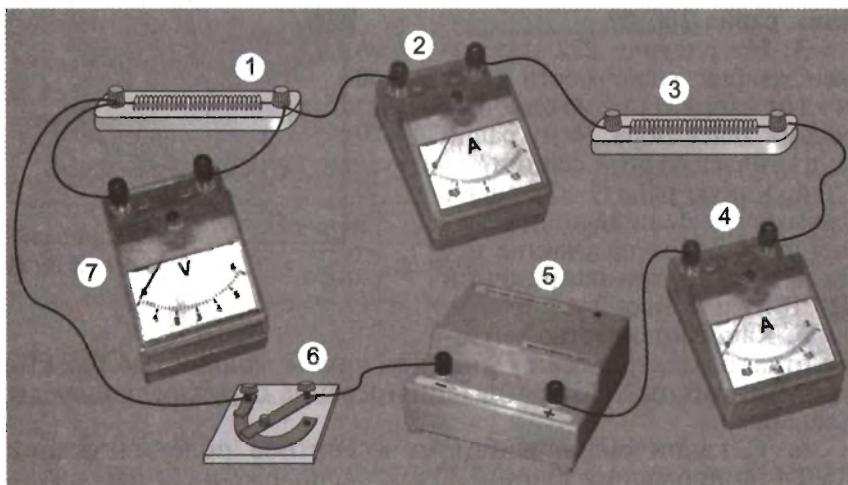


Рис. 224

2. Начертите схему электрической цепи.
3. Соберите электрическую цепь, используя схему и рисунок 224.
4. Снимите и запишите показания приборов.

Прибор	Показание прибора

5. По полученным данным рассчитайте сопротивление резистора 1.

2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ МОЩНОСТИ И РАБОТЫ ТОКА

Приборы и материалы: источник тока, электрическая лампа на подставке, вольтметр, амперметр, соединительные провода, ключ.

1. Соберите электрическую цепь по схеме (рис. 225).

2. Рассчитайте мощность и работу электрического тока на лампе за $t = 30$ мин.

3. Результаты измерений и вычислений запишите в таблицу.

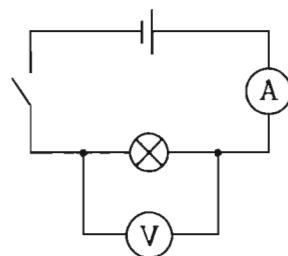


Рис. 225

U , В	I , А	P , Вт	A , Дж

3. ИЗУЧЕНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ЖИДКОСТИ

Приборы и материалы: стеклянный стакан, дистиллированная вода, поваренная соль, водопроводная вода, источник тока, соединительные провода, миллиамперметр, две металлические пластины, небольшой резиновый брускок (ластик), ключ.

1. Соедините последовательно источник тока, миллиамперметр, две металлические пластины. Поместите пластины в кристаллы поваренной соли на расстоянии 2–3 см. Проходит ли электрический ток через поваренную соль? Результаты наблюдений запишите в таблицу.

2. Очистите пластины от соли и вымойте их в проточной воде. Погрузите пластины в стакан с дистиллированной водой на расстоянии 2–3 см друг от друга (рис. 226). Чтобы пластины не касались друг друга, поместите между ними ластик. Включите пластины последовательно с источником тока и миллиамперметром. Проходит ли электрический ток через дистиллированную воду? Результаты наблюдений запишите в таблицу.

3. Добавляя понемногу соль в дистиллированную воду, наблюдайте за показанием миллиамперметра. Проходит ли электрический ток через раствор соли? Результаты наблюдений запишите в таблицу.

4. Исследуйте зависимость силы электрического тока от глубины погружения пластин в раствор соли, от расстояния между пластинами.

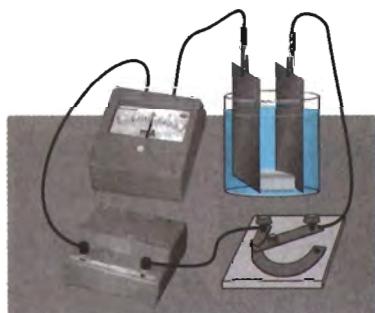


Рис. 226

5. Налейте в стакан воду из водопроводного крана и проверьте, проводит ли она электрический ток.
 6. Результаты наблюдений запишите в таблицу.

Вещество	Проводит электрический ток	Не проводит электрический ток
Кристаллы поваренной соли		
Дистиллированная вода		
Раствор соли в дистиллированной воде		
Водопроводная вода		

4. НАБЛЮДЕНИЕ ЯВЛЕНИЯ ДИСПЕРСИИ СВЕТА

Приборы и материалы: электрическая лампа на подставке, источник тока, экран со щелью, стеклянная призма (или плоскопараллельная пластинка), лист белой бумаги, соединительные провода.

1. Подключите лампу к источнику тока. Зажженную лампу (источник света) поставьте перед экраном с узкой щелью. Узкий пучок белого света направьте на белый экран (лист белой бумаги), расположенный в вертикальной плоскости на некотором расстоянии от щели. Что вы наблюдаете на экране?

