

Л. Э. Генденштейн, А. Б. Кайдалов

ФИЗИКА

8
класс

В двух частях

Часть 1

УЧЕБНИК

для общеобразовательных учреждений

Под редакцией В. А. ОРЛОВА, И. И. РОЙЗЕНА

Рекомендовано
Министерством образования и науки
Российской Федерации

5-е издание, исправленное



Москва 2012

УДК 373.167.1:53
ББК 22.3я721
Г34

Гендештейн Л. Э.
Г34 Физика. 8 класс. В 2 ч. Ч. 1 : учебник для общеобразовательных учреждений / Л. Э. Гендештейн, А. Б. Кайдалов ; под ред. В. А. Орлова, И. И. Ройзена. — 5-е изд., испр. — М. : Мнемозина, 2012. — 272 с. : ил.

ISBN 978-5-346-02067-7

Данный учебник полностью соответствует образовательному стандарту второго поколения и является вторым в линии учебников физики для основной школы, созданных одним коллективом авторов. Последовательность изложения материала в линии: 7-й класс — первые сведения о механических явлениях, давление жидкостях и газах, работа и простые механизмы; 8-й класс — тепловые, электромагнитные, оптические явления; 9-й класс — механические, квантовые явления, строение и эволюция Вселенной. Все учебники двухуровневые: материал первого уровня адресован всем учащимся, материал второго уровня — прежде всего тем, кто заинтересуется физикой. Вопросы и задания в конце параграфов также разделены на два уровня сложности. Отличительной особенностью всех книг линии является большое количество цветных иллюстраций.

УДК 373.167.1:53
ББК 22.3я721

Учебное издание

Гендештейн Лев Элевич, Кайдалов Алексей Борисович

ФИЗИКА
8 класс
В двух частях
Часть 1
УЧЕБНИК

для общеобразовательных учреждений

Формат 60 × 90 $\frac{1}{16}$. Бумага офсетная № 1. Гарнитура «Школьная». Печать офсетная. Усл. печ. л. 17,0. Тираж 10 000 экз. Заказ № 31540 (к-т).

Издательство «Мнемозина». 105043, Москва, ул. 6-я Парковая, 29б.

Тел.: 8 (499) 367 5418, 367 5627, 367 6781; факс: 8 (499) 165 9218.

E-mail: ioc@mnemozina.ru www.mnemozina.ru

Магазин «Мнемозина» (розничная и мелкооптовая продажа книг, «КНИГА — ПОЧТОЙ», ИНТЕРНЕТ-магазин).

105043, Москва, ул. 6-я Парковая, 29 б.

Тел./факс: 8 (495) 783 8284; тел.: 8 (495) 783 8285. E-mail: magazin@mnemozina.ru
www.shop.mnemozina.ru

Торговый дом «Мнемозина» (оптовая продажа книг).

Тел./факс: 8 (495) 665 6031 (многоканальный). E-mail: td@mnemozina.ru

Отпечатано в ОАО «Смоленский полиграфический комбинат».
214020, г. Смоленск, ул. Смольянинова, 1.

© «Мнемозина», 2009

© «Мнемозина», 2012, с изменениями

© Оформление. «Мнемозина», 2012
Все права защищены

ISBN 978-5-346-02066-0 (общ.)
ISBN 978-5-346-02067-7 (ч. 1)

ОБ ЭТОМ УЧЕБНИКЕ

В соответствии с образовательным стандартом второго поколения учебник предлагает два уровня изучения предмета — *базовый и повышенный*, а также предусматривает *деятельностный подход к обучению*. Требования стандарта учтены следующим образом.

- Учебник является *двухуровневым*. Материал почти каждого параграфа разделён на две части. Первая часть соответствует базовому уровню и содержит опорные факты, необходимые для дальнейшего изучения предмета; она предназначена всем учащимся. Вторая часть («Развитие темы») — для учащихся, которые выбрали изучение предмета на повышенном уровне: здесь приведены дополнительные интересные сведения, обоснования опорных фактов, история физических открытий.
- Для организации *диалоговой формы учебного процесса* в текст параграфов органично включены *устные вопросы и задачи*.
- Самое главное в каждом параграфе собрано в рубрике «*Что мы узнали*». Это позволит ученику обобщить и лучше осознать изученное, поможет при повторении и ведении конспекта, избавив учителя от диктовки.
- Научить школьника решать задачи поможет постоянная рубрика «*Решим задачу*».
- Приведены описания и иллюстрации опытов, а в конце многих параграфов есть рубрика «*Домашняя лаборатория*», где предложены опыты и наблюдения, доступные каждому ученику.
- Значительное внимание в учебнике уделено овладению учащимися *универсальными учебными действиями* — умению сравнивать, группировать и классифицировать объекты, анализировать, синтезировать и обобщать факты, устанавливать связи между явлениями, пользоваться аналогиями, переносить знания в новую ситуацию.
- *Один параграф учебника рассчитан на среднем на одну учебную неделю (два урока)*. Параграфы разбиты на пункты (разделы), чтобы помочь учителю распределить материал по урокам.
- В учебнике приведены описания *лабораторных работ*, а также задания для *проектной деятельности*, в том числе *коллективной*.

Надеемся, что учебник пробудит у учащихся интерес к замечательной науке — физике, которая является основой научно-технического прогресса.

Углубить и расширить свои знания, а также получить информацию об учебных проектах можно с помощью научно-популярных журналов и Интернета. Приводим ниже некоторые полезные ссылки.

<http://school-collection.edu.ru/catalog/pupil/?subject=30> — Единая коллекция цифровых образовательных ресурсов (ЦОР), раздел «Физика»;

<http://potential.org.ru/> — Образовательный журнал для старшеклассников и учителей;

<http://allphysics.ru/> — сайт для всех, интересующихся физикой;

<http://sfiz.ru/index.php> — «Эта удивительная физика»;

<http://experiment.edu.ru/> — Российский общеобразовательный портал

<http://fiz.1september.ru/> — сайт газеты «Физика. Первое сентября».

Глава 1

ТЕПЛОВЫЕ ЯВЛЕНИЯ

- Внутренняя энергия. Количество теплоты
- Температура. Виды теплопередачи
- Удельная теплоёмкость
- Энергия топлива. Плавление и кристаллизация
- Парообразование и конденсация
- Тепловые двигатели



§ 1.

ВНУТРЕННЯЯ ЭНЕРГИЯ. КОЛИЧЕСТВО ТЕПЛОТЫ

1. Тепловые явления
2. Внутренняя энергия
3. Способы изменения внутренней энергии
4. Закон сохранения энергии

1. ТЕПЛОВЫЕ ЯВЛЕНИЯ

Тепловые явления происходят вокруг нас в природе ежедневно и ежечасно. Это, например, *нагревание, охлаждение, таяние снега, кипение воды, её замерзание, образование облаков*.

❓ Какие тепловые явления происходят на кухне в вашей квартире?

Тепловые явления тесно связаны с уже знакомыми вам механическими явлениями. Чтобы убедиться в этом, потрите энергично ладони: вы почувствуете, что они нагрелись. Дело в том, что вследствие трения механическая энергия ладоней превратилась в энергию хаотического движения молекул, из которых они состоят.

Энергия хаотического движения молекул при нагревании увеличивается, поэтому это движение молекул назвали *тепловым*.

Интенсивность теплового движения поражает воображение. Например, при комнатной температуре средняя скорость молекул — несколько сотен метров в секунду (скорость пули).

Молекулы вещества также *взаимодействуют* друг с другом: существование жидкостей и твёрдых тел обусловлено тем, что молекулы «держатся друг за дружку».

Взаимодействие молекул имеет электрическую природу. На очень малых расстояниях молекулы отталкиваются, а на несколько больших — притягиваются. В твёрдых телах и в жидкостях молекулы расположены на таком расстоянии, что силы отталкивания между ними примерно уравновешивают силы притяжения.

2. ВНУТРЕННЯЯ ЭНЕРГИЯ

Напомним, что энергия характеризует способность тела или системы взаимодействующих тел совершить работу. В 7-м классе вы рассматривали механическую энергию тел.

Она является суммой кинетической и потенциальной энергии: кинетическая энергия обусловлена движением тел, а потенциальная — их взаимодействием.

Частицы, из которых состоят тела, *движутся и взаимодействуют* друг с другом. Поэтому они обладают и кинетической, и потенциальной энергией.

Сумму кинетической энергии хаотического движения частиц тела и потенциальной энергии их взаимодействия называют *внутренней энергией* тела.

НАСКОЛЬКО ВЕЛИКА ВНУТРЕННЯЯ ЭНЕРГИЯ?

Приведём несколько примеров.

Суммарная кинетическая энергия теплового движения молекул в трёхлитровой банке воды при комнатной температуре численно равна работе, которую нужно совершить, чтобы поднять легковой автомобиль на 25-й этаж (рис. 1.1, *a*).

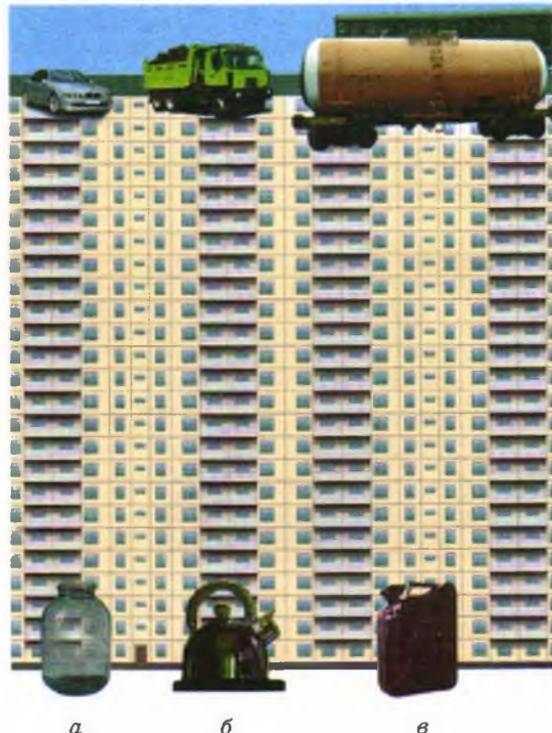


Рис. 1.1. Сравнение внутренней энергии с механической энергией

Чтобы трёхлитровый чайник полностью выкипел, надо сообщить воде энергию, которой хватило бы, чтобы поднять гружёный самосвал на тот же 25-й этаж (рис. 1.1, б).

Ещё большие изменения внутренней энергии могут происходить при *химических реакциях*, когда одни вещества превращаются в другие. Например, при сгорании 3 л бензина выделяется энергия¹, которой хватило бы для подъёма двух гружёных товарных вагонов на 25-й этаж (рис. 1.1, в).

3. СПОСОБЫ ИЗМЕНЕНИЯ ВНУТРЕННЕЙ ЭНЕРГИИ СОВЕРШЕНИЕ РАБОТЫ



ПОСТАВИМ ОПЫТЫ

Если накачивать велосипедную камеру насосом (рис. 1.2, а), можно почувствовать, что насос нагрелся. Объясняется это тем, что, сжимая воздух, мы производим работу, увеличивая внутреннюю энергию газа.

При быстром сжатии газ может нагреться очень сильно. Поместим на дно толстостенного прозрачного цилиндра сухую ватку. Если резко втолкнуть поршень² в цилиндр, воздух в нём нагреется так, что ватка загорится (рис. 1.2, б).

А теперь убедимся, что если работу при расширении совершает само тело, то оно охлаждается.



Рис. 1.2. Изменение внутренней энергии при совершении работы

¹ Под выделением энергии при сгорании топлива понимают частичное превращение потенциальной энергии взаимодействия атомов в молекулах в кинетическую энергию хаотического (теплового) движения молекул.

² Поршнем называют плотно пригнанный к стенкам цилиндра диск, который может двигаться внутри цилиндра.

Будем медленно накачивать воздух в толстостенный стеклянный сосуд, плотно закрытый пробкой. Когда давление воздуха в сосуде станет достаточно большим, пробка выскочит, а в сосуде появится туман (рис. 1.2, в). Появление тумана означает, что воздух в сосуде охладился: при охлаждении содержащиеся в воздухе водяные пары превратились в мельчайшие капельки воды. Итак, мы видим, что в результате совершения работы телом его внутренняя энергия уменьшилась.

Рассмотренные опыты показывают, что внутреннюю энергию тела можно изменить, если совершить работу (или если работу совершает само тело).

ТЕПЛОПЕРЕДАЧА. КОЛИЧЕСТВО ТЕПЛОТЫ

Поставьте на стол стакан горячего чая. Через некоторое время чай остывает, то есть его внутренняя энергия уменьшится.

Значит, внутреннюю энергию тела можно изменить и не совершая работу.

Способ изменения внутренней энергии без совершения работы называют *теплопередачей*.

Энергию, которую тело получает или отдаёт в процессе теплопередачи, называют *количеством теплоты*.

Количество теплоты обозначают Q . Единицей количества теплоты является *дюоуль* (Дж).

Измерения показывают, что если теплопередача осуществляется между двумя телами, то количество теплоты Q_1 , которое отдаёт более нагретое тело, равно количеству теплоты Q_2 , которое получает менее нагретое тело. Это означает, что

в тепловых процессах энергия сохраняется.

4. ЗАКОН СОХРАНЕНИЯ ЭНЕРГИИ

Представление о том, что теплота — это форма движения частиц вещества, развивали учёные разных стран, в том числе российский учёный М. В. Ломоносов. В середине 18-го века в труде «Размышления о причине тепла и холода» он писал: «...теплота возбуждается движением: от взаимного трения руки согреваются, дерево загорается пламенем; при ударе кремня об огниво появляются искры...» Из этого учёный сделал вывод, что «теплота состоит во внутреннем движении материи».

В первой половине 19-го века французский учёный С. Карно писал¹: «Теплота — это механическая энергия, изменившая свой вид: это энергия движения частиц тела. Когда происходит уничтожение механической энергии, возникает одновременно теплота в количестве, точно равном исчезнувшей механической энергии. И наоборот, при исчезновении теплоты всегда возникает механическая энергия. Таким образом, энергия... никогда не создаётся и никогда не уничтожается, изменяя только свою форму». Это — первая формулировка закона сохранения энергии в тепловых процессах.

Закон сохранения энергии как *общий закон природы*, объединяющий не только механические и тепловые, но и все другие явления, сформулировали в середине 19-го века независимо друг от друга трое учёных: немецкие учёные Р. Майер (он был первым) и Г. Гельмгольц, а также английский учёный Дж. Джоуль.



М. В. Ломоносов
(1711—1765)



С. Карно
(1796—1832)



Р. Майер
(1814—1878)



Дж. Джоуль
(1818—1889)



Г. Гельмгольц
(1821—1894)

¹ При цитировании С. Карно мы используем современную терминологию.



РАЗВИТИЕ ТЕМЫ

ЧТО МЫ УЗНАЛИ

- Молекулы вещества находятся в непрестанном хаотическом движении, скорость которого при нагревании увеличивается.
- Внутренней энергией тела называют сумму кинетической энергии хаотического движения и потенциальной энергии взаимодействия частиц, из которых состоит тело.
- Внутренняя энергия тела изменяется при его нагревании или охлаждении, изменении агрегатного состояния и при химических реакциях.
- Внутреннюю энергию тела можно изменить двумя способами: совершив работу или посредством теплопередачи.
- Теплопередачей называют изменение внутренней энергии тела без совершения работы. Энергию, получаемую или отдаваемую телом при теплопередаче, называют количеством теплоты.
- В тепловых процессах энергия сохраняется.
- Закон сохранения энергии является общим законом природы. Согласно этому закону энергия не возникает и не исчезает, а только изменяет свою форму.



ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ

Первый уровень

1. Сравните различные тепловые явления: что у них общего и чем они различаются?
2. Мальчик съезжает с горы на санках и, проехав некоторое расстояние, останавливается. Расскажите о превращениях энергии, которые при этом происходят.
3. Расскажите о «тепловом движении» молекул. Опишите, как зависит скорость этого движения от температуры.
4. Сравните внутреннюю энергию с механической: что у них общего и чем они различаются?
5. По каким признакам можно установить, что внутренняя энергия тела изменилась?
6. Сравните различные способы изменения внутренней энергии: что у них общего и чем они различаются?

7. Приведите пример изменения внутренней энергии тела с помощью совершения работы, не упоминавшийся в учебнике.
8. Приведите пример изменения внутренней энергии тела посредством теплопередачи.
9. Объясните, почему единица количества теплоты такая же, как единица работы.

Второй уровень

10. Приведите доводы в пользу существования взаимодействия молекул.
11. Объясните, почему превращение механической энергии во внутреннюю долго оставалось незамеченным.
12. Можно ли говорить о «содержащемся в теле количестве теплоты»? Обоснуйте свой ответ.



ДОМАШНЯЯ ЛАБОРАТОРИЯ

1. Зайдите на кухню и внимательно осмотритесь. Какие тепловые явления вам удалось заметить?
2. Попробуйте изменить внутреннюю энергию одного и того же тела сначала с помощью совершения работы, а затем — посредством теплопередачи.

§ 2.

ТЕМПЕРАТУРА. ВИДЫ ТЕПЛОПЕРЕДАЧИ

1. Температура
2. Виды теплопередачи
3. Почему днём ветер дует с моря?
4. Существует ли самая высокая и самая низкая температура?

1. ТЕМПЕРАТУРА

Вследствие теплопередачи внутренняя энергия всегда переходит от более нагретого тела к менее нагретому. «Степень нагретости» тела характеризуют *температурой*: более нагретое тело имеет более высокую (или большую) температуру.

Таким образом, физический смысл температуры состоит в том, что

при теплопередаче энергия всегда переходит от тела с большей температурой к телу с меньшей температурой.

О телах с одинаковой температурой говорят, что они находятся в состоянии *теплового равновесия*.

Температуру измеряют с помощью *термометров*¹. Часто используют жидкостные термометры, действие которых основано на том, что жидкость при нагревании расширяется (рис. 2.1).

Температуру измеряют в градусах. В *шкале Цельсия*² за 0 градусов выбрали температуру таяния льда, а за 100 градусов — температуру кипения воды при атмосферном давлении. Градусы Цельсия обозначают °С. Например, комнатная температура равна примерно 20 °С.

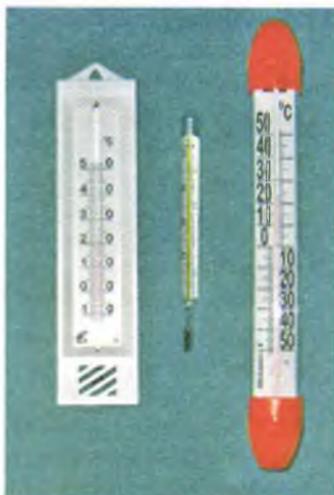


Рис. 2.1. Жидкостные термометры

2. ВИДЫ ТЕПЛОПЕРЕДАЧИ

ТЕПЛОПРОВОДНОСТЬ

Прикоснитесь к тёплой батарее отопления: вы почувствуете, что рука нагревается. Значит,

при *контакте* двух тел разной температуры между ними происходит теплопередача. Этот вид теплопередачи называют *теплопроводностью*.

Механизм теплопроводности на молекулярном уровне таков: молекулы, имеющие большую кинетическую энергию, передают часть своей энергии молекулам с меньшей кинетической энергией. Эта передача энергии происходит вследствие взаимодействия молекул.

Передача энергии посредством теплопередачи может происходить и между частями одного тела.



ПОСТАВИМ ОПЫТ

Прикрепим воском к медному и стальному стержням несколько монет. Если нагревать стержни, воск начнёт плавиться

¹ От греческих слов «терме» — жар и «метрео» — измеряю.

² Эта шкала температуры названа в честь шведского астронома Андерса Цельсия.

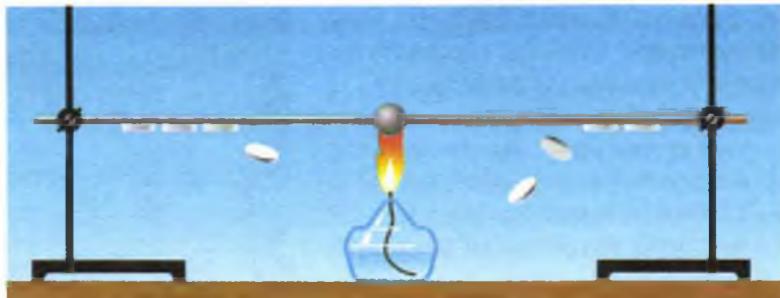


Рис. 2.2. Передача энергии вдоль стержня

и монеты будут отпадать (рис. 2.2). Сначала отпадут монеты у нагретого конца стержня, а затем и остальные. Значит, вдоль стержня происходит теплопередача.

Обратите внимание:

при теплопроводности происходит передача энергии, но не происходит переноса вещества.

Теплопроводностью называют также способность вещества проводить тепло. Например, то, что в нашем опыте монеты отпали от медного стержня раньше, чем от стального, означает, что медь имеет большую теплопроводность, чем сталь.

Высокой теплопроводностью обладают все металлы. Намного хуже проводят тепло вода, кирпич и стекло. Ещё меньше теплопроводность дерева.

Особенно мала теплопроводность газов. Дело в том, что теплопроводность тела обусловлена взаимодействием его молекул, а молекулы газов взаимодействуют друг с другом только при сравнительно редких столкновениях.

Греет ли шуба? Тёплые вещи называют «тёплыми» не потому, что они греют, а потому, что они помогают нам сохранять *собственное* тепло. Малая теплопроводность тёплых вещей обусловлена тем, что они обычно лёгкие и пушистые, то есть «наполнены» воздухом, а у воздуха очень малая теплопроводность. По той же причине мала и теплопроводность пористых материалов (например, пенопласта), а также снега, особенно свежевыпавшего.

Хорошую теплоизоляцию двойных оконных рам обеспечивает воздушный зазор между стёклами.



Почему у кастрюль и сковородок делают деревянные или пластмассовые ручки?

Почему земледельцы огорчаются, когда морозы ударяют до того, как снег покрывает поля?

На рис. 2.3 изображены в разрезе три стены — кирпичная, деревянная и сделанная из пенопласта. Они имеют разную толщину, но обеспечивают *одинаковую* теплоизоляцию!

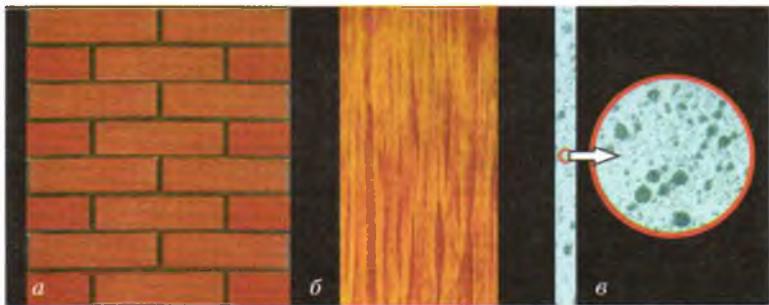


Рис. 2.3. Три показанные в разрезе стены обеспечивают одинаковую теплоизоляцию

КОНВЕКЦИЯ

Подышите тёплым воздухом на руки — вы почувствуете, что они нагреваются (рис. 2.4, а). Значит, между вашими лёгкими и руками происходит теплопередача. Она осуществляется посредством *переноса вещества* — потока тёплого воздуха.

Вид теплопередачи, обусловленный потоками газа или жидкости, называют **конвекцией**¹.



Почему конвекция не может происходить в твёрдых телах?



ПОСТАВИМ ОПЫТ

Поместим в колбу с водой немного красящего вещества и поставим колбу на огонь. Мы увидим, что нагретые слои воды будут подниматься в центральной части колбы и, охлаждаясь, опускаться вдоль стенок (рис. 2.4, б).

¹ От латинского слова «конвектио» — перенесение.



Рис. 2.4. Примеры конвекции

Вынужденная и естественная конвекция. Когда вы дышите на руки, поток воздуха возникает благодаря вашему дыханию. Это — пример *вынужденной* конвекции. В технике вынужденную конвекцию создают насосами, вентиляторами или с помощью перемешивания.

Примером же *естественной* конвекции служит нагревание воды в колбе над огнём: нагретая вода легче холодной и поэтому сама поднимается вверх, а на её место опускается более тяжёлая холодная вода.

Посредством естественной конвекции прогревается также воздух в отапливаемой комнате (рис. 2.4, в).

?

Почему батареи отопления ставят у пола, а форточку делают в верхней части окна?

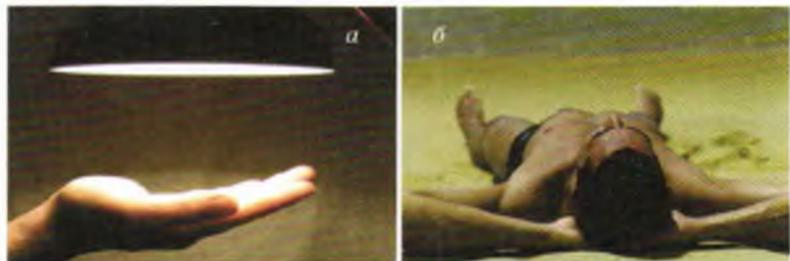


Рис. 2.5. Теплопередача посредством излучения

ИЗЛУЧЕНИЕ

Поднесите снизу руку к включенной лампе накаливания (рис. 2.5, а). Вы почувствуете, что рука нагревается. Значит, между лампой и рукой происходит теплопередача.

Она обусловлена не теплопроводностью, так как воздух плохо проводит тепло. Это и не конвекция: нагретый лампой воздух легче холодного и поэтому поднимается вверх, а руку вы поднесли к лампе снизу.

В данном случае теплопередача осуществляется благодаря электромагнитному излучению. Это — единственный вид теплопередачи в вакууме (пустоте).

Теплопередача посредством излучения играет огромную роль в природе. Греясь под солнечными лучами (рис. 2.5, б), мы не всегда осознаём, что излучение Солнца — источник почти всех видов энергии на Земле.

Наблюдения и опыты показывают, что тёмные предметы излучают и поглощают энергию посредством излучения интенсивнее, чем светлые. Поэтому летом в жаркий день надевают светлую одежду — она меньше нагревается Солнцем.

?

Почему самолёты делают белыми или серебристыми?



РАЗВИТИЕ ТЕМЫ

3. ПОЧЕМУ ДНЁМ ВЕТЕР ДУЕТ С МОРЯ?

Днём почва нагревается сильнее, чем вода. Нагретый воздух легче холодного, поэтому он поднимается, а на его место с моря приходит более прохладный воздух. Поэтому днём

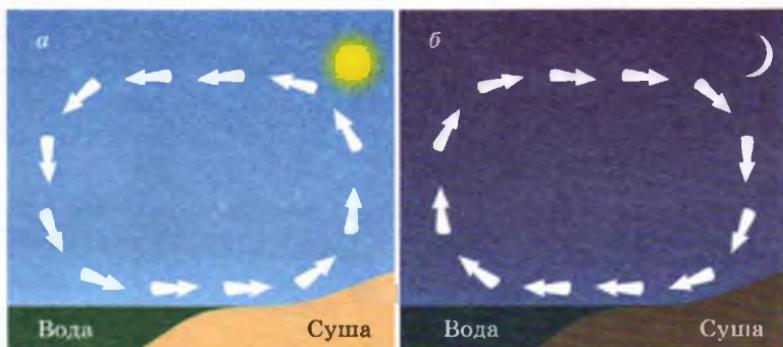


Рис. 2.6. Схема возникновения дневного и ночного бриза

ветер дует обычно с моря. Его называют **дневным** бризом (рис. 2.6, а). Это — пример естественной конвекции.

? Используя рис. 2.6, б, объясните, почему ночью ветер дует с берега (этот ветер называют **ночным бризом).**

Ночной бриз отгоняет волны от берега, поэтому рано утром море бывает особенно спокойным.