2. Поставьте на пути пучка белого света стеклянную призму (или плоскопараллельную пластинку), как показано на рисунке 227. Установите белый экран (лист белой бумаги) на пути выходящего из призмы света и наблюдайте явление дисперсии света. В каком порядке располагаются цвета в полученном вами спектре?

3. Приблизьте призму (или плоскопараллельную пластинку) к глазу и посмотрите через нее на освещенную щель (рис. 228). Что вы наблюдаете? В каком порядке располагаются цвета?

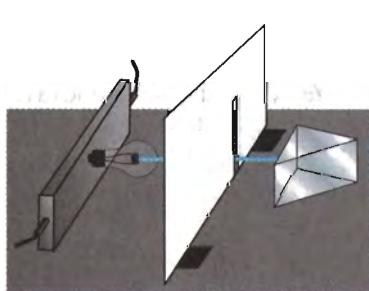


Рис. 227

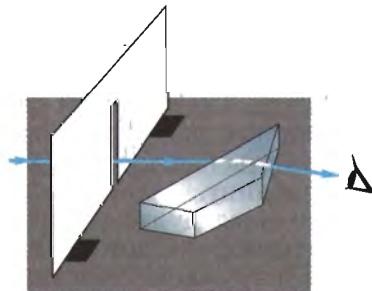


Рис. 228

5. СБОРКА И ИСПЫТАНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТА

Приборы и материалы: источник тока, кнопочный ключ, две катушки с железным сердечником, компас, основание электромагнита, кольцо от штатива, провода соединительные, реостат.

1. На железной пластинке, которая должна служить основанием электромагнита, установите при помощи болтиков с гайками две катушки. Для этого болтики проденьте через отверстия пластины снизу, на них наденьте катушки и закрепите сверху гайки (рис. 229). Катушки соедините последовательно, но так, чтобы при пропускании тока на концах болтиков сверху получались разноименные полюсы. Для этого проследите предполагаемое направление тока через одну обмотку, потом через другую, применяя правило винта (правого обхвата).

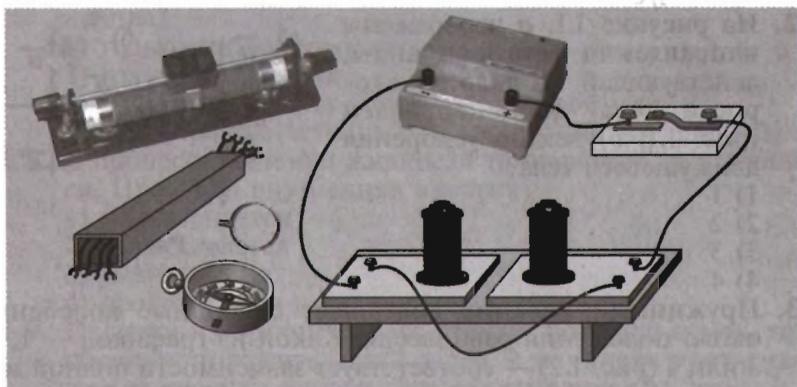


Рис. 229

2. Соедините электромагнит через кнопочный ключ с источником тока. Замкните цепь и поднесите компас к полюсам катушек. По отклонению стрелки определите полюсы и проверьте правильность применения правила.

3. Приблизьте к полюсу электромагнита, подключенного к источнику тока, железный предмет (например, кольцо от штатива). Что вы наблюдаете?

4. Подключите последовательно к электромагниту реостат. Исследуйте зависимость магнитного действия электромагнита от силы тока в цепи. Результаты исследования запишите в тетрадь.

**ПОДГОТОВКА К ИТОГОВОЙ АТТЕСТАЦИИ
ЗА КУРС ОСНОВНОЙ ШКОЛЫ**

Часть 1

При выполнении заданий части 1 обведите цифру, рядом с которой содержится правильный ответ.

- 1.1.** Движение троллейбуса при аварийном торможении задано уравнением $x = 20 + 7t - 2,5t^2$, м. Чему равно ускорение троллейбуса?

- 1) 20 м/с^2
- 2) 7 м/с^2
- 3) $-2,5 \text{ м/с}^2$
- 4) -5 м/с^2

- 1.2.** На рисунке 1.1, а изображены направления векторов силы, действующей на тело, и скорости тела. Как направлен (рис. 1.1, б) вектор ускорения движущегося тела?

- 1)
- 2)
- 3)
- 4)

- 1.3.** Пружинный маятник совершает свободные колебания около положения равновесия. Какой из графиков — 1, 2, 3 или 4 (рис. 1.2) — соответствует зависимости полной механической энергии от времени колебаний? Сопротивлением воздуха пренебречь.

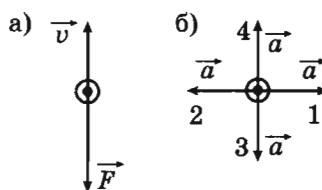


Рис. 1.1

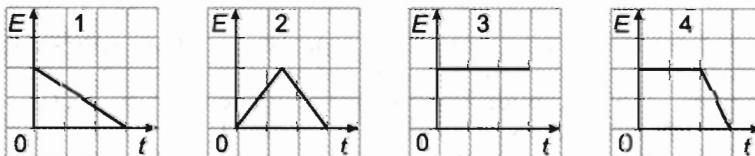


Рис. 1.2

- 1.4.** Нитяной маятник совершает свободные колебания. Изменится ли период колебания маятника, если массу груза увеличить в 2 раза?
- 1) увеличится в 2 раза
 - 2) уменьшится в 2 раза
 - 3) не изменится
 - 4) увеличится в $\sqrt{2}$ раз
- 1.5.** На поверхности жидкости плавают три тела одинаковой массы. Объем первого тела в 2 раза больше объема второго.

го тела и в 3 раза больше объема третьего тела. На какое из тел действует большая выталкивающая сила?

- 1) 1
- 2) 2
- 3) 3

4) на все три тела будут действовать одинаковые выталкивающие силы

1.6. Явление диффузии доказывает

- 1) только факт существования молекул
- 2) только факт непрерывного хаотического движения молекул
- 3) факт существования и непрерывного хаотического движения молекул
- 4) факт взаимодействия молекул

1.7. Какой вид теплообмена сопровождается переносом вещества?

- 1) только теплопроводность
- 2) только конвекция
- 3) только излучение (лучистый теплообмен)
- 4) теплопроводность и излучение (лучистый теплообмен)

1.8. В процессе кипения жидкости температура не изменяется. При этом внутренняя энергия

- 1) не изменяется
- 2) увеличивается
- 3) уменьшается
- 4) превращается в механическую энергию

1.9. Палочка из органического стекла, потергая о мех, приобретает положительный заряд и начинает притягивать легкие кусочки бумаги. Это объясняется тем, что:

- 1) кусочки бумаги заряжаются отрицательным зарядом
- 2) кусочки бумаги заряжаются положительным зарядом
- 3) под действием электрического поля на ближнем к палочке конце кусочка бумаги образуется отрицательный заряд
- 4) под действием электрического поля на ближнем к палочке конце кусочка бумаги образуется положительный заряд

1.10. Как изменится сопротивление проводника при увеличении его площади поперечного сечения в 2 раза? Длину проводника считать неизменной.

- 1) не изменится
- 2) увеличится в 2 раза
- 3) уменьшится в 2 раза
- 4) увеличится в 4 раза

1.11. Как изменится сила, действующая на проводник с током со стороны магнитного поля, при уменьшении силы тока в 2 раза?

- 1) не изменится

- 2) увеличится в 2 раза
 3) уменьшится в 2 раза
 4) уменьшится в 4 раза
- 1.12.** Катушка-моток замкнута на гальванометр. В каких из приведенных ниже случаев в катушке возникает электрический ток?
- А. В катушку вдвигают магнит.
 Б. Катушку надевают на магнит.
 1) только А
 2) только Б
 3) и А, и Б
 4) ни А, ни Б
- 1.13.** На светочувствительной пленке фотоаппарата получается изображение
- 1) уменьшенное, перевернутое (обратное), мнимое
 2) уменьшенное, перевернутое (обратное), действительное
 3) увеличенное, прямое, действительное
 4) увеличенное, перевернутое (обратное), мнимое
- 1.14.** На основе опытов по рассеянию α -частиц Резерфорд
- 1) открыл новый химический элемент
 2) обнаружил нейtron
 3) предложил ядерную (планетарную) модель атома
 4) измерил заряд α -частицы
- 1.15.** При исследовании вольт-амперной характеристики спиралей лампы накаливания наблюдается отклонение от закона Ома для участка цепи. Это связано с тем, что:
- 1) изменяется число электронов, движущихся в спирали
 2) наблюдается свечение лампы
 3) изменяется сопротивление спирали при ее нагревании
 4) возникает магнитное поле

Часть 2

Ответом к каждому заданию части 2 будет некоторое число. Впишите это число в строку *Ответ*.

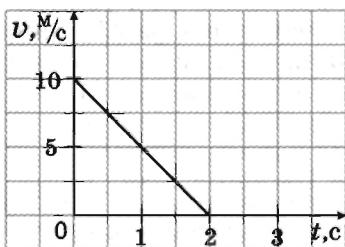


Рис. 2.3

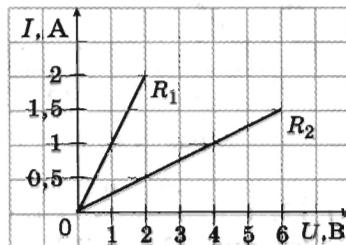
- 2.1.** Спортсмен бросил вертикально вверх спортивное ядро массой 7,26 кг. На рисунке 2.3 представлен график зависимости скорости движения ядра от времени. Чему равно значение равнодействующей силы, действующей на ядро?

Ответ: _____

- 2.2.** Медный брускок массой 127 г нагрели на 60 °С. Какое количество теплоты было передано брускому? Необходимые данные найдите в таблице.

Ответ: _____

- 2.3.** На рисунке 2.4 изображены вольт-амперные характеристики двух резисторов с разными сопротивлениями. Во сколько раз различаются сопротивления резисторов $\left(\frac{R_2}{R_1}\right)$?