4. СУЩЕСТВУЕТ ЛИ САМАЯ ВЫСОКАЯ И САМАЯ НИЗКАЯ ТЕМПЕРАТУРА?

Температура связана со средней кинетической энергией хаотического движения частиц вещества: чем больше средняя кинетическая энергия частиц, тем выше температура.

Верхнего предела для кинетической энергии частиц нет, поэтому нет и верхнего предела для температуры. Например, температура в центре Солнца равна примерно 15 миллионам градусов, а при взрывах звёзд она достигает десятков миллиардов градусов. А вот

самая низкая температура существует — это температура, при которой хаотическое (тепловое) движение частиц прекращается: она равна -273°C .

Существование самой низкой температуры предвидел ещё М. В. Ломоносов. Он писал: «...должна существовать наибольшая и последняя степень холода, которая состоит в полном прекращении... движения частиц».

ЧТО МЫ УЗНАЛИ

- Температура — это физическая величина, определяющая направление теплопередачи: при теплопередаче внутренняя энергия всегда переходит от тела с большей температурой к телу с меньшей температурой.
- Тела, имеющие одинаковую температуру, находятся в тепловом равновесии.
- Температуру измеряют термометрами. По шкале Цельсия за 0°C принимают температуру таяния льда, а за 100°C — температуру кипения воды при атмосферном давлении.
- Существует самая низкая температура, равная -273°C .
- Существуют три вида теплопередачи: теплопроводность, конвекция и излучение.
- Теплопроводностью называют вид теплопередачи, обусловленный передачей энергии от одного тела к другому или от одних частей тела к другим в результате теплового движения и взаимодействия частиц. В процессе теплопроводности не происходит переноса вещества.
- Конвекцией называют вид теплопередачи, обусловленный переносом вещества. Конвекция происходит только в жидкостях и газах. Конвекция бывает вынужденной и естественной.
- Излучением называют вид теплопередачи, обусловленный электромагнитным излучением.



ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ

Первый уровень

1. Справедливо ли утверждение, что при теплопередаче внутренняя энергия переходит от тела с большей внутренней энергией к телу с меньшей внутренней энергией? Если нет, то как его надо изменить, чтобы получить правильное утверждение?
2. Расскажите о тепловом равновесии.
3. Опишите приборы для измерения температуры.
4. Опишите шкалу температур Цельсия.
5. Сравните различные виды теплопередачи: что у них общего и чем они различаются?

6. Приведите примеры каждого из видов теплопередачи.
7. Что теплее — три рубашки или одна рубашка тройной толщины? Обоснуйте свой ответ.
8. Объясните, почему для измерения температуры надо некоторое время подержать термометр под мышкой.
9. В каком климате теплопроводность стен домов должна быть меньшей — в холодном или в тёплом?
10. В «тёплую» шубу завернули банку холодного молока. Согреет ли шуба это молоко или, наоборот, сохранит его холодным?

Второй уровень

11. Имеется три тела: А, Б и В. Может ли энергия в процессе теплопередачи переходить от А к Б, от Б к В и от В снова к А? Обоснуйте свой ответ.
12. Представьте, что стекло, из которого сделана трубка жидкостного термометра, расширялось бы при нагревании также, как содержащаяся в трубке жидкость. Можно ли было бы измерить температуру таким термометром? Обоснуйте свой ответ.
13. Расскажите о молекулярном механизме теплопроводности.
14. Объясните, почему самой высокой температуры не существует, а самая низкая — существует.
15. Стоящий в комнате стакан горячего чая остывает. Опишите виды теплопередачи, которые при этом происходят.
16. Объясните, почему зимой дует даже от закрытого окна.
17. Расскажите о дневном и ночном бризах.
18. Стенки термоса делают двойными, причём между ними создают вакуум, а внутренние поверхности стенок делают зеркальными. Объясните, почему термос хорошо сохраняет тепло. Будет ли он так же хорошо сохранять и холод?
19. Составьте задачу по теме «Виды теплопередачи», ответом которой было бы «Только в жидкостях и газах».



ДОМАШНЯЯ ЛАБОРАТОРИЯ

Возьмите две одинаковые пластиковые бутылки вместимостью 0,5 л, налейте в них воду, плотно закройте и поставьте на несколько часов в холодильник. Затем выньте бутылки из холодильника и поставьте одну бутылку на стол в комнате, а другую заверните в тёплую одежду (например, в шубу). Потрогайте бутылки через несколько часов. Согрела ли тёплая одежда воду или, наоборот, сохранила её холодной?

§ 3.

УДЕЛЬНАЯ ТЕПЛОЁМКОСТЬ

1. Удельная теплоёмкость
2. Уравнение теплового баланса

1. УДЕЛЬНАЯ ТЕПЛОЁМКОСТЬ

Измерения показывают, что количество теплоты Q , которое надо передать телу, чтобы нагреть его от начальной температуры $t_{\text{н}}$ до конечной температуры $t_{\text{к}}$, прямо пропорционально массе тела m и разности этих температур.

Следовательно, можно записать

$$Q = cm(t_{\text{k}} - t_{\text{n}}).$$

Величину c в этой формуле называют *удельной теплоёмкостью вещества*, из которого состоит данное тело. Она численно равна количеству теплоты, которое надо сообщить телу массой 1 кг, состоящему из этого вещества, чтобы повысить температуру тела на 1°C . Единицей удельной теплоёмкости является 1 $\frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^{\circ}\text{C}}$.

Ниже приведены измеренные опытным путём значения удельной теплоёмкости для некоторых веществ.

Вещество	$c, \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^{\circ}\text{C}}$	Вещество	$c, \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^{\circ}\text{C}}$
Золото	130	Масло подсолнечное	1700
Свинец	130	Лёд	2100
Медь	390	Спирт	2400
Алюминий	900	Вода	4200

? Какое количество теплоты надо передать медному брускому массой 1 кг, чтобы нагреть его на 1°C ?

Свинцовому и медному брускам одинаковой массы сообщили одинаковое количество теплоты. При этом медный брускок нагрелся на 10°C . На сколько нагрелся свинцовый брускок?

Если тело не нагревается, а охлаждается (например вследствие теплопроводности при контакте с более холодным телом), то конечная температура тела t_{k} будет меньше его начальной температуры t_{n} . В таком случае тело при охлаждении *отдаёт* количество теплоты:

$$Q = cm(t_{\text{n}} - t_{\text{k}}).$$

Как вы могли заметить из приведённой таблицы, особенно велика теплоёмкость воды. Чтобы «почувствовать» её, решим следующую задачу.



РЕШИМ ЗАДАЧУ

Оценим, на какой этаж мог бы подняться школьник массой 50 кг, совершив работу, численно равную количеству теплоты, которое отдаёт стакан воды, остывая от 100 °C до комнатной температуры (20 °C)? Высоту одного этажа примем равной 3 м.

Решение. Масса воды в стакане равна 0,2 кг. При остывании вода отдаёт количество теплоты

$$Q = cm(t_b - t_k) = 4200 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}} \cdot 0,2 \text{ кг} \cdot (100^\circ\text{C} - 20^\circ\text{C}) \approx 67 \cdot 10^3 \text{ Дж.}$$

При подъёме на высоту h школьник совершает работу $A = mgh$, где m — масса школьника, $g = 10 \frac{\text{Н}}{\text{кг}}$. По условию $A = Q$, следовательно,

$$h = \frac{Q}{mg} = \frac{6,7 \cdot 10^3 \text{ Дж}}{50 \text{ кг} \cdot 10 \frac{\text{Н}}{\text{кг}}} \approx 130 \frac{\text{Дж}}{\text{Н}} = 130 \text{ м.}$$

Это означает, что школьник мог бы подняться на 43 этажа!

Ответ: на 43 этажа.

Большой теплоёмкостью воды объясняется *мягкий морской климат*. Огромная масса морской воды летом поглощает «излишек тепла», а в зимние месяцы отдаёт его. По той же причине вблизи моря невелик перепад температур между днём и ночью.

В местностях же, расположенных далеко от моря, климат *континентальный* — с большими перепадами температуры между летом и зимой, а также между днём и ночью. Таким, например, является климат Сибири.

2. УРАВНЕНИЕ ТЕПЛОВОГО БАЛАНСА

Если теплопередача происходит только между двумя телами, то согласно закону сохранения энергии количество теплоты Q_1 , которое отдаёт более нагретое тело, равно количеству теплоты Q_2 , которое получает менее нагретое тело:

$$Q_1 = Q_2.$$

Это соотношение называют *уравнением теплового баланса*.

Рассмотрим простую задачу на применение уравнения теплового баланса.



РЕШИМ ЗАДАЧУ

К 100 г воды при температуре 60 °С долили 50 г воды при температуре 10 °С. Какова будет температура смеси? Будем считать, что теплопередачей окружающему воздуху можно пренебречь.

Дано:

$$m_1 = 0,1 \text{ кг}$$

$$t_1 = 60^\circ\text{C}$$

$$m_2 = 0,05 \text{ кг}$$

$$t_2 = 10^\circ\text{C}$$

$$t_{\kappa} = ?$$

Решение.

Горячая вода отдаст количество теплоты $Q_1 = cm_1(t_1 - t_{\kappa})$, а холодная вода получит количество теплоты $Q_2 = cm_2(t_{\kappa} - t_2)$. В этих формулах c — удельная теплоёмкость воды.

Согласно уравнению теплового баланса $Q_1 = Q_2$, откуда получаем

$$cm_1(t_1 - t_{\kappa}) = cm_2(t_{\kappa} - t_2).$$

Следовательно,

$$\begin{aligned} t_{\kappa} &= \frac{m_1 t_1 + m_2 t_2}{m_1 + m_2} = \\ &= \frac{0,1 \text{ кг} \cdot 60^\circ\text{C} + 0,05 \text{ кг} \cdot 10^\circ\text{C}}{0,1 \text{ кг} + 0,05 \text{ кг}} = 43^\circ\text{C}. \end{aligned}$$

Ответ: 43 °С.

Количество теплоты, отданное или полученное телом, можно измерить с помощью *калориметра*¹.

Школьный калориметр состоит из двух стаканов, вставленных один в другой. На рис. 3.1, а изображён калориметр в разобранном виде, а на рис. 3.1, б — в собранном (в разрезе, наполненный водой). Воздушная прослойка и подставка уменьшают теплопередачу между содержимым внутреннего стакана и окружающим воздухом.

Рассмотрим на примере, как с помощью калориметра можно измерить удельную теплоёмкость вещества.

¹ От латинского слова «калор» — жар и греческого «метрео» — измеряю.

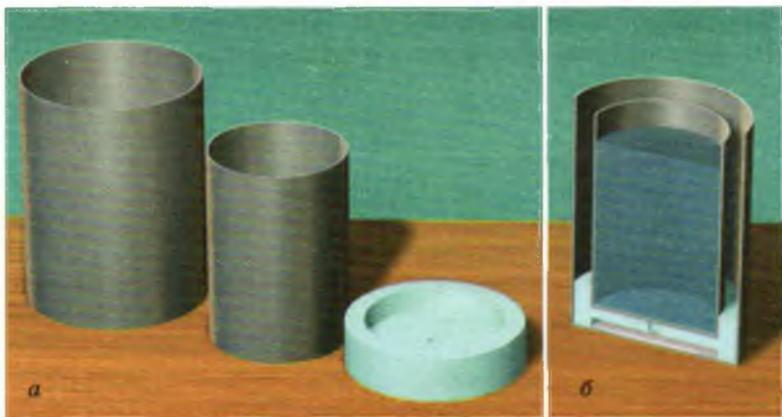


Рис. 3.1. Школьный калориметр



РЕШИМ ЗАДАЧУ

В калориметр налили 0,1 кг воды при температуре 20 °C и погрузили в воду вынутый из кипятка металлический брускок массой 0,2 кг. Чему равна удельная теплоёмкость этого металла, если в калориметре установилась температура 44 °C? Какой это может быть металл? Будем считать, что теплопередачей калориметру и окружающему воздуху можно пренебречь.

Дано:

$$m_v = 0,1 \text{ кг}$$

$$c_v = 4200 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$$

$$t_v = 20^\circ\text{C}$$

$$m_m = 0,2 \text{ кг}$$

$$t_m = 100^\circ\text{C}$$

$$t_k = 44^\circ\text{C}$$

$$c_m - ?$$

Решение.

Вследствие теплопередачи брускок отдал количество теплоты $Q_m = c_m m_m (t_m - t_k)$, а вода получила количество теплоты

$$Q_v = c_v m_v (t_k - t_v).$$

Согласно уравнению теплового баланса $Q_m = Q_v$, следовательно,

$$c_m m_m (t_m - t_k) = c_v m_v (t_k - t_v).$$

Отсюда получаем

$$c_m = \frac{c_v m_v (t_k - t_v)}{m_m (t_m - t_k)} =$$

$$= \frac{4200 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}} \cdot 0,1 \text{ кг} \cdot (44^\circ\text{C} - 20^\circ\text{C})}{0,2 \text{ кг} \cdot (100^\circ\text{C} - 44^\circ\text{C})} = 900 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}.$$

Сравнивая полученное значение с таблицей, мы видим, что это — удельная теплоёмкость алюминия.

Ответ: $900 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$; брусок может быть алюминиевым.

ЧТО МЫ УЗНАЛИ

- Количество теплоты, которое надо передать телу, чтобы нагреть его от начальной температуры $t_{\text{н}}$ до конечной температуры $t_{\text{к}}$, находят по формуле $Q = cm(t_{\text{к}} - t_{\text{н}})$, где m — масса тела, c — удельная теплоёмкость вещества, из которого состоит тело.
- Если теплопередача происходит только между двумя телами, то количество теплоты Q_1 , которое отдаёт более нагретое тело, равно количеству теплоты Q_2 , которое получает менее нагретое тело: $Q_1 = Q_2$. Это соотношение называют уравнением теплового баланса.



ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ

Первый уровень

1. Опишите физические величины, входящие в формулу $Q = cm(t_{\text{к}} - t_{\text{н}})$.
2. Объясните, почему удельная теплоёмкость характеризует вещество, а не тело.
3. Для нагревания металлического бруска массой 1 кг на 10°C ему сообщили количество теплоты 3,9 кДж. Из какого металла может быть сделан брусок?
4. Какое количество теплоты надо сообщить воде массой 10 кг для нагревания на 10°C ?
5. Расскажите, какие особенности климата обусловлены большой удельной теплоёмкостью воды.
6. Следствием какого закона природы является уравнение теплового баланса?
7. С какой целью уменьшают теплопередачу от внутреннего стакана калориметра окружающей среде?

Второй уровень

8. В калориметр, содержащий некоторую массу воды при температуре 20°C , опустили вынутый из кипятка медный цилиндр такой же массы. Нагреется ли вода до 30°C ?
9. Для нагревания свинцового и алюминиевого брусков на 10°C им необходимо сообщить одинаковое количество теплоты. Масса какого бруска больше и во сколько раз?

- Сколько кипятка надо налить в ванночку для купания ребёнка, содержащую 20 л воды при температуре 20 °C, чтобы температура смеси стала равной 36 °C? Примите, что теплообмена с ванночкой и окружающим воздухом не происходит.
- При падении с какой высоты вода могла бы закипеть при ударе о землю, если бы половина механической энергии воды превращалась в её внутреннюю энергию? Начальная температура воды 20 °C.
- Составьте задачу по теме «Уравнение теплового баланса», ответом которой было «На 20 °C».



ДОМАШНЯЯ ЛАБОРАТОРИЯ

Налейте в литровую банку 0,5 л холодной воды из-под крана. Измерьте температуру воды. Осторожно долейте банку доверху кипятком (лейте его не на стенки банки, а в воду!). Размешайте воду в банке и измерьте её температуру. Сравните её с температурой, найденной с помощью уравнения теплового баланса в предположении, что теплопередачей окружающей среде можно пренебречь. Сделайте вывод: оправдано ли в данном случае такое предположение?

§ 4.

ЭНЕРГИЯ ТОПЛИВА. ПЛАВЛЕНИЕ И КРИСТАЛЛИЗАЦИЯ

- Удельная теплота сгорания
- Плавление
- Кристаллизация

В этом параграфе мы рассмотрим тепловые явления, обусловленные главным образом изменением энергии взаимодействия атомов.

1. УДЕЛЬНАЯ ТЕПЛОТА СГОРАНИЯ

Опыты показывают, что количество теплоты Q , выделившееся при полном сгорании топлива, пропорционально его массе:

$$Q = qm.$$

Коэффициент пропорциональности q называют *удельной теплотой сгорания топлива*. Она численно равна количеству теплоты, которое выделяется при сгорании 1 кг топлива.

Единицей удельной теплоты сгорания является $1 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$ (джоуль на килограмм). Из приведённой ниже таблицы видно, что значения удельной теплоты сгорания большинства видов топлива измеряют в **миллионах джоулей на килограмм** (МДж/кг).

Вещество	$q, \text{ МДж/кг}$	Вещество	$q, \text{ МДж/кг}$
Дрова сухие	12	Природный газ	44
Спирт	26	Бензин	44
Уголь каменный	27	Водород	120

?

Какое количество теплоты выделяется при сгорании каменного угля массой 100 кг?

При сгорании некоторой массы природного газа выделилось количество теплоты 4,4 МДж. Какова масса газа?

Чтобы лучше представить себе «скрытую» в топливе энергию, рассмотрим следующую задачу.



РЕШИМ ЗАДАЧУ

На какую высоту можно поднять легковой автомобиль массой 1 т, совершив работу, численно равную энергии, которая выделяется при сгорании 3 л бензина? Плотность бензина $700 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$.

Решение. При сгорании бензина выделяется энергия $Q = qm_b = qpV$, где p — плотность бензина, V — его объём. При подъёме автомобиля массой m на высоту h совершается работа $A = mgh$. По условию $A = Q$, откуда получаем

$$h = \frac{qpV}{m_g} = \frac{44 \cdot 10^6 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}} \cdot 700 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \cdot 3 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3}{10^3 \text{ кг} \cdot 10 \frac{\text{Н}}{\text{кг}}} = 9200 \text{ м.}$$

Это больше, чем высота самой высокой горы на Земле (рис. 4.1)!

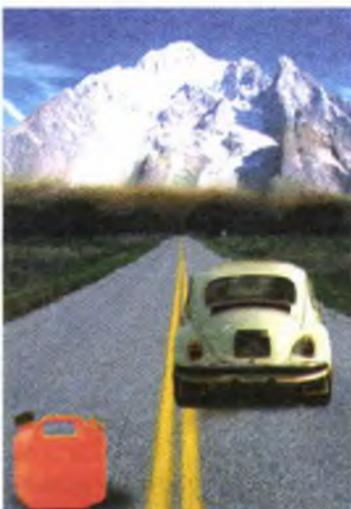


Рис. 4.1. К решению задачи

Однако, как вы узнаете из следующих параграфов, далеко не всю энергию, выделившуюся при сгорании топлива, удаётся преобразовать в механическую.

Ответ: 9,2 км.

Как вы, наверное, заметили, особенно велика удельная теплота сгорания водорода. По этой причине его используют в качестве топлива для ракетных двигателей.

2. ПЛАВЛЕНИЕ

При нагревании до определённой температуры любое *кристаллическое* твёрдое тело превращается в жидкость. Радующий нас каждую весну пример — таяние льда при 0 °С.

Переход вещества из кристаллического состояния в жидкое называют *плавлением*.

Температуру, при которой происходит плавление данного вещества, называют *температурой плавления* этого вещества (см. таблицу ниже¹).

Вещество	$t_{\text{пл}}$, °С	Вещество	$t_{\text{пл}}$, °С
Водород	-259	Натрий	98
Кислород	-218	Свинец	327
Спирт	-114	Серебро	962
Ртуть	-39	Железо	1539
Лёд	0	Вольфрам	3410

У аморфных тел (например, сделанных из стекла) определённой температуры плавления нет: аморфные тела при нагревании размягчаются постепенно.

УДЕЛЬНАЯ ТЕПЛОТА ПЛАВЛЕНИЯ



ПОСТАВИМ ОПЫТ

Поставим в комнате сосуд со снегом или мелко накрошеным льдом (его температура должна быть ниже 0 °С) и будем следить, как изменяется его температура со временем. Мы увидим, что сначала температура льда повышается (рис. 4.2, а). Однако когда столбик термометра дойдёт до 0 °С и лёд начнёт таять,

¹ Приведены значения температуры плавления при атмосферном давлении.

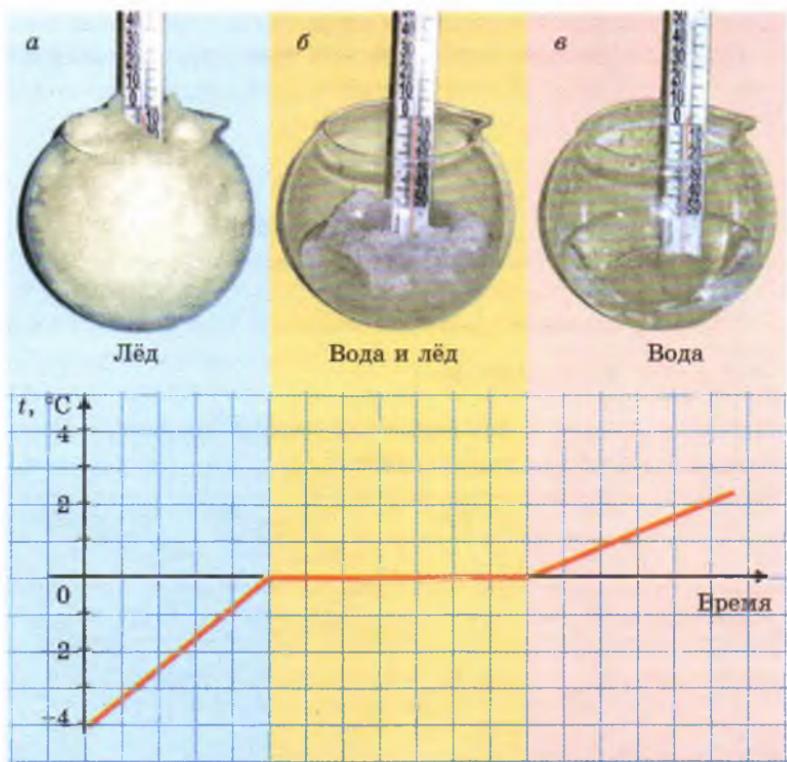


Рис. 4.2. График изменения температуры со временем при нагревании льда, его таянии и нагревании образовавшейся из него воды

температура смеси воды со льдом будет оставаться равной 0°C до тех пор, пока весь лёд не растает (рис. 4.2, б). И только потом столбик термометра снова поползёт вверх, показывая, что образовавшаяся изо льда вода начала нагреваться (рис. 4.2, в).

Почему же температура смеси воды со льдом оставалась неизменной, хотя эта смесь всё время получала тепло от тёплого воздуха в комнате?

Дело в том, что вся энергия, получаемая смесью от тёплого воздуха, расходовалась на увеличение потенциальной энергии взаимодействия молекул при таянии льда. Средняя же кинетическая энергия хаотического движения молекул оставалась при этом неизменной, а температура определяется именно средней кинетической энергией молекул.

Опыты показывают, что для того чтобы полностью расплавить кристаллическое тело при его температуре плавления, ему надо передать количество теплоты Q , пропорциональное его массе:

$$Q = \lambda m.$$

Коэффициент пропорциональности λ называют *удельной теплотой плавления*. Она численно равна количеству теплоты, которое надо сообщить кристаллическому телу массой 1 кг при температуре плавления, чтобы полностью превратить его в жидкость. Единицей удельной теплоты плавления является $1 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$ (джоуль на килограмм).

Ниже приведены опытные значения удельной теплоты плавления для некоторых веществ.

Вещество	λ , кДж/кг	Вещество	λ , кДж/кг
Ртуть	12	Серебро	87
Свинец	24	Лёд	330
Водород	59	Алюминий	390

Какое количество теплоты надо сообщить свинцовому брускю массой 2 кг при температуре плавления свинца, чтобы расплавить его?

3. КРИСТАЛЛИЗАЦИЯ

При охлаждении до определённой температуры жидкость превращается в твёрдое тело. Например, вода замерзает, превращаясь в лёд.

Переход вещества из жидкого состояния в кристаллическое называют *кристаллизацией* (или *отвердеванием*).

Кристаллизация происходит при той же температуре, что и плавление, то есть при температуре плавления.

Из закона сохранения энергии следует, что при кристаллизации данной массы жидкости *выделяется* такое же количество теплоты, какое поглощается при плавлении такой же массы этого вещества в твёрдом состоянии.



ПОСТАВИМ ОПЫТ

Если охлаждать сосуд с водой, её температура будет понижаться до 0°C . Затем вода начнёт замерзать, превращаясь в лёд. Температура смеси воды со льдом будет оставаться равной 0°C до тех пор,

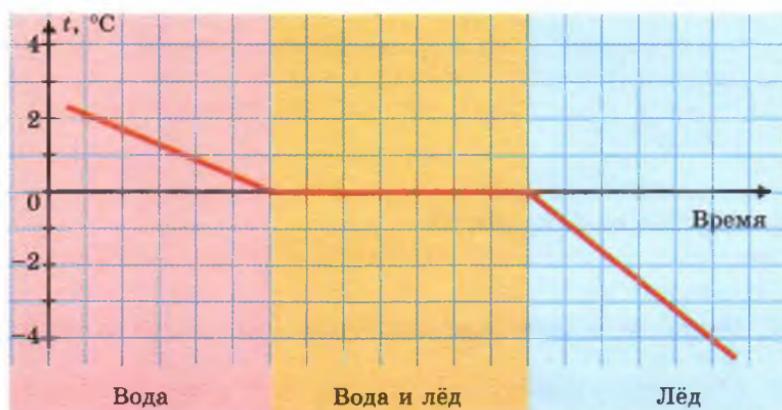


Рис. 4.3. График изменения температуры со временем при остывании воды, её замерзании и получившемся льде

пока вся вода не замёрзнет (рис. 4.3). Как только вся вода в сосуде превратится в лёд, столбик термометра станет опускаться ниже.

Английский учёный Джозеф Блэк писал в середине 18-го века: «Если бы лёд не обладал большой удельной теплотой плавления, то весной вся масса льда растаяла бы за несколько минут или секунд, так как теплота непрерывно передаётся льду из воздуха. Последствия этого были бы ужасны; ведь даже при большой удельной теплоте плавления льда весной возникают большие наводнения»¹.

ЧТО МЫ УЗНАЛИ

- Количество теплоты, выделившееся при полном сгорании топлива, находят по формуле $Q = qm$, где m — масса тела, q — удельная теплота сгорания топлива.
- Плавлением называют переход вещества из кристаллического состояния в жидкое. Температуру, при которой происходит плавление, называют температурой плавления данного вещества.
- Количество теплоты, необходимое для того, чтобы полностью расплавить кристаллическое тело при его температуре плавления, находят по формуле $Q = \lambda m$, где m — масса тела, λ — удельная теплота плавления.

¹ При цитировании Дж. Блэка мы придерживаемся современной научной терминологии.

- Кристаллизацией (или отвердеванием) называют переход вещества из жидкого состояния в кристаллическое. Кристаллизация происходит при той же температуре, что и плавление.



ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ

Первый уровень

1. Опишите физические величины, входящие в формулу $Q = qm$.
2. Объясните, почему удельная теплота сгорания характеризует вещество, а не тело.
3. Какое количество теплоты выделяется при полном сгорании 3 кг бензина?
4. При сгорании угля выделилось количество теплоты, равное 54 МДж. Какова масса угля?
5. Расскажите о том, что такое плавление, и приведите примеры этого явления.
6. Опишите физические величины, входящие в формулу $Q = \lambda m$.
7. Объясните, почему удельная теплота плавления характеризует вещество, а не тело.
8. Какое количество теплоты надо сообщить бруски льда массой 3 кг при температуре 0 °C, чтобы полностью расплавить лёд?
9. Сравните плавление и кристаллизацию: что у них общего и чем они различаются?