Ответ: _____

Рис. 2.4

Часть 3

Задания 3.1.1—3.1.3 — задачи, при оформлении решения которых необходимо внести названия законов или дать ссылки на определения физических величин, соответствующих уравнениям (формулам), которыми пользуетесь. Если требуется, следует рассчитать числовое значение искомой величины, если нет, оставить решение в буквенном виде. Рекомендуется решение заданий этой части предварительно провести на черновике, а затем аккуратно поместить его в бланк ответа.

- 3.1.1.** На космическом аппарате, находящемся вдали от Земли, начал работать реактивный двигатель. Из сопла ракеты ежесекундно выбрасывается газ массой 2 кг $\left(\frac{\Delta m}{\Delta t} = 2 \text{ кг/с}\right)$ со скоростью 500 м/с. Масса аппарата $M = 500$ кг. Какой будет скорость аппарата через 6 с после старта? Начальную скорость аппарата примите равной нулю. (Изменением массы аппарата за время движения пренебречь.)

- 3.1.2.** При сообщении газу количества теплоты, равного 15 кДж, его внутренняя энергия увеличилась на 8 кДж. Какую работу совершил газ?
- 3.1.3.** По резистору протекает постоянный электрический ток. На рисунке 3.5 изображен график зависимости количества теплоты, выделяемого в резисторе, от времени. Со-

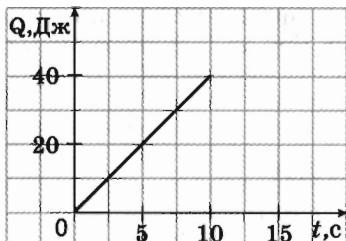


Рис. 3.5

противление резистора равно 4 Ом. Чему равна сила тока в резисторе?

Задания 3.2.1—3.2.3 — экспериментальные задания. Используя инструкцию к заданию, проведите эксперимент, расчеты и сформулируйте вывод. Все полученные экспериментальные данные занесите в таблицу (начертите график и пр.). При оформлении результатов эксперимента запишите названия законов или дайте ссылки на определения физических величин, соответствующих уравнениям (формулам), которыми пользуетесь. Запишите в бланк ответа выявленные эмпирические зависимости.

- 3.2.1.** Возьмите одну из пружин из набора пружин и прикрепите ее одним концом к лапке штатива. С помощью набора грузов по механике и измерительной линейки исследуйте зависимость модуля силы упругости от удлинения пружины. Постройте график зависимости силы упругости, возникающей в пружине, от ее удлинения. Пользуясь полученным графиком, рассчитайте жесткость пружины.
- 3.2.2.** Возьмите лабораторный термометр и изучите его шкалу. Опустите термометр в металлический стакан калориметра с горячей водой. Исследуйте процесс остывания воды в стакане. Постройте график зависимости температуры от времени. Сделайте выводы на основе анализа результатов эксперимента.
- 3.2.3.** Возьмите источник тока, реостат, резистор, амперметр, вольтметр, ключ, соединительные провода. Исследуйте зависимость силы тока от приложенного напряжения для данного резистора. Постройте график зависимости $I = I(U)$ и сделайте вывод на основе анализа результатов эксперимента.

ОТВЕТЫ К ЗАДАЧАМ

- § 2. ■ 2. Отталкиваются с силой 10^{-3} Н. 3. $3 \cdot 10^{-7}$ Кл
 § 3. ■ 1. $5 \cdot 10^4$ Н/Кл. 2. $1,6 \cdot 10^{-15}$ Н. 3. $3 \cdot 10^{-6}$ Кл. * 4. $\approx 2,3$ м.
 * 5. $9,6 \cdot 10^{-9}$ кг
 § 4. ■ 1. $4 \cdot 10^{-8}$ Дж. 2. $3 \cdot 10^{-9}$ м. 3. $0,018$ Кл = 18 мКл. 4. $8 \cdot 10^{-7}$ Дж.
 5. 20 В
 § 6. ■ 1. 100 А. 2. 90 Кл
 § 8. ■ 2. 5) 180 Кл. 3. 600 Кл. 4. $0,2$ А
 § 9. ■ 5. $50,4$ Дж
 § 10. ■ 2. 4 Ом. * 3. $R_1 = 250$ Ом, $R_2 = 1000$ Ом; $R_2 > R_1$ в 4 раза
 * 4. 5 Ом
 ■ 1. $\approx 2,7$ А. 2. 9 В. 3. $\approx 8,6$ Ом
 § 11. ■ 1. $10,5$ Ом. 2. 30 м. * 3. $0,1$ А. * 4. $\approx 1,16$ кг
 § 12. ■ 1. 1) 5 Ом; 2) 6 В. 2. 2) $0,57$ Ом; 3) 2 А, 4 А, 1 А; 4) 7 А.
 * 3. При разомкнутом ключе $I_1 = 0,15$ А, при замкнутом ключе
 $I_2 = 0,45$ А. $I_2 > I_1$ в 3 раза
 § 13. ■ 3. 2) 378 Дж; 3) $2,1$ Вт. Номинальная мощность лампочки
 больше на $0,9$ Вт
 ■ 1. 5400 Дж. 2. $787,5$ Дж. 3. $\approx 10,7$ Вт. 4. 24 Вт, 12 В
 § 14. ■ 1. $3,2$ кДж. 2. $3,6$ кДж. 3. ≈ 2165 Дж
 § 19. ■ 1. $0,18$ Н. 2. 25 А. * 3. 30° . 4. $72 \cdot 10^{-6}$ Вб = 72 мкВб. 5. 45°
 § 23. ■ 1. 10^{-4} В. 2. $0,06$ Вб/с. 3. 500
 § 24. ■ 1. $0,02$ с. 2. $I_0 = 4$ А, $T = 0,02$ с, $v = 50$ Гц. 3. $\varepsilon_0 = 180$ В,
 $T = 0,02$ с, $v = 50$ Гц. 4. $K = 0,2$; $N_2 = 2500$. 5. $N_{21} \approx 8$, $N_{22} \approx$
 ≈ 14 , $N_{23} \approx 22$. 6. $K_1 = 0,04$, $K_2 \approx 8,3$, $K_3 = 15$
 § 30. ■ 1. 60° . 2. $\sqrt{2} \approx 1,4$. * 3. $\approx 18^\circ$
 § 31. ■ 1. $0,1$ м. * 2. 20 см; $5,25$ дп
 § 34. ■ 1. $6,63 \cdot 10^{-29}$ Дж. 2. $19,89 \cdot 10^{-16}$ Дж $\approx 2 \cdot 10^{-15}$ Дж

Повторительно-обобщающий раздел

- 1. Увеличить в 2 раза. 2. $A = 4 \cdot 10^{-3}$ Дж = 4 мДж. 3. $R =$
 $= 250$ кОм. 4. $A = 396$ кДж. 5. $Q = 60$ кДж. 6. $F_A = 0,9$ Н.
 7. $\mathcal{E}_i = -4$ В. 8. $n \approx 1,7$. * 9. $d = 11$ см. * 10. $\tau = 420$ с =
 $= 7$ мин; $I = 4,5$ А

Подготовка к итоговой аттестации за курс основной школы

Часть 2. 2.1 $36,3$ Н. 2.2 3048 Дж ≈ 3 кДж. 2.3. 4.
 Часть 3. 3.1.1. 12 м/с. 3.1.2. 7 кДж. 3.1.3. 1 А.

ПРЕДМЕТНО-ИМЕННОЙ УКАЗАТЕЛЬ

- Абсолютный показатель преломления 149
Алферов Ж.И. 82
Альфа-излучение 175
Ампер А.-М. 33
Ампер 35
Амперметр 39
Амплитудная модуляция 135
Атомная единица массы 170
Атомная электростанция 184, 185

Беккерель А. 173
Бета-излучение 175

Ватт 66
Вебер 96
Вибратор Герца 124
Видимый свет 129
Вихревое поле 91, 121
Вольт 43
Вольта А. 43
Вольтметр 45

Гальванометр 107
Гамма-излучение 130, 175
Генератор переменного тока 114
Гильберт У. 87

Демодуляция 136
Дефект массы 172
Джоуль Д. 70
Длина волны 124
Диоптрия 154
Дисперсия света 150
Дизэлектрики 29
Дозиметр 193
Дырка 79

Закон Ампера 95
— Джоуля-Ленца 71
— Кулона 15
— Ома для участка цепи 48, 49
— отражения света 144
— преломления света 148, 149
— прямолинейного распространения света 142

— радиоактивного распада 176
— сохранения электрического заряда 11
— электромагнитной индукции 112

Иваненко Д.Д. 170
Изотопы 171
Индукционный ток 107
Индукция магнитного поля 90, 95
Инфракрасное излучение 128
Источник тока 37

Колебательный контур 133
Коэффициент полезного действия трансформатора 117
Кулон 6
Кулон Ш. 14
Курчатов И. В. 185
Кюри П. 174

Ленц Э. Х. 71
Линейчатые спектры 167
Линза 152

Магнит 84
Магнитное поле Солнца 99
Магнитный поток 96
Магнитосфера Земли 100
Максвелл Дж. 122
Мощность постоянного тока 65

Напряжение 26, 43
Напряженность электростатического поля 18, 19
Нейтрон 170
Нуклоны 170

Однородное поле
— электрическое 19
— магнитное 96
Ом 50
Ом Г. 50
Оптическая сила линзы 154

Полупроводники 29, 78

- Попов А. С.** 133
Потенциал электрического поля 25
Правило
— буравчика 91
— левой руки 95
— Ленца 111
— правого обхвата 91
Пробный заряд 19
Проводники 29
Протон 4, 169
Постулаты Бора 166
- Работа по перемещению заряда** 24
Работа тока 65
Радиоактивность 173
Радиоволны 128
Разность потенциалов 26
Резерфорд Э. 164
Рентгеновское излучение 130
- Свет** 141
Световой луч 143
Склодовская-Кюри М. 173
Сила тока 35
Скорость
— света 141
— электромагнитных волн 124
Сопротивление 49
— удельное 53
Спектр
— излучения 167
— линейчатый 167
— поглощения 168
Спектральный анализ 168
- Тесла** 95
Термоядерные реакции 187
Томсон Дж. 163
Точечный заряд 14
- Трансформатор 116
Увеличение линзы 154
Ультрафиолетовое излучение 129
- Фарадей М.** 107
Фокусное расстояние 146, 153
Формула тонкой линзы 154
Фотон 141, 165
- Цепная реакция** 180
- Электрический ток** 28
— переменный 113
— постоянный 36
- Электризация 7
Электрический
— заряд 6
— ток 28
— — в газах 75
— — в металлах 33
— — в полупроводниках 79
— — в электролитах 82
- Электрическое поле 18
Электродвигатель 103
Электромагнит 92
Электромагнитная индукция 109, 111
Электромагнитное поле 124
Электромагнитные волны 124
Электрометр 10
Электрон 6
Электронная теория металлов 32
Элементарный заряд 6
Энергия связи ядра 171, 172
Эрстед Х. 35
- Ядерная модель атома** 165
Ядерные силы 171
Ядерный реактор 182, 183