Второй уровень

10. Какое количество теплоты надо сообщить бруски льда массой 3 кг при температуре 0 °C, чтобы получить воду при температуре 20 °C?
11. Может ли внутренняя энергия тела изменяться при постоянной температуре? Приведите примеры, подтверждающие ваш ответ.
12. Сравните процессы плавления и кристаллизации: во время какого процесса теплота выделяется, а во время какого — поглощается?
13. Сколько бензина надо сжечь, чтобы из 3 кг льда при температуре -10 °C получить кипяток? Считайте, что потерями тепла можно пренебречь.
14. Составьте задачу по темам «Сгорание топлива» и «Плавление», ответом которой было бы «5 кг».



ДОМАШНЯЯ ЛАБОРАТОРИЯ

Наберите из холодильника небольшие кусочки льда или снег в кружку. Опустите в кружку термометр и записывайте каждые несколько минут его показания. Время от времени перемешивайте содержимое кружки. По результатам ваших измерений постройте график зависимости температуры от времени. Какова главная особенность этого графика?

§ 5.

ПАРООБРАЗОВАНИЕ И КОНДЕНСАЦИЯ

1. Парообразование и конденсация
2. Испарение
3. Кипение
4. Удельная теплота парообразования
5. Может ли вода кипеть при комнатной температуре?
6. Насыщенный пар и влажность

1. ПАРООБРАЗОВАНИЕ И КОНДЕНСАЦИЯ

Накройте крышкой кастрюлю с горячей водой. Через несколько минут снимите крышку. На её нижней стороне вы увидите капельки воды. Как же вода попала на крышку? Это результат «двойного превращения». Вода в кастрюле испаряется, превращаясь в пар, который заполняет весь объём в кастрюле над водой. А попав на более холодную крышку, пар снова превращается в воду.

Превращение жидкости в пар называют *парообразованием*, а превращение пара в жидкость — *конденсацией*.

Водяной пар невидим. То, что мы часто ошибочно называем паром — например, белёсую струю, выходящую из кипящего чайника, — это не пар, а туман (рис. 5.1). Он состоит из крошечных капелек воды, образовавшихся при конденсации пара.

Вылетающее изо рта на морозе облачко — это водяной пар или туман?



Рис. 5.1. Конденсация водяного пара

Величественный пример парообразования и конденсации представляет собой круговорот воды в природе. Вода в морях и океанах испаряется, пар поднимается вверх и, охлаждаясь, конденсируется, образуя облака. Облака превращаются в дождевые тучи. Они проливаются дождями на землю, а реки несут воду обратно в моря и океаны.

2. ИСПАРЕНИЕ

Когда парообразование происходит с поверхности жидкости, его называют *испарением*. Пример — высыхание луж после дождя.

Испарение обусловлено тем, что в жидкости всегда есть какая-то доля «быстрых» молекул, кинетическая энергия которых достаточна для того, чтобы они могли вылететь из жидкости, преодолев притяжение молекул-соседей. Такие «быстрые» молекулы есть при любой температуре жидкости, поэтому

испарение происходит при любой температуре.

Чем выше температура жидкости, тем больше доля «быстрых» молекул. Поэтому

при повышении температуры скорость испарения увеличивается.

Например, когда влажную ткань гладят горячим утюгом, она высыхает буквально на глазах.

Если не подводить к жидкости тепло, то можно заметить, что

жидкость вследствие испарения охлаждается.

Причина этого состоит в том, что, когда из жидкости вылетают наиболее «быстрые» молекулы, средняя кинетическая энергия оставшихся в ней молекул уменьшается. Следовательно, температура жидкости понижается.

? Почему после купания мы ощущаем прохладу?

Вода в открытом стакане сохраняется несколько дней, а если вылить стакан воды на пол, то вода высохнет менее чем за час. Обусловлено это тем, что, пролив воду, мы значительно увеличили площадь её поверхности, а при испарении жидкость покидают молекулы, находящиеся вблизи её поверхности.

Значит,

чем больше площадь поверхности жидкости, тем быстрее происходит испарение.

? Почему после стирки влажное бельё развешивают для просушки, а не оставляют лежать в тазу?

3. КИПЕНИЕ



ПОСТАВИМ ОПЫТ

Налейте в широкую кастрюлю немного воды и поставьте на плиту. Через некоторое время у дна кастрюли появятся пузырьки (рис. 5.2, а). Это выделяется растворённый в воде воздух.



Рис. 5.2. Кипение

Внутри пузырьков начинает испаряться вода, и пузырьки наполняются водяным паром. Когда вода достаточно прогреется, наполненные водяным паром пузырьки будут лопаться на поверхности воды. При этом пар будет выходить в воздух. Это — *кипение* (рис. 5.2, б).

В отличие от испарения

кипение жидкости происходит при определённой температуре, которую называют *температурой кипения* данной жидкости.

Температура кипения зависит от давления. Например, при нормальном атмосферном давлении вода кипит при температуре 100 °С.

В процессе кипения температура жидкости остаётся постоянной. Поэтому, если увеличить огонь под кастрюлей с кипящей водой, вода будет выкипать *быстрее*, но температура воды не увеличится.

В следующей таблице приведены значения температуры кипения для некоторых веществ (при нормальном атмосферном давлении).

Вещество	$t_{\text{кип}}$, °C	Вещество	$t_{\text{кип}}$, °C
Гелий	-269	Вода	100
Водород	-253	Ртуть	357
Хлор	-34	Свинец	1745
Эфир	35	Серебро	2170
Спирт	78	Вольфрам	5700

Обратите внимание на низкие температуры кипения веществ, которые при комнатной температуре являются газами (гелий, водород и хлор), а также на высокие температуры кипения металлов.

4. УДЕЛЬНАЯ ТЕПЛОТА ПАРООБРАЗОВАНИЯ

Чтобы превратить жидкость в пар, надо передать ей некоторое количество теплоты. Полученная энергия расходуется на разрыв межмолекулярных связей при превращении жидкости в пар.

Опыты показывают, что количество теплоты Q , необходимое для того, чтобы превратить жидкость в пар при постоянной температуре, пропорционально массе жидкости. Поэтому можно записать

$$Q = Lm.$$

Коэффициент пропорциональности L называют *удельной теплотой парообразования*. Она численно равна количеству теплоты, которое необходимо сообщить 1 кг жидкости, чтобы полностью превратить её в пар. Единицей удельной теплоты парообразования является 1 $\frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$.

Ниже приведены значения удельной теплоты парообразования для некоторых веществ¹. Обратите внимание на большую удельную теплоту парообразования воды.

Вещество	L , кДж/кг	Вещество	L , кДж/кг
Ртуть	290	Спирт	900
Водород	450	Вода	2260

¹ При температуре кипения соответствующего вещества и атмосферном давлении.

? Какое количество теплоты надо сообщить воде массой 10 кг при температуре кипения, чтобы превратить эту воду в пар?

При конденсации данной массы пара *выделяется* такое же количество теплоты, какое поглощается при испарении такой же массы соответствующей жидкости.

? Почему обжечься паром опаснее, чем кипятком?



РАЗВИТИЕ ТЕМЫ

5. МОЖЕТ ЛИ ВОДА КИПЕТЬ ПРИ КОМНАТНОЙ ТЕМПЕРАТУРЕ?

Опыты показывают, что

при уменьшении давления температура кипения жидкости уменьшается, а при увеличении давления — увеличивается.

Например, в горах, где давление воздуха меньше нормального атмосферного, вода кипит при температуре ниже 100 °С. Так, на высоте 5 км вода кипит уже при 83 °С. Поэтому сварить мясо в горах — непростая задача!



ПОСТАВИМ ОПЫТ

Откачивая воздух из-под колокола воздушного насоса, под которым стоит стакан с водой, можно «заставить» воду в стакане закипеть даже при комнатной температуре (рис. 5.3).

Кипение при *повышенном* давлении и, следовательно, при более высокой температуре используют, например, для стерилизации медицинских инструментов: высокая температура быстрее убивает болезнетворные микроорганизмы.

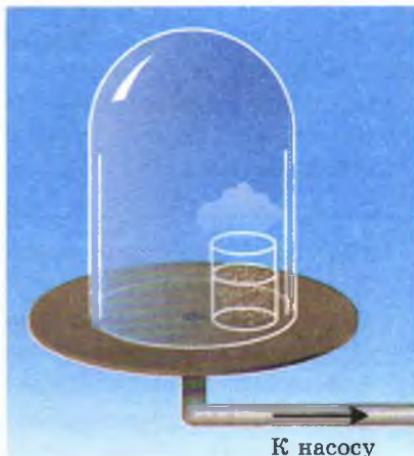


Рис. 5.3. Кипение воды при комнатной температуре

6. НАСЫЩЕННЫЙ ПАР И ВЛАЖНОСТЬ

Почему в плотно закрытой банке с водой уровень воды остаётся неизменным? Разве в закрытом сосуде молекулы не вылетают из воды?

Вылетают, конечно. Но из закрытого сосуда они вылететь не могут, поэтому, полетав над жидкостью, многие молекулы влетают обратно в жидкость, то есть *одновременно с испарением происходит и конденсация*. А то, что уровень жидкости в закрытом сосуде остаётся неизменным, означает, что в таком сосуде процессы парообразования и конденсации идут *с одинаковой скоростью*. Говорят, что в этом случае над жидкостью находится **насыщенный пар**.

Обычно в воздухе находится ненасыщенный пар — поэтому жидкость и испаряется. Содержание водяного пара в воздухе характеризуют **влажностью воздуха**. Если водяной пар является насыщенным, то влажность воздуха принимают равной 100 %. Примерно такова влажность в очень сырую погоду, когда лужи очень долго не высыхают. Комфортные условия для человека соответствуют влажности 50—60 %. При меньшей влажности мы ощущаем воздух как чрезмерно сухой.

Влажность измеряют приборами, которые называют *гигрометр* и *психрометр*.

Водяной пар при том же его содержании в воздухе может стать насыщенным, если воздух охладить до определённой температуры, которую называют *точкой росы*. Это название обусловлено тем, что при дальнейшем охлаждении выпадает роса: воздух не может «удержать» весь содержащийся в нём водяной пар, и часть пара конденсируется. А поскольку самое холодное время суток — раннее утро, то роса выпадает часто рано утром.

ЧТО МЫ УЗНАЛИ

- Парообразованием называют превращение жидкости в пар, а конденсацией — превращение пара в жидкость.
- При испарении парообразование происходит с поверхности жидкости. Испарение происходит при любой температуре. При повышении температуры скорость испарения увеличивается.
- При кипении парообразование происходит внутрь пузырьков во всём объёме жидкости. Кипение происходит при определённой температуре, которую называют температурой кипения данной жидкости. При увеличении давления тем-

пература кипения повышается, а при уменьшении давления — понижается.

- Количество теплоты, необходимое для того, чтобы превратить жидкость в пар при постоянной температуре, находят по формуле $Q = Lm$, где m — масса жидкости, L — удельная теплота парообразования.
- Влажность воздуха характеризует содержание водяного пара в воздухе. Если водяной пар является насыщенным, то влажность воздуха принимают равной 100 %. Комфортные условия для человека соответствуют влажности 50—60 %.



ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ

Первый уровень

1. Приведите примеры парообразования и конденсации.
2. Какое физическое явление происходит при превращении водяного пара в туман?
3. Сравните испарение и кипение: что у них общего и чем они различаются?
4. При какой температуре кипит вода при нормальном атмосферном давлении?
5. Опишите физические величины, входящие в формулу $Q = Lm$.
6. Объясните, почему удельная теплота парообразования характеризует вещество, а не тело.
7. Какое количество теплоты надо сообщить воде массой 5 кг при температуре кипения, чтобы превратить её в пар?
8. Чтобы превратить в пар некоторую массу воды при температуре кипения, потребовалось количество теплоты 4,5 кДж. Какова масса воды?

Второй уровень

9. Расскажите, от чего зависит скорость испарения жидкости.
10. Сравните процессы парообразования и конденсации: во время какого процесса энергия выделяется, а во время какого — поглощается?
11. Опишите кипение жидкости. От чего зависит температура кипения данной жидкости?
12. Сколько надо сжечь бензина, чтобы воду массой 2 кг с начальной температурой 20 °С полностью превратить в пар? Считайте, что воде передаётся 50 % количества теплоты, выделяющегося при сгорании бензина.

13. Какое количество теплоты надо сообщить льду массой 1 кг при температуре -20°C , чтобы превратить его в пар при температуре 100°C ?
14. Расскажите о влажности воздуха. Какая влажность воздуха комфортна для человека?
15. Объясните, почему роса выпадает обычно рано утром.
16. Если на холодное оконное стекло подышать, оно запотеет. Объясните это явление.
17. Составьте задачу по теме «Парообразование», ответом которой было бы «3 кг водяного пара».



ДОМАШНЯЯ ЛАБОРАТОРИЯ

Налейте в пустую пластмассовую бутылку немногого горячей воды и ополосните бутылку этой водой изнутри. Горячая вода быстро испарится, и водяной пар заполнит бутылку, вытеснив из неё большую часть воздуха. Быстро вылейте воду, плотно закройте бутылку пробкой и подставьте бутылку под струю холодной воды. Бутылка с треском сплющится. Объясните этот опыт.

§ 6.

ТЕПЛОВЫЕ ДВИГАТЕЛИ

1. Паровая турбина
2. Реактивный двигатель
3. Тепловые двигатели и защита окружающей среды
4. Двигатель внутреннего сгорания
5. Преобразования энергии при работе теплового двигателя
6. Коэффициент полезного действия теплового двигателя

1. ПАРОВАЯ ТУРБИНА

Тепловые двигатели — это машины, в которых внутренняя энергия топлива частично превращается в механическую энергию.

Первый тепловой двигатель, приводящий в движение заводские механизмы, построил в 1765 году российский инженер И. И. Ползунов. Не зная об изобретении Ползунова, через 10 лет после него тепловой двигатель создал английский изобретатель Дж. Уатт, который много сделал для усовершенствования таких двигателей.

Сегодня самый распространённый пример теплового двигателя — автомобильный мотор. Тепловые двигатели стоят также на всех тепловых электростанциях.

С принципами действия наиболее распространённых тепловых двигателей мы познакомимся на опытах.



ПОСТАВИМ ОПЫТ

Направим струю пара из колбы с кипящей водой на колесо с лопастями¹ (рис. 6.1, а). Колесо начнёт вращаться. Мы построили простейшую модель теплового двигателя: внутренняя энергия топлива (спирта) частично превращается в механическую энергию вращающегося колеса. Это — модель *паровой турбины*.

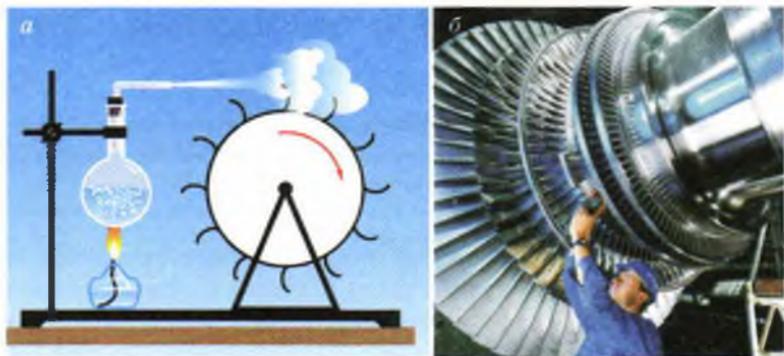


Рис. 6.1. Паровая турбина: а — модель; б — изготовление современной паровой турбины

На современных тепловых электростанциях паровые турбины врашают генераторы электрического тока². Представление о размерах этих турбин даёт рис. 6.1, б. Лопасти турбины вращает мощная струя водяного пара, нагретого до 600 °С. Давление этого пара в сотни раз больше нормального атмосферного давления.

2. РЕАКТИВНЫЙ ДВИГАТЕЛЬ



ПОСТАВИМ ОПЫТ

Укрепим колбу с кипящей водой на тележке и направим струю пара горизонтально (рис. 6.2, а). Тележка начнёт двигаться.

¹ На рисунке для наглядности струя пара сделана видимой. Но на самом деле, как вы уже знаете, водяной пар невидим.

² О действии генераторов тока рассказано в § 21. Производство и передача электроэнергии.

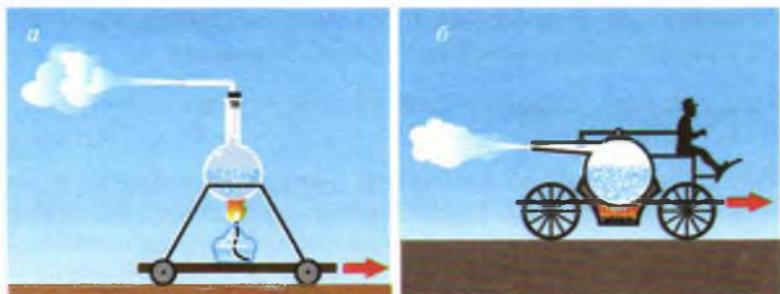


Рис. 6.2. Реактивный двигатель: а — модель; б — проект автомобиля на реактивном двигателе

В этой модели теплового двигателя внутренняя энергия топлива частично превращается в кинетическую энергию тележки с колбой. Это — модель *реактивного двигателя*.

Тележка приходит в движение благодаря тому, что тележка и пар *отталкиваются* друг от друга. Движение, возникающее вследствие того, что тело отбрасывает с некоторой скоростью свою часть, называют *реактивным* (от латинского «реакцио» — противодействие). Поэтому двигатель, основанный на реактивном движении, называют реактивным. На рис. 6.2, б изображён один из первых проектов автомобиля¹ с реактивным двигателем. Возможно, этот проект принадлежал самому Ньютону. Если это действительно так, то надо ещё раз подивиться его гению и проницательности: сегодня, через три века, рекорды скорости устанавливают на автомобилях именно с реактивными двигателями! Скорость таких автомобилей превышает 1000 км/ч.

В конце 19-го века российский учёный и инженер К. Э. Циолковский предложил использовать реактивные двигатели для космических ракет. Сегодня, в эпоху освоения космоса, идея Циолковского нашла широчайшее применение. Причём запуск первого искусственного спутника Земли и первый полёт человека в космос были осуществлены с помощью ракет именно на родине Циолковского!

Реактивные двигатели ставят также на самолёты. Самые быстрые самолёты — с реактивными двигателями.

¹ Сегодня на большинстве автомобилей установлены двигатели внутреннего сгорания, о которых рассказано ниже.

3. ТЕПЛОВЫЕ ДВИГАТЕЛИ И ЗАЩИТА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

При работе тепловых двигателей в окружающую среду выделяется большое количество теплоты и очень много продуктов сгорания топлива.

Борьба с вредными последствиями работы тепловых двигателей ведётся в нескольких направлениях.

Во-первых, *совершенствуют тепловые двигатели*, чтобы получать ту же механическую энергию при сжигании меньшего количества топлива.

Во-вторых, используют *энергосберегающие технологии*, благодаря которым потребление энергии на производство той же продукции (например, автомобиля) можно уменьшить в несколько раз.

В-третьих, используют источники энергии, в которых *не сжигают топливо*. Это гидроэлектростанции, атомные электростанции, энергия Солнца, ветра, морских приливов и т. д.



РАЗВИТИЕ ТЕМЫ

4. ДВИГАТЕЛЬ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ

Во второй половине 19-го века был изобретён *двигатель внутреннего сгорания*, названный так потому, что сгорание топлива происходит *внутри* самого двигателя. Одним из наиболее распространённых видов топлива является бензин.

Принцип работы двигателя внутреннего сгорания схематически иллюстрирует рис. 6.3.

Топливо сгорает в цилиндре, который имеет два клапана — впускной и выпускной. Через впускной клапан поступает горючая смесь (бензиновые пары с воздухом), а через выпускной клапан продукты сгорания выбрасываются в атмосферу (выше рассказано о возникающем в связи с этим загрязнении окружающей среды).

Внутри цилиндра движется поршень, а его движение посредством передаточных механизмов передаётся колёсам автомобиля. В двигателе многократно повторяется один и тот же цикл (от латинского «циклус» — круг), который состоит из четырёх *тактов*. Рассмотрим каждый из них.

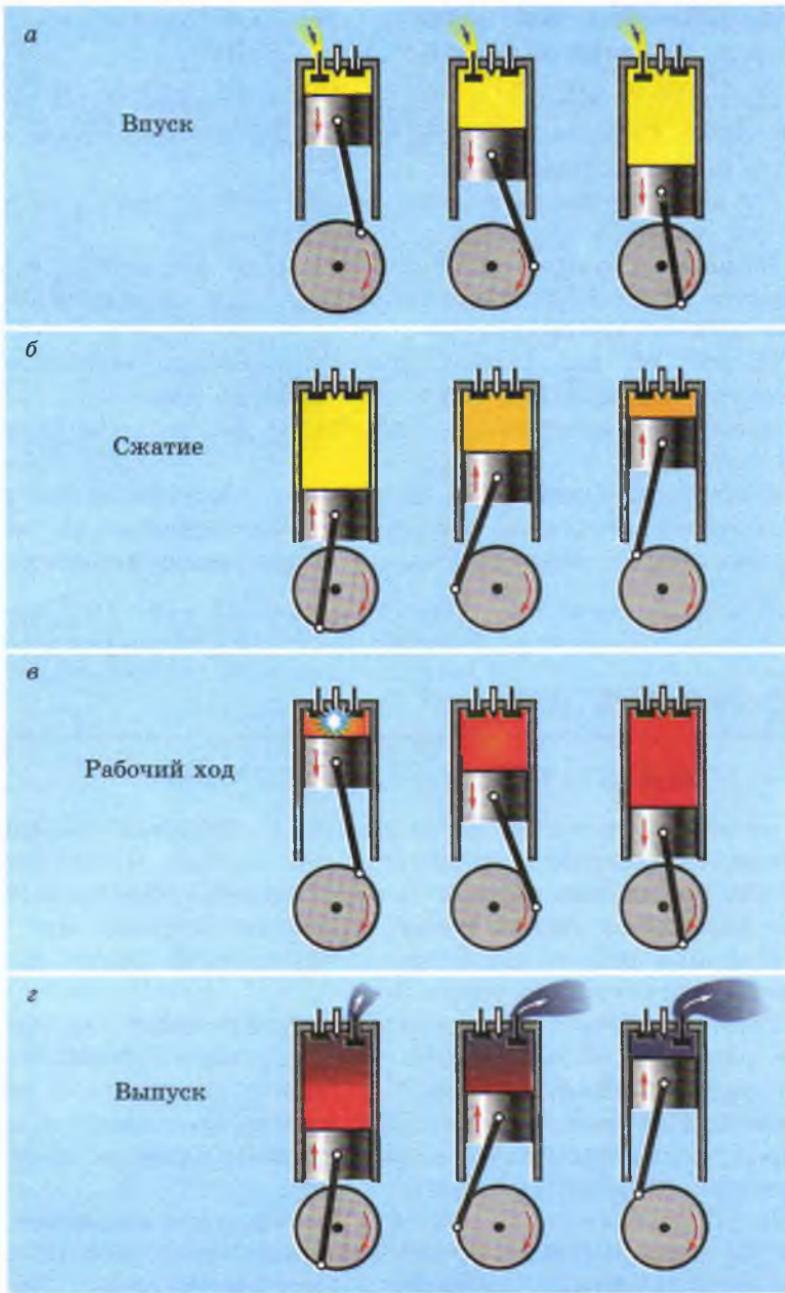


Рис. 6.3. Циклы работы двигателя внутреннего сгорания

1. *Впуск* (рис. 6.3, а). Через открытый впускной клапан в цилиндр всасывается горючая смесь.

2. *Сжатие* (рис. 6.3, б). При закрытых клапанах поршень сжимает горючую смесь в цилиндре, вследствие чего она нагревается.

3. *Рабочий ход* (рис. 6.3, в). Электрическая искра воспламеняет горючую смесь¹, температура резко возрастает и образующиеся при сгорании газы с большой силой толкают поршень. Название этого такта обусловлено тем, что преобразование внутренней энергии в механическую происходит именно во время этого такта.

4. *Выпуск* (рис. 6.3, г). Через выпускной клапан продукты сгорания выталкиваются в атмосферу.

В автомобильных двигателях ставят обычно несколько цилиндров.

Главное преимущество двигателей внутреннего сгорания — большая мощность при сравнительно малой массе.

Поэтому такие двигатели устанавливают на всех *транспортных средствах* — автомобилях, тепловозах, теплоходах, самолётах.

5. ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ЭНЕРГИИ ПРИ РАБОТЕ ТЕПЛОВОГО ДВИГАТЕЛЯ

На рис. 6.4 схематически показаны преобразования энергии при работе теплового двигателя.

Направленная вправо жёлтая стрелка обозначает количество теплоты Q_1 , передаваемое рабочему телу (газу) при сжигании топлива. Красная стрелка с буквой A обозначает совершающую двигателем механическую работу (например, по разгону автомобиля). Наконец, направленная вверх жёлтая стрелка обозначает количество теплоты Q_2 , которое передаётся окружающей среде. Ширина стрелки характеризует значение соответствующей физической величины.

Из приведённой схемы видно, что при работе теплового двигателя далеко не вся энергия, выделившаяся при сгорании топлива, превращается в механическую.

Эти «потери» обусловлены не только несовершенством двигателей. Французский учёный С. Карно доказал, что

¹ В дизельных двигателях топливо загорается без искры, вследствие нагревания воздуха при сильном сжатии.



Рис. 6.4. Преобразования энергии при работе теплового двигателя

тепловой двигатель может работать только при условии, что значительная часть энергии, выделившейся при сгорании топлива, передаётся окружающей среде.

6. КОЭФФИЦИЕНТ ПОЛЕЗНОГО ДЕЙСТВИЯ ТЕПЛОВОГО ДВИГАТЕЛЯ

Коэффициентом полезного действия (КПД) теплового двигателя называют выраженное в процентах отношение работы A , совершённой двигателем, к количеству теплоты Q_1 , выделившемуся при сгорании топлива:

$$\eta = \frac{A}{Q_1} \cdot 100\%.$$

Коэффициент полезного действия любого теплового двигателя меньше 100 %, поскольку, как вы уже знаете, в механическую энергию можно превратить только часть энергии, выделившейся при сгорании топлива.

Учёные и инженеры многое сделали для повышения эффективности тепловых двигателей. КПД первых паровых машин составлял около 1 %, а КПД современных двигателей внутреннего сгорания достигает 35—40 %. Таков же примерно КПД паровых турбин на тепловых электростанциях.

ЧТО МЫ УЗНАЛИ

- Тепловыми двигателями называют машины, в которых внутренняя энергия топлива частично превращается в механическую энергию.
- К тепловым двигателям относятся, например, паровая турбина, реактивный двигатель, двигатель внутреннего сгорания.
- Цикл двигателя внутреннего сгорания состоит из четырёх тактов: выпуск, сжатие, рабочий ход и выпуск.
- При работе тепловых двигателей в окружающую среду выделяется большое количество теплоты и огромное количество продуктов сгорания топлива.
- Для уменьшения вредных последствий работы тепловых двигателей их совершенствуют, используют энергосберегающие технологии, а также источники энергии, в которых не сжигают топливо.
- Коэффициентом полезного действия (КПД) теплового двигателя называют выраженное в процентах отношение работы A , совершенной двигателем, к количеству теплоты Q_1 , выделившемуся при сгорании топлива: $\eta = \frac{A}{Q_1} \cdot 100\%$. КПД современных тепловых двигателей достигает 35—40 %.



ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ

Первый уровень

1. Расскажите о том, что такое тепловой двигатель.
2. Какие три вида тепловых двигателей вы знаете? Что у них общего?
3. Опишите принцип работы паровых турбин и расскажите, где их используют.
4. Опишите принцип работы реактивного двигателя. Кто первым предложил использовать реактивные двигатели для космических полётов?
5. Расскажите, как можно уменьшить вредные последствия работы тепловых двигателей.