СЛОВАРЬ ОСНОВНЫХ ПОНЯТИЙ ЗА КУРС 9 КЛАССА

А

Альфа-излучение — выброс ядер атомов гелия.

Б

Бета-излучение — поток электронов, движущихся со скоростью, близкой к скорости света.

Г

Гамма-излучение — поток квантов электромагнитного излучения (фотонов) с очень большой энергией.

Генератор переменного тока — устройство, в котором механическая энергия вращения преобразуется в электрическую энергию переменного тока.

Д

Дозиметр — устройство для измерения доз ионизирующих излучений и их мощностей.

Е

Естественная радиоактивность — радиоактивность, наблюдаемая у неустойчивых изотопов, существующих в природе.

И

Изотопы — атомы одного и того же химического элемента, имеющие одинаковое число протонов в ядре и разное число нейтронов.

Искусственная радиоактивность — радиоактивность изотопов, полученных искусственным путем из стабильных элементов.

Источник тока — устройство, создающее и поддерживающее разность потенциалов на концах проводника.

Л

Линза — прозрачное для света отшлифованное тело, ограниченное кривыми поверхностями (одна из поверхностей может быть плоской).

М

Магнитный поток — величина, равная произведению модуля магнитной индукции, площади контура, косинуса угла между вектором магнитной индукции и нормалью к поверхности контура.

Модуль магнитной индукции — отношение максимальной силы, действующей со стороны магнитного поля на проводник с током, к произведению силы тока в проводнике на длину проводника, находящегося в магнитном поле.

Мощность тока — отношение работы тока ко времени, в течение которого по проводнику протекает ток.

H

Напряжение — отношение работы, совершающейся электрическим полем при перемещении положительного заряда из одной точки поля в другую, к перемещаемому заряду.

Напряженность электростатического поля — величина, равная отношению силы, действующей на пробный положительный заряд, помещенный в данную точку поля, к этому заряду.

P

Переменный ток — электрический ток, изменяющийся со временем по закону синуса.

Постоянный ток — электрический ток, не изменяющийся с течением времени.

Потенциал поля в данной точке — величина, определяемая отношением работы, совершающейся при перемещении положительного заряда из бесконечности в данную точку поля, к перемещаемому заряду.

Проводник — вещество, в котором свободные заряды могут перемещаться по всему объему.

Протонно-нейтронная модель атомного ядра — ядро атома любого химического элемента, состоящее из двух видов элементарных частиц: протонов и нейтронов.

R

Работа тока — работа электрического поля по перемещению свободных зарядов.

Радиоактивное загрязнение — загрязнение, связанное с превышением естественного уровня содержания радиоактивных веществ в окружающей среде.

Радиоактивность — явление самопроизвольного превращения одних ядер в другие с испусканием различных частиц.

C

Сила тока — величина, равная отношению электрического заряда, прошедшего через поперечное сечение проводника, ко времени его прохождения.

Спектральный анализ — метод определения химического состава и других характеристик вещества по его спектру.

T

Термоядерный синтез — реакция, в которой при высокой температуре из легких ядер синтезируются более тяжелые.

Точечный заряд — заряд тела любой формы, размеры которого малы по сравнению с расстояниями его до других заряженных тел.

Трансформатор — устройство, предназначенное для преобразования переменного тока одного напряжения в переменный ток другого напряжения, но той же частоты.

Ф

Фотон — квант электромагнитного излучения.

Ц

Цепная реакция — лавинное нарастание числа расщепившихся атомов урана.

Э

Электризация — процесс сообщения телу электрического заряда.

Электрический заряд — величина, определяющая электромагнитное взаимодействие частиц (тел) с другими частицами (телами).

Электрический ток в газах — упорядоченное (направленное) движение электронов, положительных и отрицательных ионов под действием электрического поля.

Электрический ток в металлах — упорядоченное (направленное) движение свободных электронов под действием электрического поля.

Электрический ток в полупроводниках — упорядоченное (направленное) движение электронов и дырок под действием электрического поля.

Электрический ток в электролитах — упорядоченное (направленное) движение положительных и отрицательных ионов под действием электрического поля.

Электродвигатель — машина, преобразующая электрическую энергию в механическую.

Электромагнитная волна — процесс распространения переменного магнитного и электрического полей.

Электромагнитная индукция — явление возникновения тока в замкнутом проводящем контуре при изменении магнитного поля, пронизывающего контур.

Энергия связи — энергия, которая необходима для полного расщепления ядра на отдельные нуклоны (энергия, которая выделяется при образовании ядра из свободных нуклонов).