Второй уровень

6. Опишите каждый из четырёх тактов работы двигателя внутреннего сгорания, используя приведённые в учебнике схемы. Объясните, чем обусловлено название этого двигателя.

7. Расскажите, какие преобразования энергии происходят при работе теплового двигателя.
8. Сравните разные типы тепловых двигателей: что у них общего и чем они различаются?
9. Расскажите, что такое КПД теплового двигателя, и объясните, почему он не может равняться 100 %.
10. Каков примерно КПД современных тепловых двигателей?



ДОМАШНЯЯ ЛАБОРАТОРИЯ

Сделайте из фольги вертушку, укрепите её на палочке или проволоке и осторожно поднесите к носику кипящего чайника, чтобы вертушка начала вращаться. Модель какого теплового двигателя вы сделали? Какие преобразования энергии происходят при работе этого теплового двигателя?



ГЛАВНОЕ В ЭТОЙ ГЛАВЕ

- Молекулы вещества находятся в непрестанном хаотическом движении. Скорость молекул при нагревании увеличивается, поэтому такое движение молекул называют тепловым.
- Внутренней энергией тела называют сумму кинетической энергии хаотического движения и потенциальной энергии взаимодействия частиц, из которых состоит тело.
- Внутренняя энергия тела изменяется при его нагревании или охлаждении, изменении агрегатного состояния и при химических реакциях.
- Внутреннюю энергию тела можно изменить двумя способами: совершив работу или посредством теплопередачи.
- Теплопередачей называют изменение внутренней энергии тела без совершения работы. Энергию, получаемую или отдаваемую телом при теплопередаче, называют количеством теплоты.
- В тепловых процессах энергия сохраняется.
- Закон сохранения энергии является общим законом природы. Согласно этому закону энергия не возникает и не исчезает, а только изменяет свою форму.

- При теплопередаче энергия переходит от тела с большей температурой к телу с меньшей температурой. Тела с одинаковой температурой находятся в тепловом равновесии.
- Температуру измеряют термометрами. По шкале Цельсия за 0°C принимают температуру таяния льда, а за 100°C — температуру кипения воды при атмосферном давлении.
- Существуют три вида теплопередачи: теплопроводность, конвекция и излучение.
- Теплопроводностью называют вид теплопередачи, обусловленный передачей энергии от одного тела к другому или от одних частей тела к другим в результате теплового движения и взаимодействия частиц. В процессе теплопроводности энергия передаётся, но переноса вещества не происходит.
- Конвекцией называют вид теплопередачи, обусловленный переносом вещества. Конвекция происходит только в жидкостях и газах. Конвекция бывает вынужденной и естественной.
- Количество теплоты, которое надо передать телу, чтобы нагреть его от начальной температуры $t_{\text{н}}$ до конечной $t_{\text{к}}$, находят по формуле $Q = cm(t_{\text{k}} - t_{\text{n}})$, где m — масса тела, c — удельная теплоёмкость вещества, из которого состоит тело.
- Если теплопередача происходит только между двумя телами, то количество теплоты Q_1 , которое отдаёт более нагретое тело, равно количеству теплоты Q_2 , которое получает менее нагретое тело: $Q_1 = Q_2$. Это соотношение называют уравнением теплового баланса.
- Количество теплоты, выделившееся при полном сгорании топлива, находят по формуле $Q = qm$, где m — масса тела, q — удельная теплота сгорания топлива.
- Плавление — переход вещества из кристаллического состояния в жидкое. Температуру, при которой происходит плавление, называют температурой плавления данного вещества.
- Количество теплоты, необходимое для того, чтобы полностью расплавить кристаллическое тело при его температуре плавления, находят по формуле $Q = \lambda m$, где m — масса тела, λ — удельная теплота плавления.
- Кристаллизацией (или отвердеванием) называют переход вещества из жидкого состояния в кристаллическое. Кристаллизация происходит при той же температуре, что и плавление.

- Парообразованием называют превращение жидкости в пар, а конденсацией — превращение пара в жидкость.
- При испарении парообразование происходит с поверхности жидкости. Испарение происходит при любой температуре. При повышении температуры скорость испарения увеличивается.
- При кипении парообразование происходит внутрь пузырьков во всём объёме жидкости. Кипение происходит при определённой температуре, которую называют температурой кипения данной жидкости. При увеличении давления температура кипения повышается, а при уменьшении давления — понижается.
- Количество теплоты, необходимое для того, чтобы превратить жидкость в пар при постоянной температуре, находят по формуле $Q = Lm$, где m — масса жидкости, L — удельная теплота парообразования.
- Влажность воздуха характеризует содержание водяного пара в воздухе. Если водяной пар является насыщенным, то влажность воздуха принимают равной 100 %. Комфортные условия для человека соответствуют влажности 50—60 %.
- Тепловыми двигателями называют машины, в которых внутренняя энергия топлива частично превращается в механическую. К тепловым двигателям относятся паровая турбина, реактивный двигатель, двигатель внутреннего сгорания.
- Цикл двигателя внутреннего сгорания состоит из четырёх тактов: выпуск, сжатие, рабочий ход и выпуск.
- При работе тепловых двигателей в окружающую среду выделяется большое количество теплоты и много продуктов сгорания топлива. Для уменьшения вредных последствий работы тепловых двигателей их совершенствуют, используют энергосберегающие технологии, а также источники энергии, в которых не сжигают топливо.
- Коэффициентом полезного действия (КПД) теплового двигателя называют выраженное в процентах отношение работы A , совершенной двигателем, к количеству теплоты Q_1 , выделившемуся при сгорании топлива: $\eta = \frac{A}{Q_1} \cdot 100\%$. КПД современных тепловых двигателей достигает 35—40 %.

Глава 2

ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ ЯВЛЕНИЯ

- Электризация тел
- Носители электрического заряда.
Проводники и диэлектрики
- Закон сохранения электрического заряда.
Элементарный электрический заряд
- Электрическое поле
- Электрический ток. Действия электрического тока
- Сила тока и напряжение
- Сопротивление. Закон Ома для участка цепи
- Последовательное и параллельное соединения проводников
- Работа и мощность электрического тока
- Примеры расчёта электрических цепей
- Полупроводники и полупроводниковые приборы
- Магнитные взаимодействия
- Магнитное поле
- Электромагнитная индукция
- Производство и передача электроэнергии
- Электромагнитные волны



§ 7.

ЭЛЕКТРИЗАЦИЯ ТЕЛ

1. Электрические взаимодействия
2. Два рода электрических зарядов
3. Полезна или вредна электризация тел?
4. Отчего бывают грозы?

1. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ

Без электричества нельзя представить современный мир (рис. 7.1). Если бы в один (далеко не прекрасный!) день электричество вдруг исчезло, то не только погасли бы все лампы и экраны телевизоров. Прекратилась бы сама жизнь, потому что многие жизненные процессы обусловлены электрическими явлениями. Больше того: распалось бы само вещество, ибо составляющие его частицы удерживаются вместе благодаря электрическому взаимодействию.

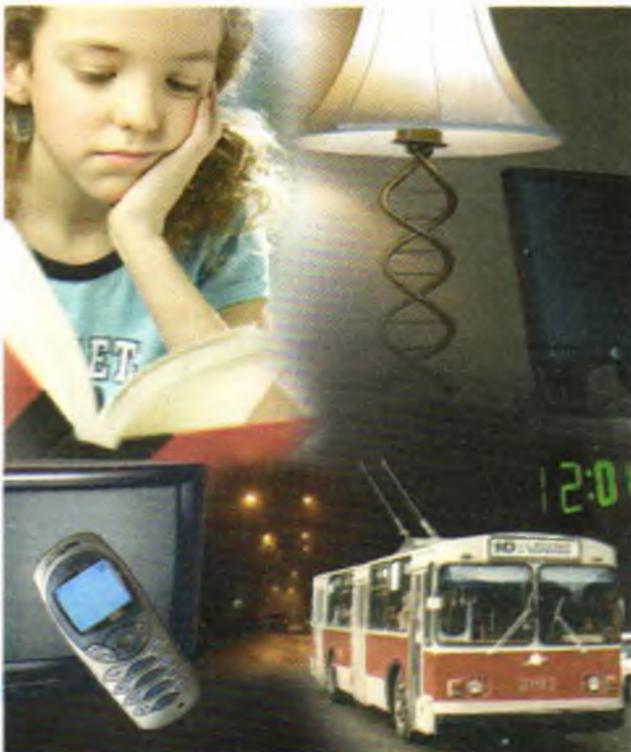


Рис. 7.1. Без электричества нельзя представить современный мир

Изучение электрических явлений началось с забавного наблюдения, которое мы предлагаем вам повторить.



ПОСТАВИМ ОПЫТ

Расчешите сухие волосы пластмассовой расчёской и поднесите её к маленьким кусочкам бумаги, не касаясь их. Кусочки бумаги будут притягиваться к расчёске (рис. 7.2).

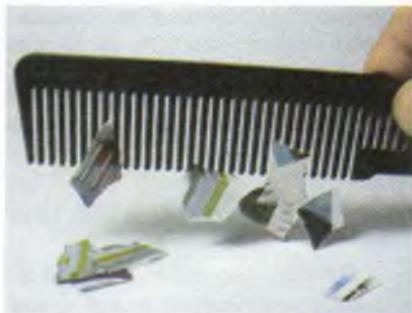


Рис. 7.2. Электрическое взаимодействие

Ещё древние греки заметили, что натёртый янтарь притягивает пушинки и перья. Янтарь по-гречески «электрон», поэтому этот вид взаимодействия назвали **электрическим**. Впоследствии выяснилось, что янтарь — не исключение. В школьных опытах по электричеству обычно натирают шерстью эbonитовую¹ палочку или шёлком — стеклянную.

Тела, обладающие способностью к электрическим взаимодействиям, называют **наземленными**.



ПОСТАВИМ ОПЫТ

Подвесим на шёлковой нити сделанную из фольги гильзу (маленький цилиндр). Приближая к гильзе наэлектризованную палочку, мы заметим, что чем ближе к гильзе находится палочка, тем сильнее отклоняется нить (рис. 7.3, а, б). Следовательно,

при уменьшении расстояния сила электрического взаимодействия увеличивается.

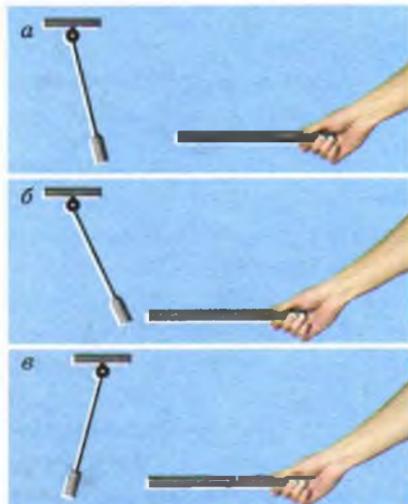


Рис. 7.3. Электрическое взаимодействие может быть как притяжением, так и отталкиванием

¹ Эбонит — твёрдое вещество чёрного цвета, состоящее из серы и каучука.

Если коснуться палочкой гильзы, она начнёт отталкиваться от палочки (рис. 7.3, в). Значит,

электрическое взаимодействие может быть как притяжением, так и отталкиванием.

2. ДВА РОДА ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЗАРЯДОВ

Электрические взаимодействия обусловлены наличием у тел **электрических зарядов**.

Тело, обладающее электрическим зарядом, называют **электрически заряженным** (часто — просто заряженным), а сообщение телам электрических зарядов называют **электризацией**.

Исследования (в частности, французского учёного Ш. Дюфे и американского учёного Б. Франклина) показали, что существуют *два рода* электрических зарядов. Тела, обладающие зарядами одного и того же рода, называют **одноимённо заряженными**, а тела, обладающие зарядами разного рода — **разноимённо заряженными**.

Притяжение и отталкивание заряженных тел объясняется тем, что

одноимённо заряженные тела отталкиваются, а разноимённо заряженные — притягиваются.

Два рода зарядов назвали *положительными и отрицательными*. Эти названия обусловлены тем, что положительный и отрицательный заряды могут взаимно уничтожить друг друга (подобно тому, как сумма положительного и отрицательного чисел может быть равной нулю).

Заряд натёртой шёлком стеклянной палочки считают положительным, а заряд натёртой мехом или шерстью эbonитовой палочки — отрицательным.

Тела, не имеющие электрического заряда, называют **незаряженными** или **электрически нейтральными**.

Как мы видели, незаряженные тела также могут испытывать электрические взаимодействия: напомним, что незаряженные кусочки бумаги или гильзы притягиваются к наэлектризованной палочке. Чем это объясняется, мы расскажем в разделе «Почему незаряженные тела притягиваются к заряженным?».



РАЗВИТИЕ ТЕМЫ

3. ПОЛЕЗНА ИЛИ ВРЕДНА ЭЛЕКТРИЗАЦИЯ ТЕЛ?

Электризация тел может причинять неудобства, доставлять хлопоты, а может быть даже опасной.

? Тщательно протерев мебель и зеркала сухой тряпкой, можно заметить на них пыль уже через день-два. Чем это объясняется?

Снимая свитер, можно услышать потрескивание, увидеть искорки и даже ощутить покалывание. Это — крошечные электрические разряды: одежда и тело вследствие трения получили заряды противоположных знаков.

При трении автомобильных шин об асфальт во время езды, а также жидкости о стенки автомобильной цистерны происходит электризация. Из-за этого может проскочить искра, которая приведёт к взрыву, если жидкость в цистерне — легковоспламеняющаяся (например, бензин). Чтобы «снять» заряды, с автомобиля спускают металлическую¹ цепь, которая касается дороги.

Но люди нашли и применение электризации.

Например, промышленные газы, содержащие частицы дыма, очищают **электрофильтрами**. По центру высокой вертикальной трубы протягивают заряженную проволоку, а на внутреннюю стенку трубы помещают заряд противоположного знака. Проходя снизу вверх по трубе, частицы дыма вследствие трения о воздух электризуются, притягиваются к стенке и оседают на ней, не попадая в атмосферу.

Электризацию используют также для **окраски**, например, автомобилей на конвейере. Корпус автомобиля заряжают положительно, а частицы краски — отрицательно. Одноимённо заряженные частицы краски отталкиваются друг от друга и притягиваются к корпусу, поэтому слой краски получается тонкий, равномерный и плотный.

С помощью электризации получают искусственные ковры и меха. Для этого измельчённые частички шерсти, хлопка или искусственных волокон электризуют, продувая сквозь заряженную металлическую сетку, а на покрытую kleem тканевую основу помещают заряд противоположного знака. Притягиваясь к основе и отталкиваясь друг от друга, частички

¹ Как будет рассказано далее, металлы хорошо проводят электрические заряды.

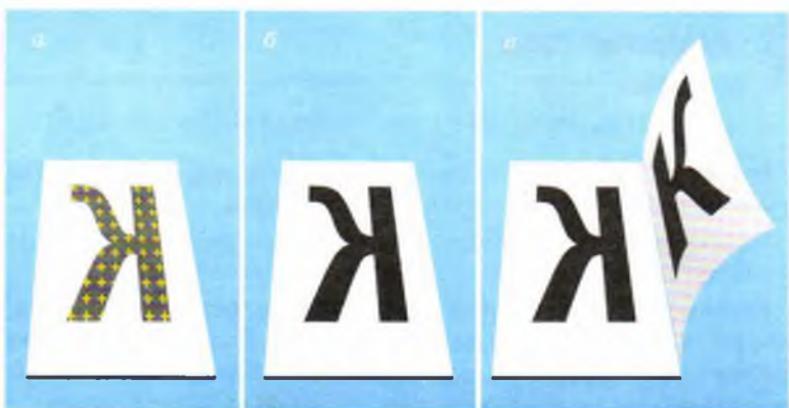


Рис. 7.4. Схема действия электрокопировального аппарата

равномерно распределяются по основе и плотно приклеиваются. После просушки поверхность становится пушистой или ворсистой.

На явлении электризации основано и действие электрокопировальных аппаратов. Свет, отражённый от копируемого документа, падает на положительно заряженную пластину. Из освещённых мест заряд стекает, в результате чего на пластине возникает невидимое «электрическое изображение» (рис. 7.4, а). Затем на пластину насыпают тонкий слой отрицательно заряженного красящего порошка. Он притягивается к положительному «электрическому изображению», и оно становится видимым (рис. 7.4, б). Потом пластину прижимают к бумаге, на которой получается чёткий отпечаток (рис. 7.4, в). Полученное на бумаге изображение для прочности «припекают» миниатюрной печкой.

4. ОТЧЕГО БЫВАЮТ ГРОЗЫ?

Когда капельки воды (или кристаллики льда) в туче становятся достаточно большими, они начинают падать: начинается дождь, снег или град. При движении сквозь воздух капельки или кристаллики электризуются, приобретая отрицательный заряд. Скопившийся в нижней части тучи отрицательный заряд притягивает к находящейся под ним поверхности Земли положительный заряд (рис. 7.5, а). И когда заряды становятся достаточно большими, между ними проскаивает огромная искра — молния (рис. 7.5, б).

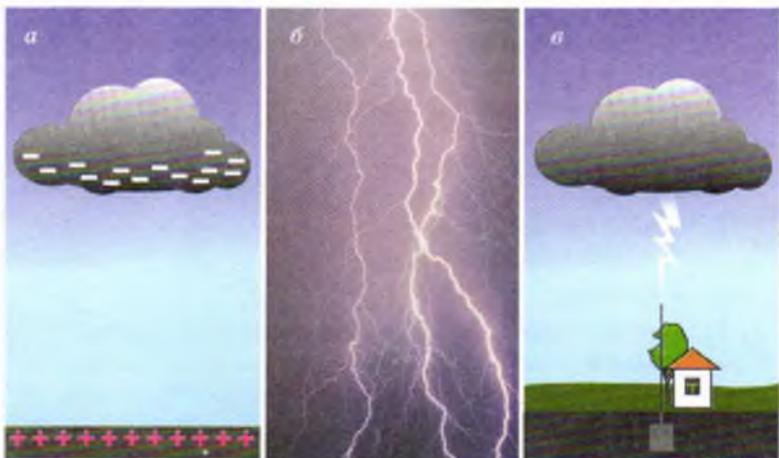


Рис. 7.5. Гроза: *а* — скопление зарядов в грозовом облаке и на поверхности Земли; *б* — молния; *в* — молниеприемник

Давно было замечено, что молния особенно «любит» высоко расположенные металлические острия. Это подсказало американскому учёному Б. Франклину идею **молниеприемника**¹. Высокий металлический стержень соединяют толстым проводом с металлическим листом, погруженным во влажные пласти почвы. По стержню и проводу электрический заряд молнии уходит в почву, не принося вреда (рис. 7.5, *в*).

ЧТО МЫ УЗНАЛИ

- Электрические взаимодействия обусловлены наличием у тел электрических зарядов. Электрический заряд — это физическая величина, характеризующая интенсивность электрических взаимодействий.
- Сообщение телам электрических зарядов называют электризацией тел.
- Существуют два рода электрических зарядов: положительные и отрицательные. Тела, имеющие заряды одного рода (одноимённо заряженные), отталкиваются, а тела, имеющие заряды разных родов (разноимённо заряженные), притягиваются.

¹ Молниеприемник до сих пор часто называют громоотводом, что неправильно, так как он предохраняет не от грома, а именно от молний.

- Электризация тел находит широкое применение в производстве. Но иногда она опасна — в этих случаях применяют меры, чтобы уменьшить электризацию или передать возникающие заряды почве.



ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ

Первый уровень

1. Приведите примеры применения электричества, не упомянутые в тексте параграфа.
2. Чем отличаются электрически заряженные тела от нейтральных?
3. Опишите зависимость силы электрического взаимодействия от расстояния между заряженными телами.
4. В каких случаях заряженные тела притягиваются, а в каких — отталкиваются?
5. Объясните, почему заряды разных родов назвали положительными и отрицательными.
6. Опишите области применения электризации тел.

Второй уровень

7. Расскажите, чем может быть опасна электризация тел.
8. Почему притяжение кусочков бумаги наэлектризованной расчёской нельзя объяснить действием сил тяготения, упругости и тяжести?
9. Могут ли притягиваться заряженные шарики, имеющие одинаковые по модулю электрические заряды? Приведите пример, подтверждающий ваш ответ.
10. Три шарика имеют одинаковые по модулю заряды. Шарики 1 и 2 отталкиваются, шарики 2 и 3 также отталкиваются. Какой вид взаимодействия (притяжение или отталкивание) будет между шариками 1 и 3?
11. Объясните принцип действия электрофильтров.
12. Расскажите, отчего бывают грозы.
13. Опишите устройство молниепровода.
14. Составьте задачу по теме «Электризация тел», ответом которой было бы «Отталкиваются».



ДОМАШНЯЯ ЛАБОРАТОРИЯ

1. Откройте водопроводный кран так, чтобы из него вытекала тонкая струя воды. Наэлектризуйте какой-либо предмет (на-

пример, расчёску) и поднесите его к струе. Отклонится ли струя? Если да, то в какую сторону? Как можно объяснить этот опыт?

2. Потрите газетой воздушный шарик, поднесите его к потолку и отпустите. Шар останется висеть у потолка. Почему?

§ 8.

НОСИТЕЛИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ЗАРЯДА. ПРОВОДНИКИ И ДИЭЛЕКТРИКИ

1. Строение атома и носители электрического заряда
2. Проводники
3. Диэлектрики
- 4. Электростатическая индукция
- 5. Почему незаряженные тела притягиваются к заряженным?

1. СТРОЕНИЕ АТОМА И НОСИТЕЛИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ЗАРЯДА

В начале 20-го века физики установили¹, что в центре каждого атома находится *положительно заряженное ядро*. Размеры атомного ядра примерно в сто тысяч раз меньше размеров атома, но в ядре сосредоточена практически вся масса атома. Зарядом атомного ядра определяются химические свойства атомов.

Ядро атома состоит из частиц примерно равной массы — положительно заряженных частиц, называемых *протонами*, и нейтральных частиц, называемых *нейтронами* (исключением является ядро атома водорода: оно состоит из одного протона).

Вокруг атомного ядра движутся очень лёгкие *отрицательно заряженные частицы* — *электроны*. Масса электрона почти в две тысячи раз меньше массы протона. Электроны удерживаются вблизи ядра электрическим притяжением.

Атом в целом электрически нейтрален: отрицательный заряд электронов равен по модулю положительному заряду атомного ядра. Поэтому практически все окружающие нас тела электрически нейтральны: положительный электрический заряд атомных ядер компенсируется отрицательным зарядом электронов.

Электризация тел объясняется тем, что при контакте двух тел (например, вследствие трения) электроны могут перехо-

¹ Подробнее об этом будет рассказано в курсе физики 9-го и более старших классов.

дить с одного тела на другое (рис. 8.1). При этом *оба* тела приобретают электрический заряд, то есть электризуются.

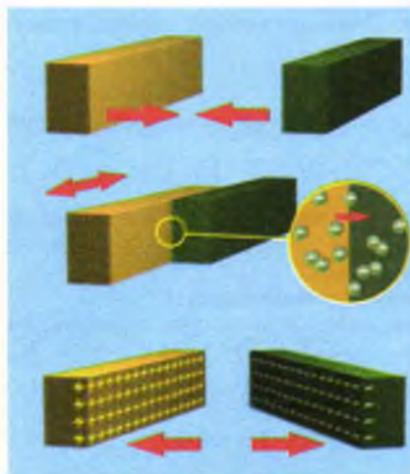


Рис. 8.1. Механизм электризации трением

Таким образом,

отрицательный заряд тела обусловлен избытком электронов, а положительный заряд — недостатком электронов.

Переносить электрический заряд могут также *ионы*¹ — так называют атомы, которые потеряли или приобрели один или несколько электронов. Например, в растворе поваренной соли (химическая формула NaCl) носителями электрического заряда являются положительно зарженные ионы натрия (Na^+) и отрицательно зарженные ионы хлора (Cl^-).

Исследования показали, что

электрический заряд переносится только заряженными частицами, то есть электрического заряда без частиц не существует.

Поэтому заряженные частицы называют *носителями электрического заряда*.

Каким ионом — положительно или отрицательно заряженным — становится атом, потерявший электрон?

¹ От греческого «ион» — странник.

2. ПРОВОДНИКИ



ПОСТАВИМ ОПЫТ

Зарядим две висящие рядом гильзы зарядами противоположных знаков. Гильзы станут притягиваться друг к другу (рис. 8.2, а). Коснёмся теперь двух гильз *одновременно* металлическим стержнем, укреплённым на деревянной ручке. Мы увидим, что после этого гильзы будут взаимодействовать намного слабее или не будут взаимодействовать вообще (рис. 8.2, б). Это означает, что электрические заряды перешли по металлическому стержню с одной гильзы на другую. Значит, *металл проводит электрический заряд*.

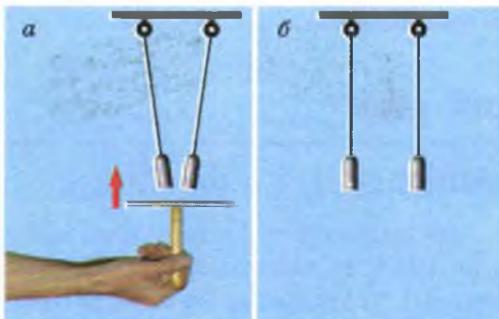


Рис. 8.2. Опыт, доказывающий, что металл является проводником

Вещества, проводящие электрический заряд, называют **проводниками**.

Хорошими проводниками являются все металлы. Проводниками являются также растворы солей и кислот в воде — такие жидкости называют **электролитами**¹. Электролитом является, например, морская вода.

Почему же проводники проводят электрические заряды? Дело в том, что в проводниках есть зарженные частицы, которые могут перемещаться в веществе — их называют **свободными зарядами**. В металлах свободными зарядами являются **электроны** (их называют свободными электронами), а в электролитах — **ионы**.

Какой знак у свободных зарядов в металле?

¹ От греческого «литос» — разложимый, растворимый.

3. ДИЭЛЕКТРИКИ

Если соединить разноимённо заряженные гильзы пластмассовым или деревянным стержнем, то заряды гильз не изменятся. Значит, пластмасса и дерево не могут проводить электрические заряды.

Вещества, не проводящие электрический заряд, называют **диэлектриками**.

В диэлектриках нет свободных зарядов. Диэлектриками являются многие пластмассы и ткани, сухое дерево, резина, стекло, а также многие жидкости — например, керосин и химически чистая (дистиллированная) вода. Газы, в том числе воздух, также диэлектрики.

РАЗВИТИЕ ТЕМЫ

4. ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКАЯ ИНДУКЦИЯ

Можно ли зарядить два тела противоположными по знаку и равными по модулю зарядами, причём так, что эти тела не будут касаться ни друг друга, ни какого-либо заряженного тела?

Оказывается, можно. Этот способ электризации тел называют **электризацией через влияние** или **электростатической индукцией**. Рассмотрим его на опыте.



ПОСТАВИМ ОПЫТ

Соединим проводником с диэлектрической ручкой две металлические гильзы 1 и 2, лежащие на деревянном столе (рис. 8.3, а). Не убирая проводник, поднесём к гильзе 1 положительно заряженную палочку, не касаясь ею гильзы. Часть свободных электронов, притягиваясь к заряженной палочке, переместится с гильзы 2 на гильзу 1. В результате гильза 2 станет заряженной положительно, а гильза 1 — отрицательно (рис. 8.3, б).

Теперь, не удаляя заряженную палочку, уберём соединяющий гильзы проводник (рис. 8.3, в). Гильзы останутся заряженными противоположными по знаку и равными по модулю зарядами. После этого можно убрать и заряженную палочку (рис. 8.3, г).

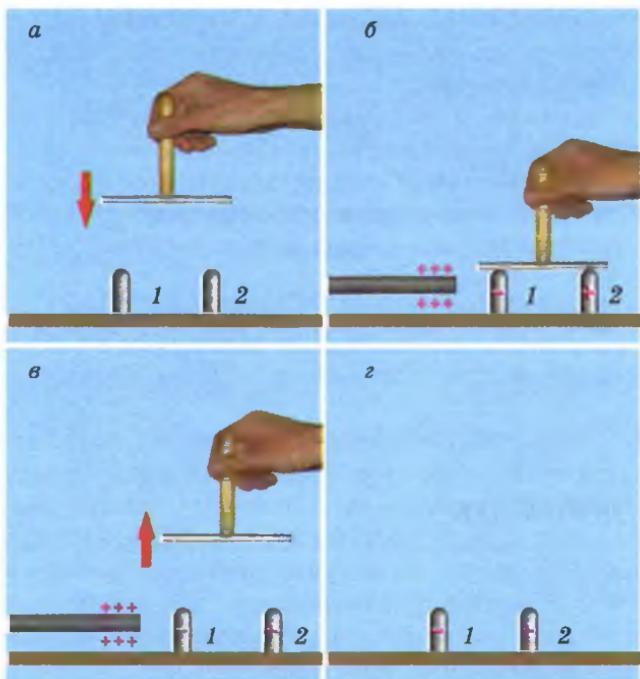


Рис. 8.3. Электризация с помощью электростатической индукции

5. ПОЧЕМУ НЕЗАРЯЖЕННЫЕ ТЕЛА ПРИТЯГИВАЮТСЯ К ЗАРЯЖЕННЫМ?

Поднесём, например, положительно заряженную палочку к незаряженному металлической гильзе. Гильза притягивается к палочке (рис. 8.4). Почему?

Находящиеся в гильзе свободные электроны притянутся к палочке, в результате чего на ближней к палочке части гильзы возникнет отрицательный электрический заряд. При этом на « дальней » части гильзы из-за недостатка электронов

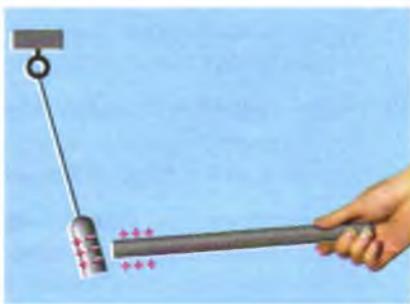


Рис. 8.4. Объяснение того, почему незаряженная гильза притягивается к заряженной палочке

возникнет положительный заряд, но отрицательные заряды на гильзе находятся ближе к палочке и поэтому притяжение «победит» отталкивание.

Нечто похожее происходит и тогда, когда заряженное тело подносят к незаряженному диэлектрику. При этом на поверхности диэлектрика также возникают заряды разных знаков, причём ближе к заряженному телу оказываются заряды противоположного с ним знака, поэтому и возникает притяжение.

Возникновение зарядов на поверхности диэлектрика обусловлено не движением свободных зарядов (в диэлектрике их нет), а поворотом или изменением формы молекул диэлектрика.

Теперь становится понятным, почему электрическое притяжение встречается намного чаще, чем отталкивание. Дело в том, что притяжение возникает между телами даже тогда, когда заряжено только *одно* из них, причём зарядом *любого* знака, а отталкивание — только тогда, когда заряжены *оба* тела, причём обязательно *одноимённо*. Вот почему отталкивание заряженных тел обнаружили только через две тысячи лет после того, как заметили притяжение.

ЧТО МЫ УЗНАЛИ

- Носителями электрического заряда являются заряженные частицы — электроны и ионы (атомы, потерявшие или приобретшие один или несколько электронов).
- Электризация тел объясняется тем, что электроны переходят с одного тела на другое. Отрицательный заряд тела обусловлен избытком электронов, а положительный заряд — недостатком электронов.
- Существование атомов обусловлено электрическим притяжением отрицательно заряженных электронов к положительно заряженным атомным ядрам.
- Вещества, проводящие электрический заряд, называют проводниками. Проводниками являются все металлы. В проводниках есть свободные заряды — заряженные частицы, которые могут перемещаться в веществе. Свободными зарядами в металлах являются свободные электроны. В электролитах свободными зарядами являются ионы.

- Вещества, не проводящие электрический заряд, называют диэлектриками.
- Незаряженные тела притягиваются к заряженным телам вследствие перераспределения зарядов в незаряженных телах.



ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ

Первый уровень

1. Расскажите о заряженных частицах вещества.
2. Опишите роль электрических взаимодействий в строении вещества.
3. Расскажите о том, что представляют собой ионы. Какой у них может быть электрический заряд?
4. Может ли существовать электрический заряд без частиц? А существуют ли частицы, не имеющие электрического заряда?
5. Расскажите о том, что такое проводники, и приведите примеры проводников.
6. Расскажите о том, что такое диэлектрики, и приведите примеры диэлектриков.

Второй уровень

7. Опишите носители заряда в растворе поваренной соли.
8. Объясните, почему незаряженные тела притягиваются к заряженным.
9. Объясните, почему электрические взаимодействия мы наблюдаем реже, чем взаимодействия, обусловленные силами тяготения.
10. Расскажите о том, как сообщить противоположные по знаку заряды двум металлическим образцам, не касаясь ни одного из них заряженным телом.
11. Составьте задачу по теме «Носители электрического заряда», ответом которой было бы «Как положительный, так и отрицательный».



ДОМАШНЯЯ ЛАБОРАТОРИЯ

Насыпьте на лист картона мелко нарезанную металлическую фольгу. Наэлектризуйте воздушный шарик и приблизьте к кусочкам фольги, не касаясь их. Какие явления вы наблюдаете? Чем они объясняются?

§ 9.

ЗАКОН СОХРАНЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ЗАРЯДА. ЭЛЕМЕНТАРНЫЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ЗАРЯД

1. Электрометр
2. Закон сохранения электрического заряда
3. Закон Кулона
4. Заряд электрона и элементарный электрический заряд

1. ЭЛЕКТРОМЕТР

В опытах по электричеству часто используют прибор, называемый **электрометром**. На рис. 9.1, а изображён школьный электрометр. Металлическая стрелка прибора может поворачиваться на металлической оси, проходящей сквозь вертикальный металлический стержень. На верхней части стержня укреплена металлическая сфера с отверстием.

Действие электрометра основано на отталкивании одноимённо заряженных тел. Если сообщить стержню электрический заряд любого знака — например, коснувшись сферы заряженной палочкой, как показано на рис. 9.1 б, — то часть заряда через металлическую ось передёт со стержня на стрелку, вследствие чего стрелка начнёт отталкиваться от стержня и отклонится на некоторый угол.

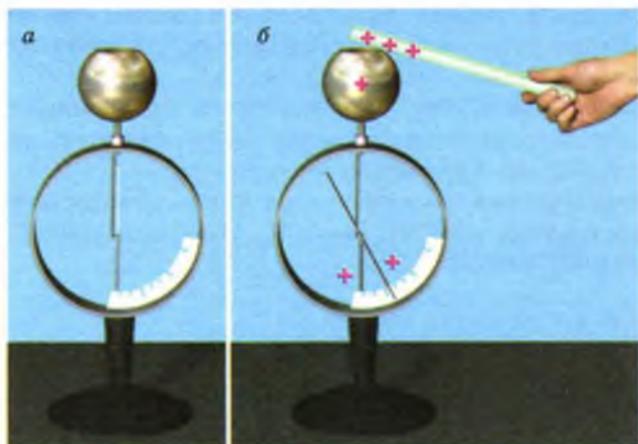


Рис. 9.1. Электрометр

Следующий опыт показывает, что электрометр «чувствует» заряженное тело даже тогда, когда им не касаются электрометра.



ПОСТАВИМ ОПЫТ

Поднесём к сфере электрометра положительно заряженную стеклянную палочку, *не касаясь* ею сферы. Мы увидим, что стрелка электрометра отклонится (рис. 9.2).

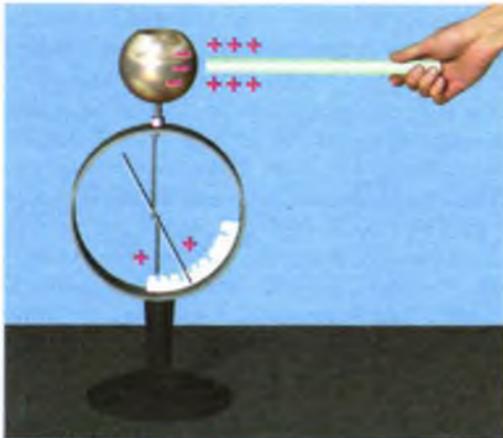


Рис. 9.2. Стрелка электрометра отклоняется, когда к нему подносят заряженное тело

Объяснение этого опыта таково. Вследствие электрического притяжения часть свободных электронов стержня и стрелки перешла на сферу — ближе к положительно заряженной палочке (рис. 9.2). Поэтому на нижней части стержня и на стрелке образовался недостаток электронов, то есть возник положительный заряд. Поэтому стрелка начала отталкиваться от стержня. Если убрать заряженную палочку, не коснувшись электрометра, то стрелка вернётся в вертикальное положение.

Опыт показывает, что стрелка электрометра отклоняется и в том случае, если внести небольшое заряженное тело *внутрь сферы*, не касаясь им сферы. При этом важно, что, как показывают расчёты и опыт, в этом случае угол отклонения стрелки зависит *только от модуля заряда тела*, которое внесли внутрь сферы. Сейчас мы этим воспользуемся.

2. ЗАКОН СОХРАНЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ЗАРЯДА

Вы уже знаете, что при трении тела электризуются. Как вы думаете: электризуется при этом *одно* тело или *оба*? И если оба, то как связаны их заряды?



ПОСТАВИМ ОПЫТ

Укрепим на ручках из диэлектрика две небольшие пластиинки — одну из эбонита, а другую — из плексигласа. Потрём их друг о друга и внесём одну из них — например, сделанную из плексигласа — внутрь сферы электрометра. Когда стрелка отклонится, отметим значение шкалы, на которое она указывает (рис. 9.3, *a*).

Вынем осторожно из сферы пластиинку из плексигласа и внесём вместо неё эбонитовую пластиинку. Мы увидим, что стрелка электрометра указывает при этом на *то же* значение шкалы (рис. 9.3, *б*). Значит, заряды пластиинок одинаковы по модулю.

Внесём теперь внутрь сферы электрометра *обе* наэлектризованные пластиинки так, чтобы они не касались ни друг друга, ни сферы (рис. 9.3, *в*). Мы увидим, что стрелка электрометра осталась вертикальной. Это означает, что *общий* заряд двух пластиинок равен *нулю*, то есть заряды пластиинок равны по модулю и имеют противоположные знаки.

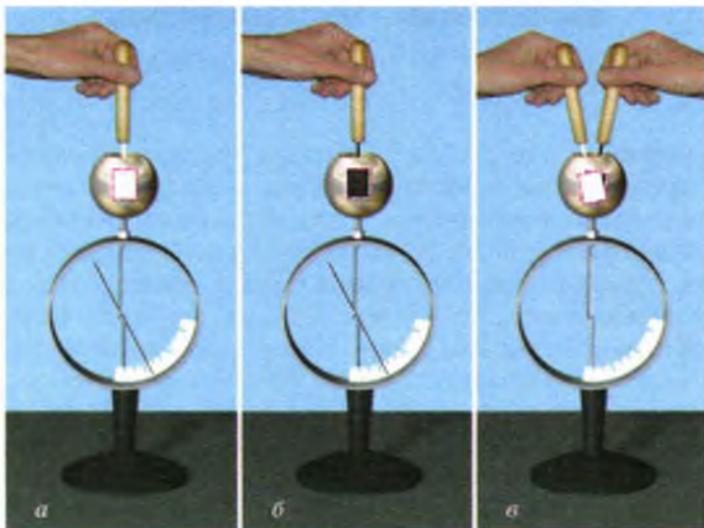


Рис. 9.3. Опыт, демонстрирующий закон сохранения электрического заряда

До того, как мы потёрли пластинки, их общий заряд тоже был равен нулю, так как пластинки были не заряжены. Следовательно, в результате электризации тел алгебраическая сумма их зарядов (то есть сумма зарядов с учётом их знака) *не изменилась*. Таким образом,

в электрически изолированной системе¹ тел алгебраическая сумма зарядов тел остаётся неизменной.

Это — закон сохранения электрического заряда. Он был подтверждён многими точными опытами.

Итак,

при электризации происходит *перераспределение заряда*, вследствие чего первоначально незаряженные тела приобретают противоположные по знаку и равные по модулю заряды.

Можно ли сообщить электрический заряд только одному телу?

ЕДИНИЦА ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ЗАРЯДА

Единицу электрического заряда назвали *кулон* (Кл) в честь французского учёного Ш. Кулона, который установил на опыте, как зависит сила взаимодействия небольших заряженных тел от их зарядов и расстояния между ними.

Определение кулона мы дадим позже (см. § 18. Магнитные взаимодействия), а сейчас скажем только, что 1 Кл — это очень большой заряд. Если бы двум небольшим телам, находящимся на расстоянии 1 м друг от друга, можно было сообщить заряды по 1 Кл, то эти тела действовали бы друг на друга силами, каждая из которых равна весу гружёного железнодорожного состава длиной от Москвы до Санкт-Петербурга!



РАЗВИТИЕ ТЕМЫ

3. ЗАКОН КУЛОНА²

Расскажем об опыте, в котором французский учёный Ш. Кулон измерил, как зависит сила взаимодействия между заряженными телами от зарядов тел и расстояния между ними.

¹ Электрически изолированной называют систему, в которую не входят и из которой не выходят заряженные частицы.

² Материал этого раздела рекомендуется для изучения в ознакомительном плане.



Рис. 9.4. Опытная установка Кулона

риком такого же, но незаряженного: при этом электрический заряд делился между шариками поровну.

В своих опытах Кулон установил:

неподвижные точечные заряды действуют друг на друга силами, прямо пропорциональными модулям зарядов и обратно пропорциональными квадрату расстояния между ними. Модуль каждой силы

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

При этом, как мы уже знаем, одноимённые заряды отталкиваются, а разноимённые — притягиваются.

Измерения показывают, что $k = 9 \cdot 10^9 \text{ Н} \cdot \text{м}^2/\text{Кл}^2$. Это означает, что два точечных заряда по 1 Кл каждый, находящихся на расстоянии 1 м друг от друга, взаимодействовали бы с силами, каждая из которых равна $9 \cdot 10^9 \text{ Н}$ (вспомните приведённое выше сравнение).



Ш. Кулон
(1736—1806)

На тонкой нити (рис. 9.4) горизонтально подвешен лёгкий стержень. На одном его конце укреплён заряженный шарик, а на другом — лёгкий противовес. Второй шарик, заряженный одноимённо с первым, укреплён на вертикальном неподвижном стержне.

Из-за электрического отталкивания шариков нить закручивается на небольшой угол. По этому углу Кулон и измерял силу взаимодействия шариков. Заряды шариков учёный изменял, касаясь заряженным шариком такого же, но незаряженного: при этом электрический заряд делился между шариками поровну.

В своих опытах Кулон установил:

неподвижные точечные заряды действуют друг на друга силами, прямо пропорциональными модулям зарядов и обратно пропорциональными квадрату расстояния между ними. Модуль каждой силы

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

4. ЗАРЯД ЭЛЕКТРОНА И ЭЛЕМЕНТАРНЫЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ЗАРЯД

Во многих опытах было установлено:

любая частица вещества либо электрически нейтральна, либо имеет заряд, кратный по модулю заряду электрона.

Поэтому модуль заряда электрона назвали **элементарным электрическим зарядом**. Его обозначают e . Измерения показали, что $e = 1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл.

Заряд электрона первым измерил американский физик Р. Милликен. Результаты его опытов подтвердили российский физик А. Ф. Иоффе.

Элементарный заряд может показаться очень малым, однако вспомним: в любом теле, видимом невооруженным глазом, содержится невообразимо большое число заряженных частиц. Так, суммарный заряд электронов в одной столовой ложке воды равен по модулю примерно **миллиону кулонов** (а вы уже знаете, как велик заряд всего в 1 Кл).

ЧТО МЫ УЗНАЛИ

- Закон сохранения электрического заряда: в электрически изолированной системе тел алгебраическая сумма зарядов тел остаётся неизменной.
- Единица электрического заряда — кулон (Кл).
- Закон Кулона: неподвижные точечные заряды действуют друг на друга силами, прямо пропорциональными модулям зарядов и обратно пропорциональными квадрату расстояния между ними. Модуль каждой силы $F = k \frac{|q_1||q_2|}{r^2}$. Здесь $k = 9 \cdot 10^9 \text{ Н} \cdot \text{м}^2/\text{Кл}^2$.
- Элементарный электрический заряд $e = 1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл. Он равен модулю заряда электрона.



ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ

Первый уровень

1. Опишите устройство и принцип действия электрометра.
2. Электризуются ли при трении оба тела или только одно? Опишите опыт, подтверждающий ваш ответ.
3. Сравните заряды двух тел при электризации трением: что у них общего и чем они различаются?
4. Расскажите о законе сохранения электрического заряда. При каком условии этот закон выполняется?
5. Как называют единицу заряда в СИ? Приведите пример, показывающий, насколько велик заряд, значение которого равно этой единице заряда.

Второй уровень

6. Расскажите о законе Кулона. Какой формулой выражается этот закон?
7. Два одинаковых металлических шарика с зарядами q и $-3q$ расположены на расстоянии, намного превышающем их диаметр. Шарики привели в соприкосновение, после чего вернули в прежнее положение. Во сколько раз изменилась сила взаимодействия между шариками? Изменился ли характер этого взаимодействия?
8. Расскажите о том, что такое элементарный электрический заряд? Заряду какой частицы он равен по модулю?
9. С одной нейтральной капельки воды перенесли миллиард электронов на другую нейтральную капельку, в результате чего капельки стали притягиваться с некоторой силой. Сколько ещё электронов надо перенести с первой капельки на вторую, чтобы сила притяжения увеличилась в 4 раза?
10. Составьте задачу по теме «Закон Кулона», ответом которой было бы «Уменьшилась в 25 раз».

§ 10.

ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ ПОЛЕ

1. Электрическое поле
2. «Картинки» электрического поля
3. Энергия электрического поля
4. Конденсаторы
5. Напряжение
- 6. Можно ли почувствовать электрическое поле?

1. ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ ПОЛЕ

В первой половине 19-го века английский учёный М. Фарадей предположил, что

заряженные тела взаимодействуют посредством **электрического поля**: каждое заряженное тело создаёт вокруг себя электрическое поле, и это поле действует на другие заряженные тела.

В дальнейшем это предположение Фарадея подтвердилось.

Для изучения свойств электрического поля нужны достаточно большие электрические заряды. При проведении демонстрационных опытов в школе их получают с помощью электрофорной¹ машины (рис. 10.1). Два пластмассовых диска

¹ «Электрофор» в переводе с греческого означает «несущий электричество».

этой машины с укреплёнными на них металлическими пластинками вращают в противоположные стороны. При этом пластины электризуются¹ и электрические заряды стекают с них на фольгу, покрывающую изнутри и снаружи два цилиндрических стеклянных сосуда. В результате там накапливаются большие по модулю и противоположные по знаку электрические заряды.



Рис. 10.1. Электрофорная машина

2. «КАРТИНЫ» ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ



ПОСТАВИМ ОПЫТ

Зарядим с помощью электрофорной машины металлический шарик и поместим его под стекло, на котором рассыпана манная крупа. Если постукивать по стеклу, крупинки начнут образовывать цепочки, выстраиваясь вдоль прямых линий, направленных от шарика (рис. 10.2, а). Это указывает на то, что в пространстве, окружающем заряженный шарик, есть электрическое поле.

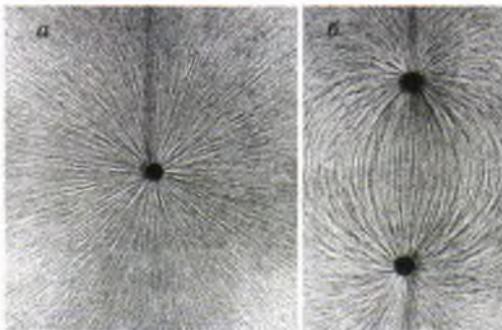


Рис. 10.2. «Картины» электрического поля: а — одного заряда; б — двух разноимённых зарядов

¹ Электризация пластинок основана на явлении электростатической индукции (см. § 8. Носители электрического заряда. Проводники и диэлектрики).

Повторив этот опыт с двумя разноимённо заряженными шариками, мы увидим другую «картину» электрического поля, показанную на рис. 10.2, б. В этом случае крупинки выстраиваются вдоль линий, которые начинаются на одном шарике и заканчиваются на другом.

Подобные опыты впервые поставил Фарадей. Наблюдаемые им «картины» электрического поля и навели его на мысль о реальности поля.

3. ЭНЕРГИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ

Электрическое поле обладает энергией. Об этом свидетельствует, например, следующий опыт.



ПОСТАВИМ ОПЫТ

Зарядим зарядами противоположных знаков две металлические пластины, расположенные на изолирующих подставках недалеко друг от друга (рис. 10.3, а). Разноимённо заряженные пластины притягиваются друг к другу. Значит, раздвигая их, мы совершаём работу против электрических сил. Согласно закону сохранения энергии мы при этом увеличиваем энергию электрического поля, находящегося в пространстве между пластинами. Схематически это изображено на рис. 10.3, б.

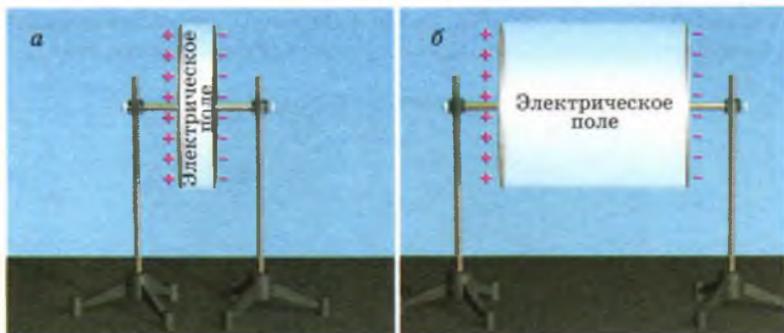


Рис. 10.3. Схематическое изображение электрического поля между заряженными пластинами

4. КОНДЕНСАТОРЫ

Как вы видели, при работе электрофорной машины заряды накапливаются на двух слоях металлической фольги, покрывающих изнутри и снаружи стеклянные сосуды.

Устройства, на которых можно накапливать электрические заряды, называют **конденсаторами**¹.

Любой конденсатор состоит из двух проводников (обкладок), разделённых тонким слоем диэлектрика (в частности, воздуха). На обкладки конденсатора помещают равные по модулю разноимённые электрические заряды. Электрическое поле, сдаваемое зарядами на обкладках, сосредоточено в пространстве между обкладками. Примером конденсатора являются разноимённо заряженные металлические пластины на рис. 10.3.

Сегодня используют конденсаторы разных типов, в том числе настолько малые, что их нельзя увидеть невооружённым глазом.

Способность конденсатора накапливать заряд характеризуют физической величиной, которую называют **электропрёмкостью**.

Конденсаторы нашли широчайшее применение в современной технике: без них не могли бы работать ни радио, ни телевидение.

5. НАПРЯЖЕНИЕ

Когда заряд перемещается в электрическом поле, сила, действующая на него со стороны поля, совершает работу.

Физическую величину U , равную отношению работы A , совершаемой электрическим полем при перемещении заряда q из одной точки в другую, к значению заряда, называют **электрическим напряжением**² между этими точками:

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

Единица напряжения. Единицей напряжения является **вольт** (В). Эта единица напряжения названа в честь итальянского учёного А. Вольты. Напряжение между двумя точками равно 1 В, если при перемещении заряда 1 Кл между этими точками поле совершает работу 1 Дж. Таким образом,

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

Используют также милливольты ($1 \text{ мВ} = 0,001 \text{ В}$) и киловольты ($1 \text{ кВ} = 1000 \text{ В}$).

¹ От латинского «конденсatio» — сгущение.

² Этую величину в учебной литературе для старших классов называют разностью потенциалов.

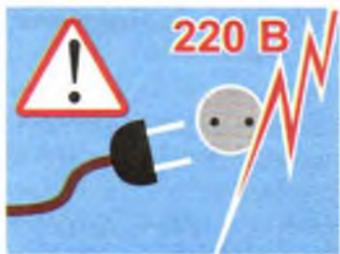


Рис. 10.4. Напряжение в квартирных розетках опасно для жизни

ВЕЛИКО ЛИ НАПРЯЖЕНИЕ 1 В?

Безопасным для человека является напряжение, не превышающее 20–30 В. Например, для проведения школьных лабораторных работ используют напряжение 4 В.

Напряжение в квартирных розетках равно 220 В. Это напряжение опасно для жизни, поэтому будьте осторожны с электричеством (рис. 10.4).



РАЗВИТИЕ ТЕМЫ

6. МОЖНО ЛИ ПОЧУВСТВОВОВАТЬ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ ПОЛЕ?

Электрическое поле, создаваемое заряженными телами, мы непосредственно не видим и не слышим.

Однако когда физики изучили свойства электрического поля, а медики¹ и биологи — свойства человеческого организма, выяснилось, что все наши органы чувств воспринимают на самом деле *только электрическое поле!*

Начнём со зрения. Как вы скоро узнаете, свет имеет электромагнитную природу: при распространении света в пространстве движется быстро изменяющееся электрическое поле². Именно это поле и воспринимают наши глаза!

Перейдём к осязанию. Когда вы прикасаетесь к любому предмету, между вашей рукой и этим предметом действуют силы упругости или силы трения. Обе эти силы имеют электрическую природу.

Слуховые ощущения обусловлены изменением давления воздуха на барабанную перепонку. Давление же воздуха на барабанную перепонку осуществляется благодаря ударам молекул, а взаимодействие молекул имеет электрическую природу.

¹ Некоторые выдающиеся учёные были одновременно физиками и медиками, например английский учёный Т. Юнг, который подтвердил на опыте волновую природу света, а также немецкие учёные Р. Майер и Г. Гельмгольц, которые открыли закон сохранения энергии.

² Вместе с ним движется изменяющееся магнитное поле.

Остались обоняние и вкус. И то и другое, как показали исследования, имеет химическую природу, то есть обусловлено взаимодействием и превращением молекул. Но и то и другое в конечном счёте обусловлено также электрическими силами!

Итак, «невидимое» и «неслышимое» электрическое поле является столь же реальным, как и все видимые, слышимые или ощущаемые любым другим образом предметы. Более того, только благодаря электрическому полю мы их видим, слышим и ощущаем.

ЧТО МЫ УЗНАЛИ

- Взаимодействие заряженных тел осуществляется посредством электрического поля: каждое заряженное тело создаёт электрическое поле, которое действует на другие заряженные тела.
- Электрическое поле обладает энергией.
- Конденсатором называют устройство, с помощью которого можно накапливать электрические заряды.
- Электрическим напряжением между двумя точками называют физическую величину U , равную отношению работы A , совершающейся электрическим полем при перемещении заряда q из одной точки в другую, к значению этого заряда:

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



ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ

Первый уровень

1. Расскажите об электрическом поле: чем оно создаётся и на что действует?
2. Расскажите об опыте, с помощью которого можно наглядно увидеть «картины» электрического поля.
3. Опишите опыт, с помощью которого можно убедиться в том, что электрическое поле обладает энергией.
4. Расскажите о том, что такое конденсатор и для чего он предназначен.
5. Расскажите о том, что такое электрическое напряжение.