Я

Ядерные силы — силы притяжения, связывающие протоны и нейтроны в атомном ядре.

Ядерный реактор — устройство, в котором происходит выделение энергии в результате управляемой цепной реакции деления ядер.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ЭЛЕКТРОДИНАМИКА	5
Глава 1. ЭЛЕКТРОСТАТИКА	
§ 1. Электрический заряд. Закон сохранения электрического заряда	6
§ 2. Закон Кулона — основной закон электростатики	13
§ 3. Электростатическое поле. Напряженность электростатического поля	17
§ 4. Работа по перемещению заряда в электрическом поле. Потенциал. Разность потенциалов	23
Глава 2. ПОСТОЯННЫЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ТОК	
§ 5. Основы электронной проводимости металлов	28
§ 6. Электрический ток в металлах. Сила тока	33
§ 7. Источники тока	37
§ 8. Измерение силы тока	39
§ 9. Электрическое напряжение. Измерение напряжения	43
§ 10. Закон Ома для участка цепи. Электрическое сопротивление	47
§ 11. Удельное электрическое сопротивление вещества	53
§ 12. Соединение проводников	58
§ 13. Работа и мощность электрического тока	64
§ 14. Закон Джоуля—Ленца. Экономия электрической энергии в быту	70
* § 15. Электрический ток в газах. Молния. Грозозащита	74
* § 16. Электрический ток в полупроводниках и электролитах	78
* § 17. Постоянные магниты. Магнитное поле	84
* § 18. Проявление магнитного поля. Линии магнитной индукции	88
* § 19. Действие магнитного поля на прямолинейный проводник с током. Характеристики магнитного поля	94
* § 20. Магнитное поле космических объектов	98
* § 21. Электродвигатель постоянного тока. Принцип действия амперметра и вольтметра	103
Глава 3. ЭЛЕКТРОМАГНЕТИЗМ	
§ 22. Явление электромагнитной индукции	106
§ 23. Закон электромагнитной индукции	110
§ 24. Использование электромагнитной индукции	113
§ 25. Электромагнитное поле. Электромагнитные волны	121
* § 26. Шкала электромагнитных волн	127
* § 27. Принципы радиосвязи и телевидения	132
* § 28. Развитие представлений о природе света. Прямолинейное распространение света	141
* § 29. Отражение света	144

§ 30. Преломление света. Дисперсия света	148
§ 31. Линзы	152
§ 32. Оптические приборы	157
АТОМ И АТОМНОЕ ЯДРО	163
§ 33. Строение атома. Опыты Резерфорда	163
* § 34. Линейчатые спектры испускания и поглощения	165
§ 35. Атомное ядро	169
§ 36. Радиоактивность. Альфа-, бета- и гамма-излучения ..	173
§ 37. Деление ядер урана	178
§ 38. Ядерная энергетика	182
§ 39. Термоядерный синтез	187
§ 40. Радиоактивное загрязнение и его влияние на живые организмы	191
ПОВТОРИТЕЛЬНО-ОБОВЩАЮЩИЙ РАЗДЕЛ	195
Подготовка к итоговой аттестации за курс основной школы	212
Ответы к задачам	217
Предметно-именной указатель	218
Словарь основных понятий за курс 9 класса	220

Учебное издание

Серия «Академический школьный учебник»

**Фадеева Алевтина Алексеевна,
Засов Анатолий Владимирович,
Киселев Дмитрий Федорович**

ФИЗИКА

Электродинамика, атом и атомное ядро
с основами общей астрономии

9 класс

Учебник
для общеобразовательных учреждений

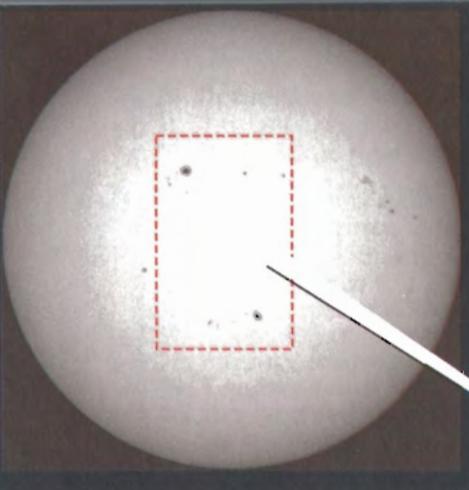
Зав. редакцией *В. И. Егудин*. Редактор *Т. П. Каткова*. Младший редактор *Т. И. Данилова*. Художественный редактор *Т. В. Глушкова*. Художники *А. В. Шетинцева, О. К. Нухамовская, Э. Н. Малания*. Компьютерная верстка и техническое редактирование *О. Ю. Мызниковой*. Корректоры *И. Б. Окунева, А. В. Рудакова, Н. А. Смирнова*.

Налоговая льгота — Общероссийский классификатор продукции ОК 005-93—953000. Изд. лиц. Серия ИД № 05824 от 12.09.01. Подписано в печать 04.04.2008. Формат 60 × 90¹/₁₆. Бумага офсетная. Гарнитура NewtonCSanPin. Печать офсетная. Уч.-изд. л. 13,76 + 0,44 форз. + 0,58 вклейка. Тираж 10 000 экз. Заказ № 3344.

Открытое акционерное общество «Издательство «Просвещение». 127521, Москва, 3-й проезд Марьиной рощи, 41.

ОАО «Тверской ордена Трудового Красного Знамени полиграфкомбинат детской литературы им. 50-летия СССР». 170040, г. Тверь, проспект 50 лет Октября, 46. ♫

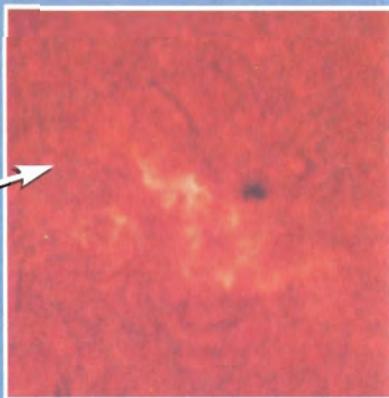
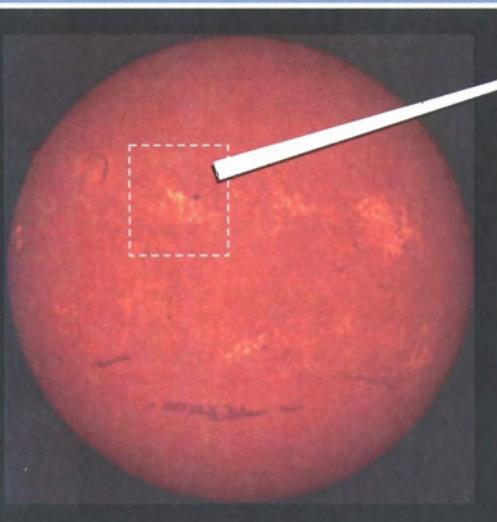
СОЛНЦЕ В РАЗНЫХ Д



Видимый диапазон

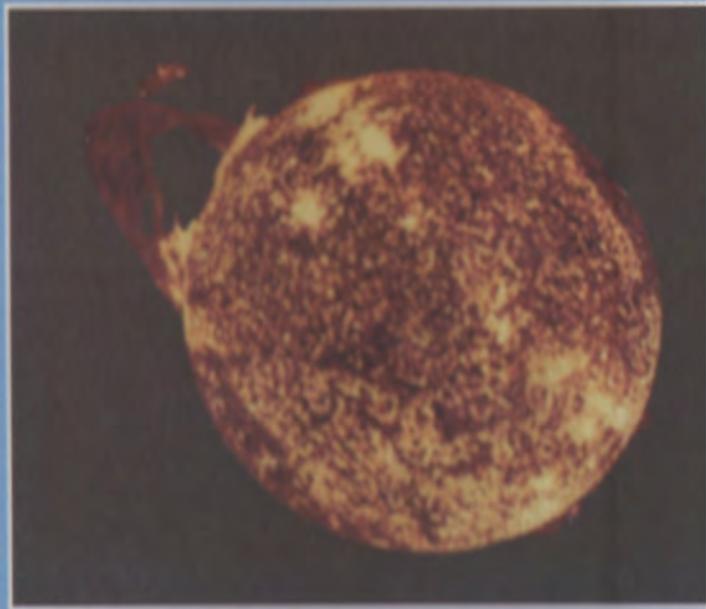


Красная область
видимого диапазона

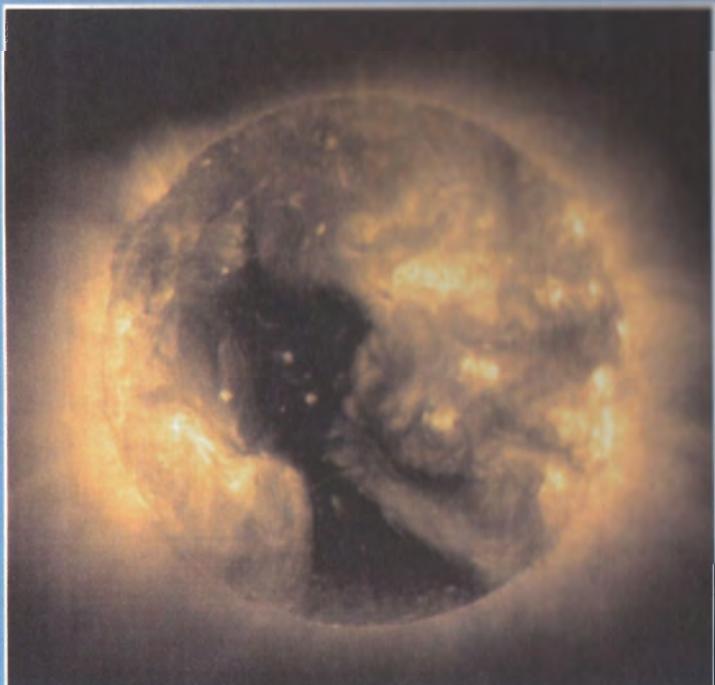


И ДИАПАЗОНАХ ДЛИН ВОЛН

Ультрафиолетовый диапазон



Рентгеновский диапазон



A

Российская академия наук
Российская академия образования
Издательство «Просвещение»

Академический школьный учебник