Второй уровень

6. Чему равно электрическое напряжение между двумя точками, если при перемещении заряда 2 Кл из первой точки во вторую электрическое поле совершают работу 20 Дж? Опасно ли такое напряжение для человека?
7. Можно ли почувствовать электрическое поле? Приведите примеры, подтверждающие ваш ответ.
8. Два заряженных шарика притягиваются друг к другу. Как изменяется энергия электрического поля при сближении шариков? при удалении их друг от друга?
9. Составьте задачу по теме «Электрическое поле», ответом которой было бы «Энергия поля увеличивается».



ДОМАШНЯЯ ЛАБОРАТОРИЯ

Наэлектризуйте трением расчёску или воздушный шарик. При помощи каких опытов можно убедиться, что вокруг этих заряженных тел существует электрическое поле?



ГЛАВНОЕ В § 7–10

- Электрические взаимодействия обусловлены наличием у тел электрических зарядов. Электрический заряд — это физическая величина, характеризующая интенсивность электрических взаимодействий.
- Сообщение телам электрических зарядов называют электризацией тел.
- Существуют два рода электрических зарядов: положительные и отрицательные. Тела, имеющие заряды одного рода (одноимённо заряженные), отталкиваются, а тела, имеющие заряды разных родов (разноимённо заряженные), притягиваются.
- Носителями электрического заряда являются заряженные частицы — электроны и ионы (атомы, потерявшие или приобретшие один или несколько электронов).
- Электризация тел объясняется тем, что электроны переходят с одного тела на другое. Отрицательный заряд тела обусловлен избытком электронов, а положительный заряд — недостатком электронов.

- Существование атомов обусловлено электрическим притяжением отрицательно заряженных электронов к положительно заряженным атомным ядрам.
- Вещества, проводящие электрический заряд, называют проводниками. Проводниками являются все металлы. В проводниках есть свободные заряды — заряженные частицы, которые могут перемещаться в веществе. Свободными зарядами в металлах являются свободные электроны. В электролитах свободными зарядами являются ионы.
- Вещества, не проводящие электрический заряд, называют диэлектриками.
- Закон сохранения электрического заряда: в электрически изолированной системе тел алгебраическая сумма зарядов тел остаётся неизменной.
- Единица электрического заряда — кулон (Кл).
- Закон Кулона: неподвижные точечные заряды действуют друг на друга силами, прямо пропорциональными модулям зарядов и обратно пропорциональными квадрату расстояния между ними. Модуль каждой силы $F = k \frac{|q_1||q_2|}{r^2}$. Здесь $k = 9 \cdot 10^9 \text{ Н} \cdot \text{м}^2/\text{Кл}^2$.
- Элементарный электрический заряд $e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$. Он равен модулю заряда электрона.
- Взаимодействие заряженных тел осуществляется посредством электрического поля: каждое заряженное тело создаёт электрическое поле, которое действует на другие заряженные тела. Электрическое поле обладает энергией.
- Конденсатором называют устройство, с помощью которого можно накапливать электрические заряды.
- Электрическим напряжением между двумя точками называют отношение работы A , совершающейся электрическим полем при перемещении заряда q из одной точки в другую, к значению этого заряда: $U = \frac{A}{q}$.

§ 11.

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ТОК. ДЕЙСТВИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ТОКА

1. Электрический ток и условия его существования
2. Источники тока
3. Электрическая цепь
4. Действия электрического тока

1. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ТОК И УСЛОВИЯ ЕГО СУЩЕСТВОВАНИЯ

Вы уже знаете, что электрический заряд можно передавать по проводнику. При этом возникает

электрический ток — направленное движение¹ заряженных частиц.

Чтобы заряженные частицы могли двигаться, они должны быть *свободными зарядами*. Поэтому

первым условием существования электрического тока является наличие свободных зарядов.

За *направление тока* условились принимать то направление, в котором переносится электрический заряд, то есть движутся *положительно заряженные частицы*.

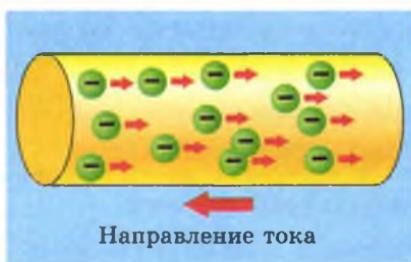


Рис. 11.1. Направление тока и направление движения электронов в металле

Таким образом, чтобы электрический ток не прекращался, заряженные частицы должны «подгонять» сила, действующая на них со стороны электрического поля. Следовательно,

второе условие существования электрического тока — наличие в веществе электрического поля.

Если же заряд переносится *отрицательно заряженными* частицами — как в металлах, где свободными зарядами являются *электроны*, — то направление движения заряженных частиц *противоположно* направлению тока (рис. 11.1).

Движущиеся заряженные частицы сталкиваются с другими частицами вещества, что тормозит их движение. Поэтому

¹ Иногда это движение называют также упорядоченным.

2. ИСТОЧНИКИ ТОКА

До конца 18-го века учёные «получали электричество», то есть сообщали телам электрические заряды, в основном посредством трения. Напомним, что в результате происходит *разделение зарядов*: тела приобретают *равные по модулю и противоположные по знаку* электрические заряды: одно тело заряжается положительно, а другое — отрицательно.

В конце 18-го века произошёл решительный и счастливый поворот в изучении электрических явлений.

Итальянский учёный А. Вольта обнаружил, что если между медной и цинковой пластинками проложить кусок пропитанной кислотой ткани, то медная пластинка приобретает положительный заряд, а цинковая — отрицательный. Это значит, что происходит *разделение зарядов!* Если соединить проводником медную и цинковую пластинки, то в нём возникает *электрический ток*.

Так был изобретён первый *источник тока*.

Чтобы увеличить силу тока, Вольта сложил медные и цинковые кружки столбом, переложив их кружками из пропитанной кислотой ткани (рис. 11.2, а). Этот источник тока, названный «вольтовым столбом», сыграл огромную роль в развитии науки об электрических и магнитных явлениях.

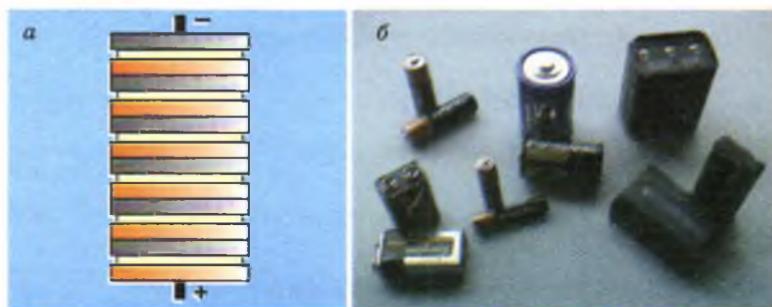


Рис. 11.2. Гальванические источники тока

Почему же в изобретённом Вольта источнике тока происходит разделение зарядов? Дело в том, что медь и цинк по-разному вступают в *химические реакции* с кислотой. Вследствие этого на проводнике (электроде), соединённом с медной пластинкой, накапливается положительный заряд, а на проводнике (электроде), соединённом с цинковой пластинкой,

накапливается отрицательный заряд. Эти электроды называют *полюсами* источника тока — соответственно положительным и отрицательным.

Итак,

действие источника тока основано на том, что в нём происходит *разделение зарядов*: положительные заряды накапливаются на одном полюсе источника, а отрицательные — на другом.

Источники тока, действие которых обусловлено химическими реакциями, называют *гальваническими¹ элементами*.

При разделении зарядов необходимо преодолевать притяжение между разноимёнными зарядами, то есть *совершать работу*. В гальваническом источнике тока эта работа совершается за счёт уменьшения внутренней энергии: вследствие химических реакций уменьшается потенциальная энергия взаимодействия атомов.

Гальванические элементы широко используют и сегодня — это хорошо знакомые вам батарейки и аккумуляторы (рис. 11.2, б). Аккумулятор отличается от батарейки тем, что батарейку можно использовать только один раз, а аккумулятор можно заряжать многократно.

Источниками тока на электростанциях являются *генераторы электрического тока*. Их действие мы рассмотрим в § 21. *Производство и передача электроэнергии*.

3. ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ ЦЕПЬ

На рис. 11.3, а показана простейшая электрическая цепь.

Обратите внимание на основные части электрической цепи:

- источник тока (в нашем случае батарейка);
- потребитель тока (лампочка);
- соединительные провода;
- ключ (выключатель).

На рис. 11.3, б приведена *схема* цепи — упрощённый чертёж, на котором изображён способ соединения элементов цепи с условными знаками для этих элементов.

¹ В честь итальянского учёного Луиджи Гальвани, который открыл электрические явления при мышечном сокращении, проводя опыты на лягушках.

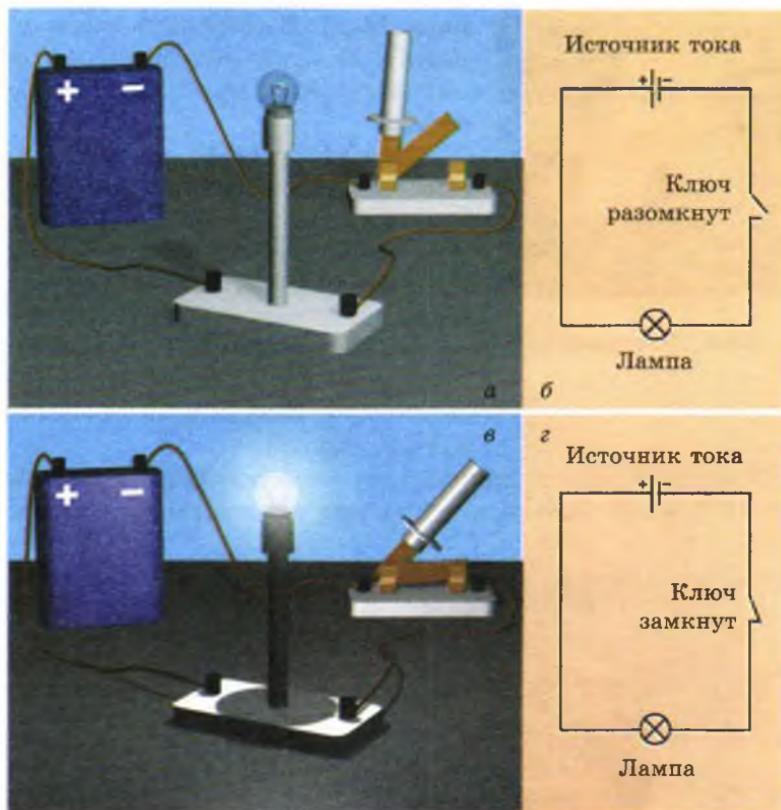


Рис. 11.3. Простейшая электрическая цепь и её схема

Сборку электрической цепи производят *при разомкнутом ключе!* Замыкая ключ, включаем лампочку (рис. 11.3, в, г).

4. ДЕЙСТВИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ТОКА

Тепловое и световое действия тока. Эти действия электрического тока наглядно проявили себя в нашей простейшей электрической цепи: лампочка и греется, и светит.

Световое действие тока первым нашло применение. Через несколько лет после того, как Вольта изобрёл свой источник тока, российский учёный В. В. Петров с помощью «вольтова столба» получил *электрическую дугу* — источник света, который и сегодня остаётся одним из самых ярких



Рис. 11.4. Электрическая дуга

(рис. 11.4). Российский электротехник П. Н. Яблочков первым применил электрическую дугу для освещения.

Первую лампу накаливания (рис. 11.5, а) создал российский электротехник А. Н. Лодыгин — при прохождении тока в ней раскалялся угольный стержень. На рис. 11.5, б изображена современная лампа накаливания. Большой вклад в усовершенствование ламп накаливания внёс американский изобретатель Т. Эдисон.

Сегодня широко используют энергосберегающие лампы (рис. 11.5, в). Их свечение обусловлено явлениями, возникаю-



Рис. 11.5. Электрические лампы

щими при прохождении электрического тока через газы. Эти лампы потребляют в несколько раз меньше электроэнергии, чем дающие такое же освещение лампы накаливания. Ещё экономичней так называемые светодиоды, которые используют, например, в карманных фонариках (рис. 11.5, г).

Тепловое действие тока используют в электрических нагревательных приборах (например, в электрочайниках).

Химическое действие тока. Мы сможем наблюдать его в следующем опыте.



ПОСТАВИМ ОПЫТ

Опустим в голубоватый раствор медного купороса¹ угольные электроды и будем пропускать сквозь раствор электрический ток. Вскоре на электроде, соединённом с отрицательным полюсом источника тока, появится желтоватый налёт: в результате химической реакции начала выделяться медь (рис. 11.6).

Таким образом, прохождение тока может сопровождаться химическими реакциями.

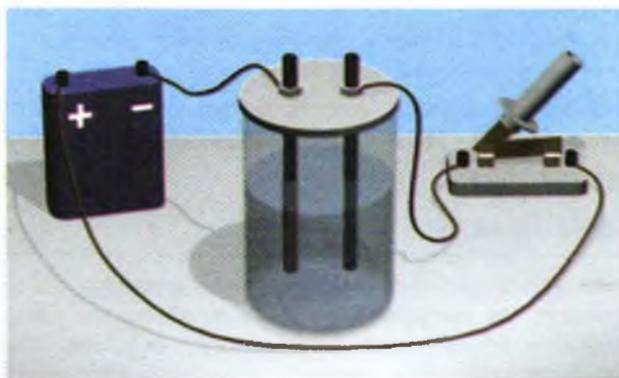


Рис. 11.6. Пример химического действия тока

Явление переноса и выделения вещества на электродах при прохождении электрического тока называют электролизом². С помощью электролиза никелируют и хромируют изделия, а также получают некоторые металлы, например алюминий.

¹ Сульфат меди (II).

² От греческого «литос» — разложимый, растворимый.

Магнитное действие тока. Начнём снова с опыта.



ПОСТАВИМ ОПЫТ

Поместим на стол магнитную стрелку и подождём, пока она расположится естественным образом, то есть синий конец стрелки будет указывать на север (рис. 11.7, а).

Расположим параллельно стрелке проводник и пропустим по нему ток. Магнитная стрелка повернётся и расположится перпендикулярно проводнику (рис. 11.7, б). Значит, проводник, по которому течёт ток, действует на магнит.

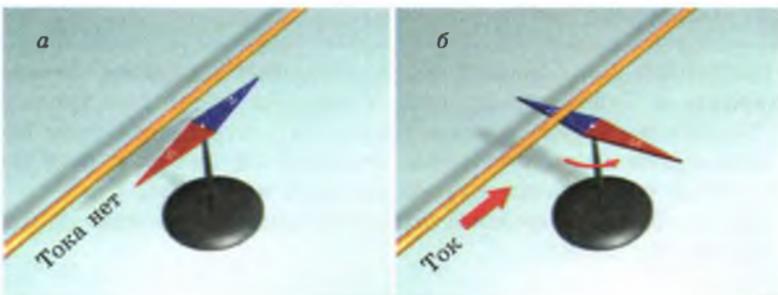


Рис. 11.7. Пример магнитного действия тока

В отличие от других действий тока магнитное действие проявляется *всегда*. Поэтому его используют в электроизмерительных приборах.

ЧТО МЫ УЗНАЛИ

- Электрический ток — это направленное движение заряженных частиц. За направление тока принимают направление движения положительно заряженных частиц. Свободные электроны в металлах движутся в направлении, противоположном направлению тока.
- Условия существования электрического тока: 1) наличие свободных зарядов; 2) наличие электрического поля в проводнике.
- В источнике тока происходит разделение зарядов, вследствие чего один его полюс заряжается положительно, а другой — отрицательно. В гальванических источниках тока (батареях и аккумуляторах) разделение зарядов обусловлено химическими реакциями.
- Основные части электрической цепи: источник тока, потребитель тока, соединительные провода, ключ.

- Действия электрического тока: тепловое, световое, химическое, магнитное.



ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ

Первый уровень

1. Расскажите о том, что собой представляет электрический ток.
2. Какое направление принимают за направление электрического тока?
3. Сравните направление тока в металлических проводниках с направлением движения электронов: совпадают они или противоположны?
4. Расскажите об условиях существования электрического тока.
5. Опишите электрическую цепь и укажите её основные части.
6. Изобразите в тетради обозначения источника тока, лампы и ключа на электрических схемах.
7. Опишите тепловое, световое, химическое и магнитное действия электрического тока и приведите примеры каждого из этих видов действия.

Второй уровень

8. Расскажите об изобретении первого источника электрического тока. Чьё это изобретение?
9. Объясните, зачем в электрической цепи нужен источник тока.
10. Чем отличается магнитное действие тока от других действий тока? Где используют это отличие?
11. Опишите, какие действия электрического тока можно наблюдать, пропуская ток через морскую воду.
12. Начертите схему электрической цепи, состоящей из двух ламп и двух ключей, в которой каждый ключ включал бы или выключал только «свою» лампу.
13. Составьте задачу по теме «Действия электрического тока», ответом которой было бы «Только магнитное».



ДОМАШНЯЯ ЛАБОРАТОРИЯ

Простейший гальванический источник тока можно сделать из картофеля, лимона или яблока, используя в качестве электродов две монеты из различных металлов (сплавов) — «белую» и «жёлтую». Вставьте в свежеразрезанный картофель монеты так, чтобы они не касались друг друга, и прикоснитесь одновременно к обеим монетам языком: вы почувствуете «вкус» электрического тока. Та-

кой же, но более ощутимый «вкус» вы почувствуете, коснувшись языком одновременно двух полюсов круглой электрической батарейки (для этого можно воспользоваться короткой проволокой).

§ 12.

СИЛА ТОКА И НАПРЯЖЕНИЕ

1. Сила тока
2. Напряжение на участке цепи
3. Сила тока и напряжение при последовательном соединении проводников
4. Сила тока и напряжение при параллельном соединении проводников

1. СИЛА ТОКА

Когда по проводнику течёт электрический ток, заряженные частицы ежесекундно переносят электрический заряд через любое поперечное сечение проводника.

Физическую величину I , равную отношению электрического заряда q , перенесённого через поперечное сечение проводника за промежуток времени t , к этому промежутку времени, называют *силой тока*:

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

Чем больше сила тока I , тем больше заряд q , который за данный промежуток времени t проходит через поперечное сечение проводника: $q = It$.

Единица силы тока. Для определения единицы силы тока используют магнитное взаимодействие проводников с токами. Это взаимодействие открыл французский физик А. Ампер, поэтому единицу силы тока в СИ назвали *ампер* (A). Мы расскажем об этом в § 18. *Магнитные взаимодействия*.

Используют также единицы тока миллиампер ($1 \text{ mA} = 0,001 \text{ A}$), микроампер ($1 \text{ мкA} = 0,000001 \text{ A}$) и килоампер ($1 \text{ кA} = 1000 \text{ A}$).

Если сила тока в проводнике равна 1 A , то через поперечное сечение проводника ежесекундно переносится заряд, равный 1 Кл . Из формул $I = \frac{q}{t}$ и $q = It$ следует, что

$$1 \text{ A} = \frac{1 \text{ Кл}}{1 \text{ с}}, \quad 1 \text{ Кл} = 1 \text{ A} \cdot 1 \text{ с}.$$



Какова сила тока в проводнике, если через поперечное сечение проводника за 3 с прошёл заряд 15 Кл?

Какой заряд проходит по проводнику за 10 с, если сила тока равна 5 А?

Велика ли сила тока 1 А? В электротехнике такая сила тока является заурядной: например, сила тока в настольной лампе составляет несколько десятых долей ампера, а в электрочайнике — почти 10 А.

Но для человека опасна сила тока всего в несколько сотых ампера. Поэтому напоминаем: будьте осторожны с электричеством!

ИЗМЕРЕНИЕ СИЛЫ ТОКА

Силу тока измеряют *амперметром*. На рис. 12.1, *a* изображён школьный амперметр¹. На шкале амперметра есть буква А. На схемах амперметр изображают кружком с этой же буквой (рис. 12.1, *б*).

Для измерения силы тока в проводнике амперметр подключают *последовательно* с этим проводником — в этом случае через проводник и амперметр идёт *одинаковый* ток.

Последовательное соединение амперметра с лампой схематически показано на рис. 12.1, *б*.

У клемм (зажимов) амперметра изображены знаки «+» и «-». При правильном включении прибора электрический ток через амперметр должен идти от клеммы «+» к клемме «-». Следите за этим, когда будете измерять силу тока во время лабораторных работ!

2. НАПРЯЖЕНИЕ НА УЧАСТКЕ ЦЕПИ

Когда по проводнику идёт ток, электрическое поле в проводнике действует на движущиеся зарженные частицы и поэтому совершает работу.

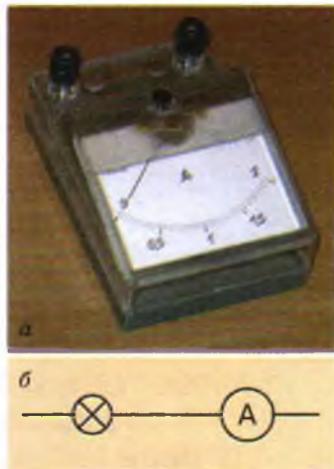


Рис. 12.1. Амперметр (*а*) и его подключение к проводнику (лампе) для измерения силы тока (*б*)

¹ Приборы со стрелками иногда заменяют приборами с цифровым табло.

Физическую величину U , равную отношению работы A электрического поля по перемещению заряда q на данном участке цепи к значению этого заряда называют *напряжением на данном участке¹ цепи*:

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

Напомним, что единицей напряжения в СИ является 1 В.

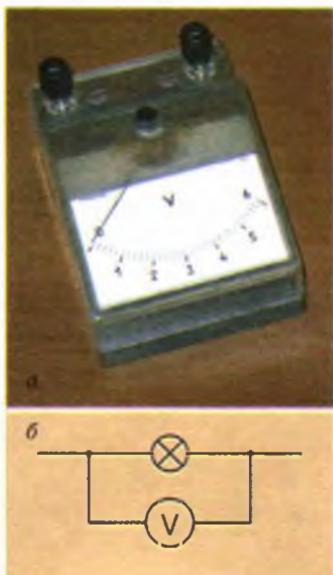


Рис. 12.2. Вольтметр (а) и его подключение к проводнику (лампе), на котором измеряют напряжение (б)

ИЗМЕРЕНИЕ НАПРЯЖЕНИЯ

Напряжение измеряют *вольтметром*. На рис. 12.2, а изображён школьный вольтметр. На шкале вольтметра есть буква V. На схемах вольтметр обозначают кружком с этой же буквой (рис. 12.2, б).

Для измерения напряжения на проводнике вольтметр соединяют *параллельно* с этим проводником — в этом случае на проводнике и вольтметре *напряжение одинаково*.

Параллельное соединение вольтметра с лампой схематически показано на рис. 12.2, б.

При измерении напряжения вольтметр тоже надо подключать так, чтобы электрический ток через него шёл от клеммы со знаком «+» к клемме со знаком «-».

3. СИЛА ТОКА И НАПРЯЖЕНИЕ ПРИ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОМ СОЕДИНЕНИИ ПРОВОДНИКОВ

Вы уже знаете, что при последовательном соединении двух проводников сила тока в них одинакова. А что можно сказать о напряжении на этих проводниках?

¹ Напряжение на проводнике называют также напряжением между концами проводника.



ПОСТАВИМ ОПЫТ

На рис. 12.3 изображена схема, с помощью которой можно измерить напряжения U_1 и U_2 на последовательно соединённых проводниках 1 и 2, а также напряжение U на данном участке цепи. Мы увидим, что $U = U_1 + U_2$.

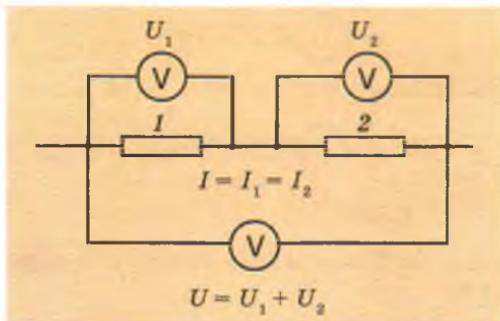


Рис. 12.3. Измерение напряжения на проводниках при последовательном соединении проводников

Таким образом,

при последовательном соединении проводников сила тока в них одинакова:

$$I = I_1 = I_2,$$

а напряжение на участке цепи, состоящем из этих проводников, равно сумме напряжений на проводниках:

$$U = U_1 + U_2.$$

4. СИЛА ТОКА И НАПРЯЖЕНИЕ ПРИ ПАРАЛЛЕЛЬНОМ СОЕДИНЕНИИ ПРОВОДНИКОВ

Мы знаем, что при параллельном соединении двух проводников напряжение на них одинаково. Как связана в этом случае сила тока в каждом проводнике с силой тока в неразветвленном участке цепи?



ПОСТАВИМ ОПЫТ

С помощью схемы, изображённой на рис. 12.4, можно измерить силы тока I_1 и I_2 в параллельно соединённых проводниках 1 и 2, а также силу тока I на всём участке. Мы увидим, что $I = I_1 + I_2$.

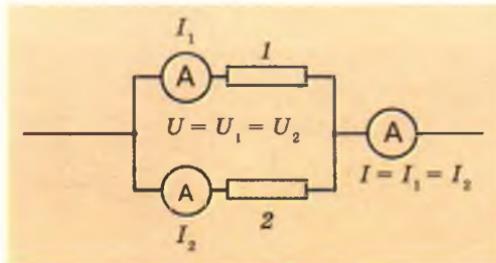


Рис. 12.4. Измерение силы тока в проводниках при параллельном соединении проводников

Таким образом,

при параллельном соединении проводников напряжение на них одинаково:

$$U = U_1 = U_2,$$

а сила тока на участке цепи, состоящем из этих проводников, равна сумме сил токов в проводниках:

$$I = I_1 + I_2.$$

ЧТО МЫ УЗНАЛИ

- Сила тока $I = \frac{q}{t}$, где q — заряд, перенесённый через поперечное сечение проводника за промежуток времени t .
- Единица силы тока — А (ампер).
- Соотношение между единицами силы тока и заряда: $1 \text{ Кл} = 1 \text{ А} \cdot 1 \text{ с.}$
- Силу тока измеряют амперметром. Амперметр включают последовательно с проводником, в котором измеряют силу тока; при этом в проводнике и амперметре сила тока одна и та же.
- Напряжение на участке цепи $U = \frac{A}{q}$, где A — работа по перемещению заряда q на данном участке цепи.

- Напряжение измеряют вольтметром. Вольтметр включают параллельно с проводником, на котором измеряют напряжение; при этом напряжение на проводнике и вольтметре одинаково.
- Напряжение на участке цепи, состоящем из последовательно соединённых проводников, равно сумме напряжений на этих проводниках: $U = U_1 + U_2$.
- Сила тока в участке цепи, состоящем из параллельно соединённых проводников, равна сумме сил токов в этих проводниках: $I = I_1 + I_2$.



ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ

Первый уровень

1. Расскажите о том, что такое сила тока. Какова единица силы тока в СИ?
2. Через поперечное сечение проводника за 10 с прошёл заряд 20 Кл. Какова сила тока в проводнике?
3. Расскажите, каким прибором измеряют силу тока и как этот прибор подключают к проводнику, в котором измеряют силу тока.
4. Расскажите о том, что такое напряжение на участке цепи.
5. Назовите прибор для измерения напряжения; начертите схему подключения этого прибора к проводнику, на котором измеряют напряжение.

Второй уровень

6. Сила тока в лампочке карманного фонарика 0,5 А. Какой заряд проходит через поперечное сечение нити накала лампочки за 1 ч?
7. Сравните амперметр и вольтметр: что у них общего и чем они различаются?
8. Почему амперметр надо подключать последовательно с проводником, в котором измеряют силу тока, а вольтметр — параллельно этому проводнику?
9. Начертите схему электрической цепи, состоящей из источника тока и двух последовательно соединённых ламп. Изобразите, как надо подключить амперметр и вольтметр для измерения силы тока в каждой лампе и напряжения на каждой лампе.
10. Начертите схему электрической цепи, состоящей из источника тока и двух параллельно соединённых ламп.

Изобразите, как надо подключить амперметр и вольтметр для измерения силы тока в каждой лампе и напряжения на каждой лампе.

11. Сила тока в одном проводнике 3 А, а в другом — 5 А. Как могут быть соединены эти проводники — последовательно или параллельно?
12. Участок цепи состоит из двух параллельно соединённых проводников. Сила тока в первом проводнике 2 А, а сила тока в неразветвлённом участке цепи 5 А. Какова сила тока во втором проводнике?
13. Напряжение на каждом из двух проводников 5 В. Как могут быть соединены эти проводники — последовательно или параллельно?
14. Составьте задачу по теме «Сила тока и напряжение», ответом которой было бы «Только параллельно».

§ 13.

СОПРОТИВЛЕНИЕ. ЗАКОН ОМА ДЛЯ УЧАСТКА ЦЕПИ

1. Электрическое сопротивление проводника
2. Удельное сопротивление вещества
3. Закон Ома для участка цепи
4. Как зависит удельное сопротивление проводников от температуры?
5. Примеры решения более трудных задач

1. ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ ПРОВОДНИКА

Изучим, как зависит сила тока в проводнике от напряжения на нём.

В качестве проводников мы будем использовать так называемые *резисторы*¹. Они изготовлены из специальных сплавов, иногда в виде спирали. На электрических схемах резистор изображают прямоугольником с буквой R (рис. 13.1, а).



ПОСТАВИМ ОПЫТ

Соберём цепь по схеме, изображённой на рис. 13.1, а. Амперметр измеряет силу тока в резисторе, а вольтметр — напряжение на резисторе. В качестве источника тока удобно использовать источник тока с регулируемым напряжением.

¹ От латинского «рэзистер» — сопротивляться.

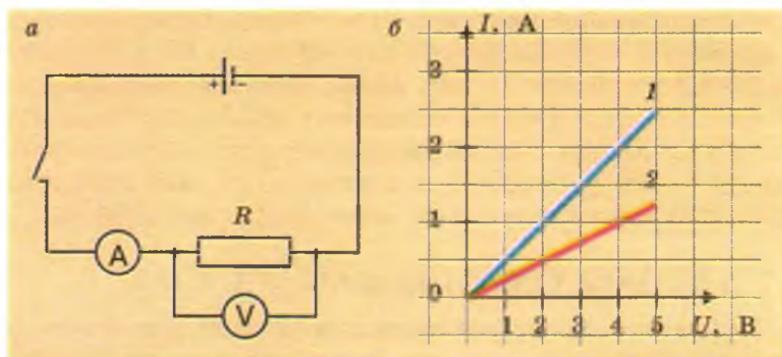


Рис. 13.1. Изучение зависимости силы тока от напряжения: а — схема цепи; б — график зависимости силы тока от напряжения

На рис. 13.1, б изображены полученные на опыте графики зависимости силы тока от напряжения для двух разных резисторов. Мы видим, что *сила тока в проводнике прямо пропорциональна напряжению на этом проводнике*.

Электрическое сопротивление. Зависимость силы тока I в проводнике от напряжения U записывают в виде

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

а входящую в эту формулу величину R называют *электрическим сопротивлением* проводника. Чем больше сопротивление проводника, тем меньше сила тока в нём при том же напряжении.

Единица сопротивления. Из формулы $I = \frac{U}{R}$ следует, что $R = \frac{U}{I}$. В качестве единицы сопротивления выбрали сопротивление такого проводника, в котором сила тока равна 1 А при напряжении 1 В. Эту единицу сопротивления называют ом (обозначают Ом) в честь немецкого физика Г. Ома. Из формулы $R = \frac{U}{I}$ следует, что

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

Чему равно сопротивление проводника, если при напряжении на его концах 10 В сила тока в проводнике 2 А?

Какова сила тока в проводнике, если напряжение на его концах 36 В, а сопротивление проводника 12 Ом?

Велико ли сопротивление 1 Ом? Такое сопротивление имеет, например, медный провод длиной около 60 м с площадью поперечного сечения 1 мм^2 . Сопротивление соединительных проводов электроприборов составляет обычно сотые или даже тысячные доли ома. Сопротивление же самих электроприборов намного больше; например, сопротивление нити накаливания настольной лампы (когда нить накалена) около 1000 Ом.

2. УДЕЛЬНОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ ВЕЩЕСТВА

Опыты¹ и расчёты (мы приведём их в следующем параграфе) показывают, что сопротивление R провода прямо пропорционально его длине l и обратно пропорционально площади поперечного сечения S . Поэтому можно записать:

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

Входящую в эту формулу физическую величину ρ называют *удельным сопротивлением* вещества, из которого изготовлен провод.

Зная сопротивление проводника, его длину и площадь поперечного сечения, можно найти удельное сопротивление вещества, из которого он изготовлен, по формуле $\rho = \frac{RS}{l}$. Из этой формулы следует, что единицей удельного сопротивления является 1 Ом · м.

Значения удельного сопротивления² некоторых металлов и сплавов приведены в следующей таблице.

Вещество	Удельное сопротивление, Ом · м	Вещество	Удельное сопротивление, Ом · м
Серебро	$1,6 \cdot 10^{-8}$	Железо	$10 \cdot 10^{-8}$
Медь	$1,7 \cdot 10^{-8}$	Свинец	$21 \cdot 10^{-8}$
Золото	$2,4 \cdot 10^{-8}$	Ртуть	$96 \cdot 10^{-8}$
Алюминий	$2,8 \cdot 10^{-8}$	Нихром ³	$110 \cdot 10^{-8}$
Вольфрам	$5,5 \cdot 10^{-8}$	Фехраль ⁴	$130 \cdot 10^{-8}$

Как мы видим, наименьшее удельное сопротивление у серебра. Чуть больше удельное сопротивление у меди, но она

¹ Первым подобные опыты поставил Г. Ом.

² При комнатной температуре.

³ Сплав, состоящий в основном из никеля и хрома.

⁴ Сплав, состоящий в основном из железа, хрома и алюминия.

намного дешевле серебра, поэтому соединительные провода делают из меди. С этой же целью часто используют и алюминий, потому что он ещё дешевле.

Из сплавов с большим удельным сопротивлением (таких, как никром и фехраль) изготавливают спирали для электронагревательных приборов (электрочайников, электрокаминов и т. д.). Подобные сплавы используют и для изготовления резисторов.



РЕШИМ ЗАДАЧУ

Чему равно сопротивление медного провода длиной 3 м и по-перечным сечением 1 мм^2 ?

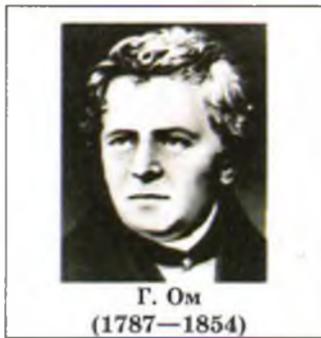
Решение. Поскольку $1 \text{ мм}^2 = 1 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2$, то

$$R = \rho \frac{l}{S} = 1,7 \cdot 10^{-8} \text{ Ом} \cdot \text{м} \cdot \frac{3 \text{ м}}{1 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2} = 0,051 \text{ Ом}.$$

Ответ: 0,051 Ом.

3. ЗАКОН ОМА ДЛЯ УЧАСТКА ЦЕПИ

Соотношение между силой тока I в проводнике, напряжением U на этом проводнике и сопротивлением R проводника впервые установил на опыте немецкий физик Г. Ом. Поэтому



соотношение $I = \frac{U}{R}$ называют **законом Ома для участка цепи**.

Закон Ома с хорошей точностью выполняется для металлов и электролитов.

Если известны сила тока I и сопротивление R проводника, то напряжение U на этом проводнике можно найти по формуле $U = IR$. А если известны напряжение U и сила тока I , то сопротивление проводника R находим по формуле $R = \frac{U}{I}$.



РЕШИМ ЗАДАЧУ

На рис. 13.1, б изображён график зависимости силы тока от напряжения для двух резисторов (1 и 2). Чему равны сопротивления этих резисторов?

Решение. Воспользуемся формулой $R = \frac{U}{I}$. Для резистора 1 значению напряжения $U = 4$ В соответствует сила тока $I = 2$ А. Отсюда

$$R_1 = \frac{4 \text{ В}}{2 \text{ А}} = 2 \frac{\text{В}}{\text{А}} = 2 \text{ Ом.}$$

Аналогично получаем

$$R_2 = \frac{4 \text{ В}}{1 \text{ А}} = 4 \frac{\text{В}}{\text{А}} = 4 \text{ Ом.}$$

Ответ: 2 Ом; 4 Ом.



РАЗВИТИЕ ТЕМЫ

4. КАК ЗАВИСИТ УДЕЛЬНОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ ПРОВОДНИКОВ ОТ ТЕМПЕРАТУРЫ?

Опыты показывают, что

удельное сопротивление металлов при нагревании увеличивается.

Объясняется это тем, что при нагревании усиливаются тепловые колебания ионов, образующих кристаллическую решётку (напомним, что металлы в твёрдом состоянии являются кристаллами). Усиление колебаний ионов в кристаллической решётке металла затрудняет движение свободных электронов, что и приводит к увеличению сопротивления при нагревании металлического проводника.

Удельное сопротивление металла может при нагревании увеличиться в несколько раз. Например, сопротивление раскалённой нити лампы накаливания в 10—12 раз больше, чем её сопротивление при комнатной температуре! А вот

сопротивление электролитов при нагревании уменьшается.

Это происходит главным образом потому, что при нагревании увеличивается число ионов — носителей заряда в электролитах.

5. ПРИМЕРЫ РЕШЕНИЯ БОЛЕЕ ТРУДНЫХ ЗАДАЧ

1. Перебирая свои «сокровища», ученик нашёл моток медной проволоки, покрытой тонким слоем лака (диэлектрика). Оба конца проволоки были вне мотка, и ученик решил воспользоваться этим, чтобы найти длину проволоки, не разматывая мотка. Взвесив моток, ученик нашёл, что его масса 0,5 кг. Соединив концы мотка с источником напряжения 6 В, ученик измерил, что сила тока 1,5 А. Какова длина проволоки? Будем считать, что массой лака можно пренебречь. Плотность меди 8900 кг/м³.

Решение. Сопротивление проволоки $R = \frac{U}{I} = \frac{6 \text{ В}}{1,5 \text{ А}} = 4 \text{ Ом}$.

С другой стороны, $R = \rho \frac{l}{S}$, где ρ — удельное сопротивление меди. Масса проволоки связана с её длиной l и площадью поперечного сечения S соотношением $m = dlS$, где d — плотность меди. Умножив уравнения для сопротивления провода и его массы друг на друга (то есть приравняв произведение левых частей уравнений произведению их правых частей), получим $mR = d\rho l^2$, откуда

$$l = \sqrt{\frac{mR}{d\rho}} = \sqrt{\frac{0,5 \text{ кг} \cdot 4 \text{ Ом}}{8,9 \cdot 10^3 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \cdot 1,7 \cdot 10^{-8} \text{ Ом} \cdot \text{м}}} = 115 \text{ м.}$$

Ответ: 115 м.

2. Оценим длину нити лампы накаливания, если известно, что её толщина 0,05 мм и при напряжении 220 В сила тока в лампе 0,5 А. Примем, что удельное сопротивление вольфрама при рабочей температуре лампы (когда нить накалена) в 12 раз больше, чем при комнатной температуре.

Решение. Длину нити l можно найти, используя формулу $R = \rho \frac{l}{S}$, где ρ — удельное сопротивление вольфрама при температуре накала нити (по условию задачи $12 \cdot 5,5 \cdot 10^{-8} \text{ Ом} \cdot \text{м} = 6,6 \cdot 10^{-7} \text{ Ом} \cdot \text{м}$), а S — площадь поперечного сечения нити (она выражается через диаметр нити d формулой $S = \frac{\pi d^2}{4}$). Согласно закону Ома $R = \frac{U}{I} = \frac{220 \text{ В}}{0,5 \text{ А}} = 440 \frac{\text{В}}{\text{А}} = 440 \text{ Ом}$. Таким образом,

$$l = \frac{RS}{\rho} = \frac{R\pi d^2}{4\rho} = \frac{440 \text{ Ом} \cdot 3,14 \cdot (0,05 \cdot 10^{-3} \text{ м})^2}{4 \cdot 6,6 \cdot 10^{-7} \text{ Ом} \cdot \text{м}} = 1,3 \text{ м.}$$

Ответ: 1,3 м.

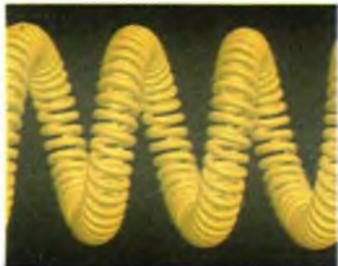


Рис. 13.2. Нить лампы накаливания при большом увеличении

Такой ответ может вызвать сомнения в правильности решения: как такая длинная нить может уместиться в маленькой лампе? Однако если вы рассмотрите нить *выключенной* лампы с помощью лупы, то увидите, что эта очень тонкая нить свёрнута в *двойную* спираль (рис. 13.2). Только благодаря этому и удается поместить длинную нить в маленькую лампу!

ЧТО МЫ УЗНАЛИ

- Закон Ома для участка цепи: сила тока I в проводнике прямо пропорциональна напряжению U на его концах и обратно пропорциональна сопротивлению R проводника: $I = \frac{U}{R}$.
- Единица сопротивления 1 Ом = $\frac{1\text{ В}}{1\text{ А}}$.
- Сопротивление провода $R = \rho \frac{l}{S}$, где l — длина провода, S — площадь его поперечного сечения, ρ — удельное сопротивление металла, из которого сделан провод.
- Малым удельным сопротивлением обладают металлы, а наименьшим среди них — серебро, медь и алюминий. Поэтому из меди и алюминия изготавливают провода.
- При повышении температуры удельное сопротивление металлов увеличивается, а удельное сопротивление электролитов уменьшается.



ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ

Первый уровень

1. Опишите зависимость силы тока в металлическом проводнике от напряжения на его концах. Какой вид имеет график этой зависимости?
2. Расскажите о том, что такое электрическое сопротивление. Какова единица сопротивления в СИ?

3. Опишите физические величины, входящие в формулу $R = \rho \frac{l}{S}$.
4. Опишите зависимость сопротивления провода от его длины и площади поперечного сечения. Какой формулой выражается эта зависимость?
5. Объясните, почему удельное сопротивление характеризует вещество, из которого сделан проводник, а не сам проводник.
6. Чему равно сопротивление алюминиевой проволоки длиной 10 м с площадью поперечного сечения 2 мм^2 ?
7. Какие вещества обладают малым удельным сопротивлением? Где их применяют?
8. Расскажите о законе Ома для участка цепи. Какой формулой выражается этот закон?

Второй уровень

9. Для каких проводников выполняется закон Ома?
10. Имеются медный и алюминиевый провода одинаковой длины с одинаковой площадью поперечного сечения. У какого провода сопротивление больше? Во сколько раз больше?
11. Проволоку сопротивлением 25 Ом разрезали на пять одинаковых частей, которые скрутили жгутом. Чему равно сопротивление этого жгута?
12. Электрическое сопротивление медного провода площадью поперечного сечения 0,1 мм^2 равно 85 Ом. Какова длина провода?
13. Найдите площадь поперечного сечения медной проволоки в мотке, если её сопротивление 4 Ом, а масса мотка 0,5 кг. Плотность меди 8900 $\text{кг}/\text{м}^3$.
14. Опишите зависимость сопротивления металлов от температуры.
15. Опишите зависимость сопротивления электролитов от температуры.
16. Составьте задачу по теме «Удельное сопротивление», ответом которой было бы «Из золота».

§ 14.

ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОЕ И ПАРАЛЛЕЛЬНОЕ СОЕДИНЕНИЯ ПРОВОДНИКОВ

1. Последовательное соединение
2. Параллельное соединение
3. Реостаты
- 4. Задачи на последовательное и параллельное соединения проводников
- 5. Почему сопротивление провода прямо пропорционально его длине и обратно пропорционально площади поперечного сечения?

1. ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОЕ СОЕДИНЕНИЕ

Сопротивление R двух последовательно соединённых проводников (резисторов) R_1 и R_2 сопротивлениями R_1 и R_2 можно измерить с помощью схемы, изображённой на рис. 14.1.

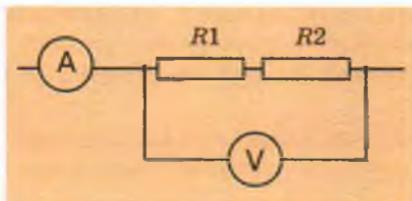


Рис. 14.1. Измерение сопротивления последовательно соединённых резисторов

Опыт показывает, что

общее сопротивление двух последовательно соединённых проводников сопротивлениями R_1 и R_2 выражается формулой

$$R = R_1 + R_2.$$

Ниже мы выведем это соотношение.

Обратите внимание: при *последовательном соединении* двух проводников их общее сопротивление *больше*, чем сопротивление любого из них. Это справедливо и для последовательного соединения нескольких проводников.

При последовательном соединении n проводников сопротивлением r каждый (рис. 14.2) их общее сопротивление

$$R = nr.$$

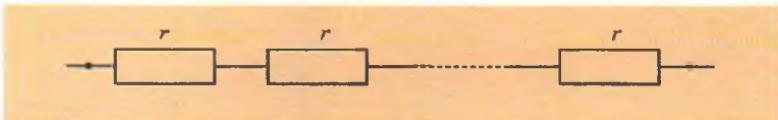


Рис. 14.2. Схема последовательного соединения одинаковых проводников



Общее сопротивление двух последовательно соединённых резисторов 10 Ом. Сопротивление одного резистора 2 Ом. Каково сопротивление другого резистора?

Сколько резисторов сопротивлением 2 Ом каждый надо соединить последовательно, чтобы их общее сопротивление было 40 Ом?

При последовательном соединении проводников сила тока в них одинакова: $I = I_1 = I_2$. Сравним напряжение на проводниках. Согласно закону Ома $U_1 = IR_1$, $U_2 = IR_2$. Отсюда следует, что

при последовательном соединении напряжение больше на том проводнике, который имеет большее сопротивление.



РЕШИМ ЗАДАЧУ

К источнику тока напряжением 6 В подключены последовательно два резистора сопротивлениями 2 и 4 Ом. Чему равна сила тока в резисторах и напряжение на каждом из них?

Дано:

$$U = 6 \text{ В}$$

$$R_1 = 2 \text{ Ом}$$

$$R_2 = 4 \text{ Ом}$$

$$I = ?$$

$$U_1 = ?$$

$$U_2 = ?$$

Решение.

Общее сопротивление резисторов

$$R = R_1 + R_2.$$

Сила тока в каждом резисторе

$$I = \frac{U}{R} = \frac{U}{R_1 + R_2} = \frac{6 \text{ В}}{2 \text{ Ом} + 4 \text{ Ом}} = 1 \frac{\text{В}}{\text{Ом}} = 1 \text{ А.}$$

Напряжение на резисторах:

$$U_1 = IR_1 = 1 \text{ А} \cdot 2 \text{ Ом} = 2 \text{ А} \cdot \text{Ом} = 2 \text{ В},$$

$$U_2 = IR_2 = 1 \text{ А} \cdot 4 \text{ Ом} = 4 \text{ А} \cdot \text{Ом} = 4 \text{ В.}$$

Ответ: 1 А; 2 В; 4 В.



Электрическая цепь состоит из 30 последовательно соединённых лампочек сопротивлением 3 Ом каждая. Чему равно общее сопротивление цепи? Каким станет общее сопротивление цепи, если одна из лампочек перегорит?

Подсказка. Если одна лампочка перегорит, цепь разомкнётся.

Эта задача демонстрирует одну из главных особенностей последовательного соединения приборов:

при выключении одного из последовательно соединённых приборов возникает разрыв цепи, вследствие чего выключаются все приборы.

Поэтому приборы редко включают в цепь последовательно.

2. ПАРАЛЛЕЛЬНОЕ СОЕДИНЕНИЕ

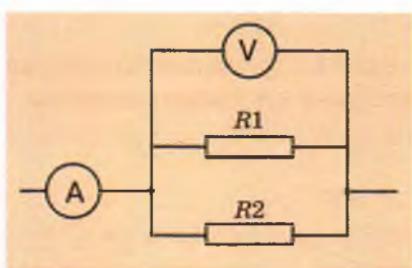


Рис. 14.3. Измерение сопротивления параллельно соединённых резисторов

С помощью схемы, изображённой на рис. 14.3, можно измерить сопротивление R двух параллельно соединённых резисторов сопротивлениями R_1 и R_2 .

Опыт показывает, что общее сопротивление двух параллельно соединённых проводников сопротивлением R_1 и R_2 выражается формулой

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

Ниже мы выведем это соотношение.

Обратите внимание: при *параллельном* соединении двух проводников их общее сопротивление *меньше*, чем сопротивление любого из них. Это справедливо и для параллельного соединения нескольких проводников.

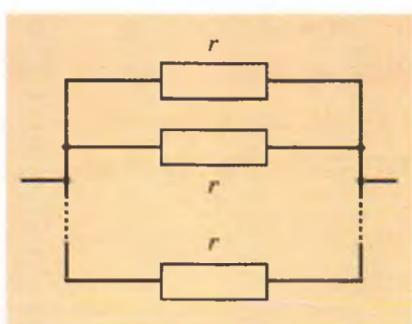


Рис. 14.4. Схема параллельного соединения одинаковых проводников

При параллельном соединении n проводников сопротивлением r каждый (рис. 14.4) их общее сопротивление

$$R = \frac{r}{n}.$$



Резисторы сопротивлениями 1 и 4 Ом соединены параллельно. Чему равно их общее сопротивление?

Общее сопротивление 5 одинаковых параллельно соединённых резисторов 10 Ом. Каково сопротивление каждого резистора?

При параллельном соединении проводников напряжение на них одинаково: $U = U_1 = U_2$. Сравним значения силы тока в проводниках. Согласно закону Ома $I_1 = \frac{U}{R_1}$, $I_2 = \frac{U}{R_2}$. Отсюда следует, что

при параллельном соединении сила тока больше в том проводнике, который имеет меньшее сопротивление.



РЕШИМ ЗАДАЧУ

К источнику тока напряжением 6 В подключены параллельно резисторы сопротивлениями 2 и 4 Ом. Чему равна сила тока в каждом резисторе и общая сила тока в цепи?

Дано:

$$U = 6 \text{ В}$$

$$R_1 = 2 \text{ Ом}$$

$$R_2 = 4 \text{ Ом}$$

$$I_1 = ?$$

$$I_2 = ?$$

$$I = ?$$

Решение.

При параллельном соединении напряжение на резисторах одинаковое и равно U . Поэтому

$$I_1 = \frac{U}{R_1} = \frac{6 \text{ В}}{2 \text{ Ом}} = 3 \frac{\text{В}}{\text{Ом}} = 3 \text{ А},$$

$$I_2 = \frac{U}{R_2} = \frac{6 \text{ В}}{4 \text{ Ом}} = 1,5 \frac{\text{В}}{\text{Ом}} = 1,5 \text{ А}.$$

Общая сила тока в цепи

$$I = I_1 + I_2 = 3 \text{ А} + 1,5 \text{ А} = 4,5 \text{ А}.$$

Ответ: 3 А; 1,5 А; 4,5 А.

Электрическая цепь состоит из 30 параллельно соединённых ламп сопротивлением 3 Ом каждая. Цепь подключена к источнику тока напряжением 12 В. Чему равно общее сопротивление цепи? Каково напряжение на каждой лампе? Изменится ли напряжение на лампах, если одна из них перегорит?

Решив эту задачу, вы увидите главные особенности параллельного соединения приборов:

- 1) при параллельном соединении любой прибор может работать независимо от остальных;
- 2) напряжение на всех приборах одинаково.

Поэтому в быту и технике обычно используют параллельное соединение электрических приборов, рассчитанных на одно и то же напряжение.

3. РЕОСТАТЫ

Для изменения силы тока в цепи часто используют резисторы с переменным сопротивлением, называемые *реостатами*. На рис. 14.5, а изображён реостат, который используют в школьных лабораторных работах, а на рис. 14.5, б показано его обозначение на схемах.

При изменении положения движка реостата изменяется длина той части обмотки, через которую проходит ток — а вследствие этого изменяется и сопротивление реостата.

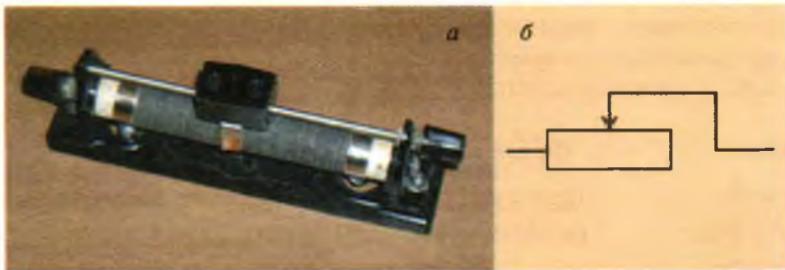


Рис. 14.5. Реостат (а) и его обозначение на схемах (б)

Как изменится сопротивление реостата при перемещении его движка вправо согласно схеме на рис. 14.5, б?



РАЗВИТИЕ ТЕМЫ

4. ЗАДАЧИ НА ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОЕ И ПАРАЛЛЕЛЬНОЕ СОЕДИНЕНИЯ ПРОВОДНИКОВ

1. Выведем формулу для общего сопротивления двух последовательно соединённых проводников сопротивлениями R_1 и R_2 .

Решение. Обозначим напряжение на проводниках U_1 и U_2 , силу токов в проводниках I_1 и I_2 , а напряжение и силу тока на всём участке цепи соответственно U и I .

При последовательном соединении $U = U_1 + U_2$, а $I = I_1 = I_2$. Согласно закону Ома

$$R = \frac{U}{I} = \frac{U_1 + U_2}{I} = \frac{U_1}{I_1} + \frac{U_2}{I_2} = R_1 + R_2.$$

Ответ: $R = R_1 + R_2$.

2. Выведем формулу для общего сопротивления n последовательно соединённых одинаковых проводников сопротивлением r каждый (см. рис. 14.2).

Решение. Сила тока I во всех проводниках одинакова. Обозначим напряжение на одном проводнике U_1 . Тогда сопротивление одного проводника $r = \frac{U_1}{I}$, а напряжение на всём участке цепи $U = nU_1$. Следовательно,

$$R = \frac{U}{I} = \frac{nU_1}{I} = n \frac{U_1}{I} = nr.$$

Ответ: $R = nr$.

3. Выведем формулу для общего сопротивления двух параллельно соединённых проводников сопротивлениями R_1 и R_2 .

Решение. Обозначим напряжения на проводниках U_1 и U_2 , силы токов в проводниках I_1 и I_2 , а напряжение и силу тока на всём участке цепи соответственно U и I .

При параллельном соединении $U = U_1 = U_2$ и $I = I_1 + I_2$. Согласно закону Ома

$$\frac{1}{R} = \frac{I}{U} = \frac{I_1 + I_2}{U} = \frac{I_1}{U_1} + \frac{I_2}{U_2} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}.$$

После несложных алгебраических преобразований получаем

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

Ответ: $R = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$.

? Выведите формулу для общего сопротивления n параллельно соединённых одинаковых проводников сопротивлением r каждый.

5. ПОЧЕМУ СОПРОТИВЛЕНИЕ ПРОВОДА ПРЯМО ПРОПОРЦИОНАЛЬНО ЕГО ДЛИНЕ И ОБРАТНО ПРОПОРЦИОНАЛЬНО ПЛОЩАДИ ПОПЕРЕЧНОГО СЕЧЕНИЯ?

Чтобы понять, почему сопротивление провода прямо пропорционально его длине, достаточно заметить, что увеличение длины провода в несколько раз можно рассматривать как *последовательное соединение* нескольких таких же проводов (рис. 14.6).

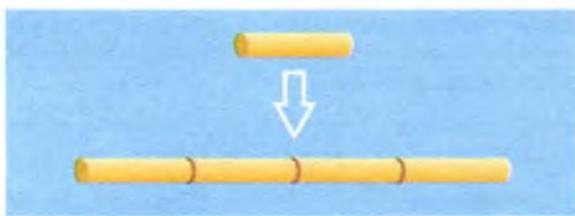


Рис. 14.6. Объяснение того, почему сопротивление провода пропорционально его длине

А чтобы понять, почему сопротивление провода обратно пропорционально площади поперечного сечения, достаточно заметить, что увеличение площади поперечного сечения провода в несколько раз можно рассматривать как *параллельное соединение* нескольких таких же проводов (рис. 14.7).

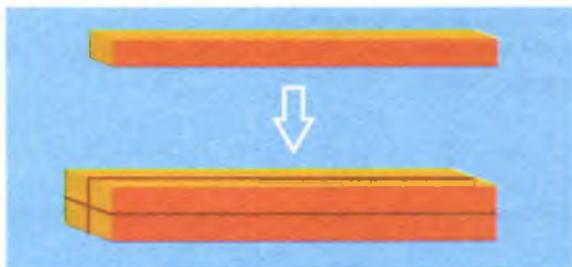
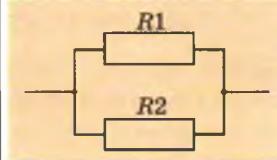


Рис. 14.7. Объяснение того, почему сопротивление провода обратно пропорционально площади его поперечного сечения

ЧТО МЫ УЗНАЛИ

- Сравнение последовательного и параллельного соединений двух проводников сопротивлениями R_1 и R_2 .

	Последовательное соединение	Параллельное соединение
Обозначение на схеме		

Окончание таблицы

	Последовательное соединение	Параллельное соединение
Общее сопротивление	Общее сопротивление больше, чем сопротивление любого из проводников $R = R_1 + R_2$	Общее сопротивление меньше, чем сопротивление любого из проводников $R = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$
Сила тока и напряжение	Сила тока во всех проводниках одинакова: $I = I_1 = I_2.$ Напряжение больше на том проводнике (приборе), сопротивление которого больше	Напряжение на всех проводниках одинаково: $U = U_1 = U_2.$ Сила тока больше в том проводнике, сопротивление которого меньше .
При выключении одного из приборов	Цепь размыкается, вследствие чего перестают действовать все приборы	Цепь не размыкается, поэтому остальные приборы продолжают действовать

- При последовательном соединении n проводников, каждый сопротивлением r , их общее сопротивление $R = nr$.
- Если выключить один из последовательно соединённых приборов, то возникнет разрыв цепи, из-за чего выключатся все приборы. Поэтому приборы редко включают последовательно.
- При параллельном соединении n проводников, каждый сопротивлением r , их общее сопротивление $R = \frac{r}{n}$.
- При параллельном соединении приборов любой прибор можно включать и выключать независимо от остальных и напряжение на всех приборах одинаково. Поэтому в быту и в технике обычно используют именно параллельное соединение электрических приборов.



ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ

Первый уровень

1. Чему равно общее сопротивление двух последовательно соединённых резисторов сопротивлениями 1 и 2 Ом?

2. Изобразите схему последовательного соединения трёх резисторов.
3. 100 одинаковых резисторов сопротивлением 2 Ом каждый соединены последовательно. Чему равно их общее сопротивление?
4. Чему равно общее сопротивление двух параллельно соединённых резисторов сопротивлениями 1 и 2 Ом?
5. Изобразите схему параллельного соединения трёх резисторов.
6. 100 одинаковых резисторов сопротивлением 2 Ом каждый соединены параллельно. Чему равно их общее сопротивление?
7. Сопротивление одного из резисторов 2 Ом, а другого — 3 Ом. Их общее сопротивление больше 3 Ом. Как соединены резисторы — последовательно или параллельно?
8. Сопротивление одного из резисторов 2 Ом, а другого — 3 Ом. Их общее сопротивление меньше 2 Ом. Как соединены резисторы — последовательно или параллельно?
9. Как соединены электроприборы в квартире — последовательно или параллельно? Каково напряжение в каждой розетке? Опасно ли оно для жизни?
10. Что такое реостат? Для чего используют реостаты?

Второй уровень

11. К цепи, состоящей из нескольких последовательно соединённых резисторов, подключили последовательно резистор сопротивлением 3 Ом. Как изменилось общее сопротивление цепи?
12. К цепи, состоящей из нескольких параллельно соединённых резисторов, подключили параллельно резистор сопротивлением 3 Ом. Может ли после этого общее сопротивление цепи стать равным 5 Ом?
13. Составьте задачу по теме «Последовательное и параллельное соединения проводников», ответом которой было бы «12 Ом».



ДОМАШНЯЯ ЛАБОРАТОРИЯ

Составьте электрическую цепь из батарейки и двух лампочек, соединенных один раз последовательно, а другой раз — параллельно. Какие отличия вы заметили? Как вы их объясните?

§ 15.

РАБОТА И МОЩНОСТЬ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ТОКА

1. Закон Джоуля — Ленца и работа тока
2. Мощность тока
3. Киловатт-час
4. Короткое замыкание и предохранители
5. Мощность тока в последовательно и параллельно соединённых проводниках

1. ЗАКОН ДЖОУЛЯ — ЛЕНЦА И РАБОТА ТОКА

Вы уже знаете, что когда по проводнику идёт электрический ток, проводник нагревается. Английский учёный Дж. Джоуль и российский учёный Э. Х. Ленц независимо друг от друга установили на опыте, что

количество теплоты Q , которое выделяется в проводнике за время t , выражается формулой

$$Q = I^2Rt,$$

где I — сила тока в проводнике, R — сопротивление проводника.

Это соотношение назвали *законом Джоуля — Ленца*.

Покажем, что закон Джоуля — Ленца следует из закона сохранения энергии. Но сначала заметим, что когда Джоуль и Ленц исследовали тепловое действие тока, закон сохранения энергии ещё не был открыт. Их опыты и стали одним из шагов на пути к открытию этого закона.

Если единственным действием тока является тепловое, то согласно закону сохранения энергии выделившееся в проводнике количество теплоты Q равно работе электрического поля A , действующего на движущиеся в проводнике свободные заряды. Эту работу называют *работой тока*.

Напомним (см. § 12. *Сила тока и напряжение*), что работа A по перемещению заряда q на участке цепи связана с напряжением U на этом участке соотношением $A = qU$.



Э. Х. Ленц
(1804—1865)

Поскольку $q = It$, то $A = UIt$. Подставим в эту формулу $U = IR$ и получим $A = I^2Rt$. Согласно закону сохранения энергии $Q = A$, откуда получаем

$$Q = I^2Rt,$$

то есть закон Джоуля — Ленца.

Поскольку работу измеряют в джоулях (Дж), из формулы $A = UIt$ получаем, что

$$1 \text{ Дж} = 1 \text{ В} \cdot \text{А} \cdot \text{с.}$$

2. МОЩНОСТЬ ТОКА

Из курса физики 7-го класса вы уже знаете, что

мощностью¹ P называют физическую величину, равную отношению работы A к промежутку времени t , в течение которого эта работа совершена:

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

Найдём мощность тока на участке цепи.

Мы уже знаем, что работа тока на участке цепи $A = UIt$, где U — напряжение на данном участке цепи, I — сила тока в этом участке цепи. Следовательно, $P = \frac{A}{t} = \frac{UIt}{t} = UI$. Итак,

$$P = UI.$$

Согласно закону Ома $I = \frac{U}{R}$, где R — сопротивление участка цепи. Поэтому из формулы $P = UI$ следуют ещё две формулы для мощности тока:

$$P = \frac{U^2}{R}, \quad P = I^2R.$$

Напомним, что единицей мощности является 1 Вт = $\frac{1 \text{ Дж}}{1 \text{ с}}$. Из формулы $P = UI$ следует, что

$$1 \text{ Вт} = 1 \text{ В} \cdot 1 \text{ А.}$$

Широко используют также единицу мощности 1 кВт = 1000 Вт.

Каждый электрический прибор имеет определённую мощность (её указывают на приборе). Ниже приведены примерные значения мощности некоторых приборов.

¹ При изучении электрических явлений мощность обозначают буквой P .

Прибор	Мощность, Вт
Лампа карманного фонарика	около 1
Лампы накаливания	25—150
Электронагреватель	500—2000
Пылесос	до 1300—1800
Электрочайник	около 2000



РЕШИМ ЗАДАЧУ

В электрочайник наливают 2 л воды при температуре 20 °С. Вода закипает через 6 мин. Какова мощность электрочайника? Чему равно его сопротивление? Напряжение в розетке 220 В. Будем считать, что теплопередачей от чайника окружающей среде за время закипания воды можно пренебречь.

Дано:

$$m_b = 2 \text{ кг}$$

$$c_b = 4200 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}}$$

$$t_k = 20 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$t_n = 100 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\tau = 360 \text{ с}$$

$$U = 220 \text{ В}$$

$$P = ?$$

$$R = ?$$

Решение.

Количество теплоты, которое нужно сообщить воде, чтобы она закипела:

$$Q_1 = c_b m_b (t_k - t_n).$$

Количество теплоты, которое выделяется в электрочайнике: $Q_2 = P\tau$. По условию $Q_2 = Q_1$, откуда получаем

$$P = \frac{c_b m_b (t_k - t_n)}{\tau} =$$

$$= \frac{4,2 \cdot 10^3 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}} \cdot 2 \text{ кг} \cdot (100 \text{ } ^\circ\text{C} - 20 \text{ } ^\circ\text{C})}{360 \text{ с}} = 1900 \text{ Вт.}$$

Сопротивление электрочайника находим по формуле $P = \frac{U^2}{R}$, откуда

$$R = \frac{U^2}{P} = \frac{(220 \text{ В})^2}{1900 \text{ Вт}} = 25 \frac{\text{В}^2}{\text{В} \cdot \text{А}} = 25 \frac{\text{В}}{\text{А}} = 25 \text{ Ом.}$$

Ответ: 1,9 кВт; 25 Ом.

3. КИЛОВАТТ-ЧАС

В быту и на производстве широко используют единицу работы тока **киловатт·час** (кВт·ч). Например, бытовые электро-



Рис. 15.1. Электросчётчик

счётчики (рис. 15.1) дают показания именно в киловатт-часах.

Найдём соотношение между киловатт-часом и джоулем. Поскольку в 1 ч содержится 3600 с, получаем $1 \text{ кВт}\cdot\text{ч} = 1000 \text{ Вт}\cdot 3600 \text{ с} = 3600000 \text{ Вт}\cdot\text{с} = 3600000 \text{ Дж} = 3,6 \text{ МДж}$.

Нетрудно подсчитать, что 1 кВт·ч «накрутят» на счётчике несколько ламп в течение нескольких часов. А чтобы выработать этот киловатт-час электроэнергии на гидроэлектростанции, надо чтобы с плотины высотой с многоэтажный дом упали десятки тонн воды!

Представьте теперь себе, какая огромная масса воды низвергается ежесекундно с плотины большой гидроэлектростанции, если вырабатываемой при этом электроэнергии хватает для освещения нескольких больших городов, работы электротранспорта и тысяч станков (рис. 15.2).



Рис. 15.2. Гидроэлектростанция (а) и результат её работы — освещение большого города (б)

4. КОРОТКОЕ ЗАМЫКАНИЕ И ПРЕДОХРАНИТЕЛИ

Если полюса источника соединить проводом с очень малым сопротивлением (как говорят, соединить «накоротко»), то, как следует из формулы $I = \frac{U}{R}$, сила тока будет очень большой. Такое чрезмерное возрастание силы тока называют *коротким замыканием*. Оно может произойти, например, в случае неисправности изоляции электропроводки.

При коротком замыкании соединительные провода могут нагреться так сильно, что может возникнуть пожар. Эти провода чрезмерно нагреваются и тогда, когда в цепь включают электроприборы слишком большой мощности.

Чтобы избежать чрезмерного нагревания проводов, в цепь включают предохранитель (обычно он находится возле электросчётчика). Когда сила тока становится больше расчётной, предохранитель «срабатывает», размыкая цепь. На рис. 15.3 изображён один из распространённых предохранителей («автоматическая пробка»).



Рис. 15.3. Автоматическая пробка



РАЗВИТИЕ ТЕМЫ

5. МОЩНОСТЬ ТОКА В ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНО И ПАРАЛЛЕЛЬНО СОЕДИНЁННЫХ ПРОВОДНИКАХ



ПОСТАВИМ ОПЫТ

Возьмём две лампы с разным сопротивлением и включим их в цепь последовательно, как показано на рис. 15.4, а. Мы увидим, что лампа 1 с меньшим сопротивлением светит тускло, а лампа 2 с большим сопротивлением — ярко. Значит, при последовательном соединении двух проводников мощность тока больше в том проводнике, который имеет большее сопротивление.

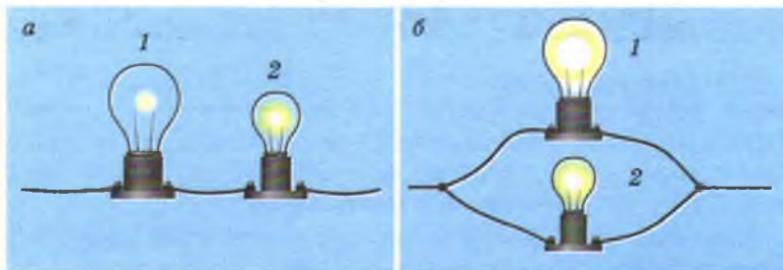


Рис. 15.4. Последовательное и параллельное соединение ламп с разным сопротивлением

Соединим теперь лампы параллельно (рис. 15.4 б). Мы увидим, что лампы «поменялись ролями»: теперь ярче светит та

лампа, у которой сопротивление меньше. Значит, при *параллельном* соединении двух проводников мощность тока больше в том проводнике, который имеет *меньшее* сопротивление.

Объясним теперь эти опыты. Обозначим сопротивление лампы с большим сопротивлением R_1 , а сопротивление лампы с меньшим сопротивлением R_2 .

При *последовательном* соединении ламп *сила тока в них одинакова*. Поэтому для сравнения мощности тока в лампах удобно воспользоваться формулой $P = I^2R$. Получаем, что мощность тока в лампах $P_1 = I^2R_1$, $P_2 = I^2R_2$.

Из этих формул следует, что

при последовательном соединении проводников мощность тока больше в том проводнике, сопротивление которого больше, причём

$$\frac{P_1}{P_2} = \frac{R_1}{R_2}.$$

При *параллельном* же соединении ламп *напряжение на них одинаково*. Поэтому для сравнения мощности тока в лампах удобно воспользоваться формулой $P = \frac{U^2}{R}$. Получаем, что

мощность тока в лампах $P_1 = \frac{U^2}{R_1}$, $P_2 = \frac{U^2}{R_2}$.

Из этих формул следует, что

при параллельном соединении мощность тока больше в том проводнике, сопротивление которого меньше, причём

$$\frac{P_1}{P_2} = \frac{R_2}{R_1}.$$

ЧТО МЫ УЗНАЛИ

- Закон Джоуля — Ленца: количество теплоты, выделившееся за время t в проводнике $Q = I^2Rt$, где I — сила тока в цепи, R — сопротивление участка цепи.
- Работа тока за время t на участке цепи $A = UIt$, где U — напряжение на концах участка, I — сила тока в цепи.
- Мощность тока на участке цепи $P = UI = \frac{U^2}{R} = I^2R$, где U — напряжение на концах участка, I — сила тока в цепи, R — сопротивление участка цепи.

- При коротком замыкании чрезмерно нагреваются соединительные провода. Чтобы избежать этого, в цепь включают предохранитель.
- При последовательном соединении двух проводников мощность тока больше в том проводнике, сопротивление которого больше.
- При параллельном соединении двух проводников мощность тока больше в том проводнике, сопротивление которого меньше.



ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ

Первый уровень

1. Расскажите о законе Джоуля — Ленца. Какой формулой выражается этот закон?
2. Опишите физические величины, входящие в формулу $Q = I^2Rt$.
3. Расскажите о том, что такое работа электрического тока. Выразите работу электрического тока, совершающую в проводнике за некоторый промежуток времени, через напряжение на концах проводника, силу тока в нём и промежуток времени.
4. Опишите физические величины, входящие в формулу $A = UIt$.
5. Расскажите о том, что такое мощность электрического тока. Как выразить выделяемую в проводнике мощность электрического тока через физические величины, характеризующие ток в этом проводнике и сам проводник?
6. Приведите примеры мощности нескольких бытовых электроприборов.
7. Расскажите о том, что такое киловатт-час. Сравните киловатт-час с единицей работы в СИ.
8. Расскажите о коротком замыкании и объясните, чем оно опасно.
9. Расскажите об электрических предохранителях. Как включить ток, если сработал автоматический предохранитель? Что надо сделать перед включением тока?

Второй уровень

10. Два проводника сопротивлением 2 и 5 Ом соединены последовательно. За некоторое время в первом проводнике выде-

лилось количество теплоты 50 Дж. Какое количество теплоты выделилось за это же время во втором проводнике?

11. Два проводника сопротивлением 3 и 10 Ом соединены параллельно. За некоторое время во втором проводнике выделилось количество теплоты 300 Дж. Какое количество теплоты выделилось за это время в первом проводнике?
12. Медный и алюминиевый провода имеют одинаковую длину и площадь поперечного сечения. В каком из этих проводов будет выделяться большее количество теплоты, если провода соединить: а) последовательно; б) параллельно?
13. Почему нити ламп накаливания и электронагревательные приборы нагреваются, а соединительные провода остаются холодными?
14. В квартире ежедневно в течение 4 ч светят 10 ламп мощностью по 75 Вт каждая. Сколько киловатт-часов «накрутят» эти лампы на электросчёте за 30 дней?
15. Какую работу совершают электрический ток за 1 ч в лампе мощностью 60 Вт? На какую высоту можно поднять человека массой 60 кг, совершив такую же работу?
16. Составьте задачу по теме «Работа и мощность тока», ответом которой было бы «За 10 ч».



ДОМАШНЯЯ ЛАБОРАТОРИЯ

На каждом электрическом приборе указана его мощность. Рассмотрите различные домашние электроприборы и запишите мощность каждого из них. Какой прибор обладает наименьшей мощностью? наибольшей?

§ 16.

ПРИМЕРЫ РАСЧЁТА ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЕЙ

1. Электрические цепи с последовательным и параллельным соединениями проводников
2. Мощность тока в цепи с последовательным и параллельным соединениями проводников

1. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ЦЕПИ С ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНЫМ И ПАРАЛЛЕЛЬНЫМ СОЕДИНЕНИЯМИ ПРОВОДНИКОВ

Рассмотрим на примере, как найти сопротивление электрической цепи, в которой есть как последовательно, так и параллельно соединённые резисторы.



РЕШИМ ЗАДАЧИ

1. Определите сопротивление участка электрической цепи, схема которой приведена на рис. 16.1. Сопротивления резисторов $R_1 = 40 \text{ Ом}$, $R_2 = 120 \text{ Ом}$ и $R_3 = 240 \text{ Ом}$.

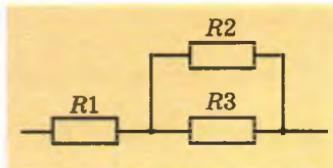


Рис. 16.1. К условию задачи 1

Решение. Параллельно соединённые резисторы R_2 и R_3 можно заменить одним резистором сопротивлением $R_{2-3} = \frac{R_2 R_3}{R_2 + R_3}$. Тогда мы получим схему с двумя последовательно соединёнными резисторами (рис. 16.2).

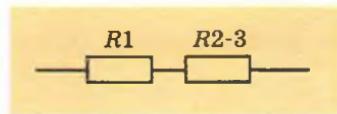


Рис. 16.2. К решению задачи 1

Следовательно,

$$R = R_1 + R_{2-3} = R_1 + \frac{R_2 R_3}{R_2 + R_3} = 40 \text{ Ом} + \frac{120 \text{ Ом} \cdot 240 \text{ Ом}}{120 \text{ Ом} + 240 \text{ Ом}} = 120 \text{ Ом}.$$

Ответ: 120 Ом.

2. Определите сопротивление электрической цепи, схема которой приведена на рис. 16.3. Сопротивление каждого из резисторов $r = 80 \text{ Ом}$.

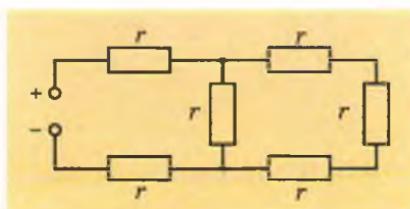


Рис. 16.3. К условию задачи 2

Решение. Три резистора в правой части схемы соединены последовательно, поэтому их можно заменить одним резистором сопротивлением $3r$. Мы получим схему, показанную на рис. 16.4, а.

В этой схеме резисторы сопротивлениями r и $3r$ соединены параллельно, поэтому их можно заменить одним резистором сопротивлением $\frac{r \cdot 3r}{r + 3r} = \frac{3r}{4}$. В результате мы получим схему с тремя последовательно соединёнными резисторами (рис. 16.4, б). Сопротивление этой цепи $R = 2r + \frac{3r}{4} = 2,75r = 2,75 \cdot 80 \Omega = 220 \Omega$.

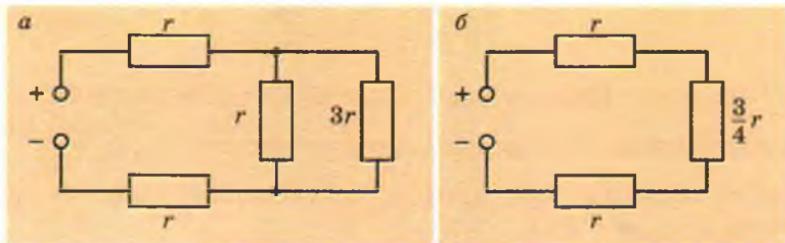


Рис. 16.4. К решению задачи 2

Ответ: 220 Ом.

2. МОЩНОСТЬ ТОКА В ЦЕПИ С ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНЫМ И ПАРАЛЛЕЛЬНЫМ СОЕДИНЕНИЯМИ ПРОВОДНИКОВ



РЕШИМ ЗАДАЧУ

В цепи, схема которой приведена на рис. 16.5, все резисторы одинаковы. Сравните мощности тока во всех резисторах.

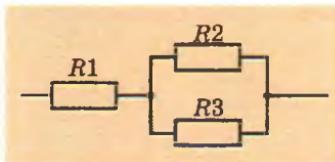


Рис. 16.5. К условию задачи

Решение. Сила тока в каждом из резисторов $R2$ и $R3$ в 2 раза меньше силы тока в резисторе $R1$. Поэтому из формулы $P = I^2R$ следует, что мощность тока в каждом из этих резисторов в 4 раза меньше мощности тока в резисторе $R1$.



ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ

Первый уровень

- Найдите общее сопротивление участка цепи, схема которой приведена на рис. 16.1, если сопротивления резисторов $R_1 = 10 \text{ Ом}$, $R_2 = 6 \text{ Ом}$, $R_3 = 9 \text{ Ом}$.
- Найдите общее сопротивление участка цепи, схема которой приведена на рис. 16.3, если сопротивление каждого из резисторов равно 10 Ом.

Второй уровень

- Как из 4 резисторов сопротивлением 100 Ом каждый составить цепь сопротивлением 60 Ом?
- Напряжение на участке цепи, схема которой показана на рис. 16.1, равно 54 В. Найдите силу тока в каждом из резисторов, если сопротивления резисторов $R_1 = 6 \text{ Ом}$, $R_2 = 36 \text{ Ом}$, $R_3 = 18 \text{ Ом}$.
- Напряжение на участке цепи, схема которой приведена на рис. 16.3, равно 110 В. Сопротивление каждого из резисторов 40 Ом. Какая мощность выделяется на всём участке и на одном резисторе, соединённом с положительным полюсом источника тока?
- Если включить в сеть только первый нагреватель, мощность тока в нём будет 300 Вт, а если включить только второй, то 600 Вт. Какой будет общая мощность нагревателей, если соединить их: а) параллельно; б) последовательно?
- Составьте задачу по теме «Расчёт электрических цепей», ответом которой было бы «Во втором проводнике мощность тока в 3 раза больше».



ДОМАШНЯЯ ЛАБОРАТОРИЯ

Возьмите три лампы накаливания для фонарика и батарейку. Запомните, каков накал одной лампы, соединённой с батарейкой (так называемый нормальный накал). Потом составьте разные цепи с двумя и с тремя лампами (подумайте, как это сделать). Сравните накал ламп в этих цепях с нормальным накалом. Как объяснить различие в накале ламп для разных типов соединения?

§ 17.

ПОЛУПРОВОДНИКИ И ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ ПРИБОРЫ

1. Полупроводники
2. Полупроводниковые приборы
- 3. Носители зарядов в полупроводниках

1. ПОЛУПРОВОДНИКИ

Вы уже знаете, что проводники — это вещества, которые хорошо проводят электричество, а диэлектрики — вещества, которые практически не проводят электричество.

Но есть ёщё и вещества, которые занимают как бы промежуточное положение между проводниками и диэлектриками. Их назвали *полупроводниками*.

Полупроводники — вовсе не редкость: многие вещества по своим электрическим свойствам являются полупроводниками. Самый распространённый полупроводник — кремний: на его долю приходится около четверти массы земной коры.

Полупроводники обладают «промежуточным» удельным сопротивлением: оно намного меньше, чем у диэлектриков, но намного больше, чем у металлов. Но

главная особенность полупроводников состоит в том, что их электрические свойства существенно зависят от внешних условий (например, температуры или освещённости).

Например, некоторые полупроводники при нагревании «превращаются» из диэлектриков в проводники. С другими полупроводниками такое «превращение» происходит при освещении достаточно ярким светом.

Учёные и инженеры догадались, что

высокую чувствительность полупроводников к внешним воздействиям можно использовать для создания *автоматических устройств*.

В результате сегодня в науке, промышленности и быту успешно работают миллиарды таких устройств, начиная с искусственных спутников Земли и самолётов и заканчивая мобильными телефонами и стиральными машинами.

Благодаря использованию полупроводников во второй половине 20-го века началась и до сих пор продолжается «информационная революция»: появились компьютеры и новые

средства связи, в том числе мобильная связь и Интернет (рис. 17.1).

Ничто и никогда за всю историю человечества не развивалось с такой огромной скоростью, как информационные технологии: быстродействие компьютеров за примерно полвека их существования увеличилось в *миллионы* раз. Если бы за это время скорость автомобилей увеличилась тоже в *миллионы* раз, они мчались бы сегодня со скоростью, сравнимой со скоростью света!



Рис. 17.1. Современный мир нельзя представить без использования полупроводников

2. ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ ПРИБОРЫ

ТЕРМОРЕЗИСТОРЫ (ТЕРМИСТОРЫ)

При повышении температуры сопротивление полупроводников значительно уменьшается. Это их свойство использовали для создания *терморезисторов* — приборов, с помощью которых можно измерять и регулировать температуру.

Терморезисторы называют также термисторами. Их используют для измерения температуры в медицине, наблюдения за различными технологическими процессами на расстоянии, в различных типах сигнализации (например, противопожарной).

ФОТОРЕЗИСТОРЫ

Сопротивление многих полупроводников уменьшается при увеличении освещения. Это свойство полупроводников используют для создания *фоторезисторов*.

Фоторезисторы применяют, например, в автоматизированных системах охраны и в защитных устройствах на производстве (например, станок автоматически выключается, когда рука рабочего оказывается в опасной зоне).

Широко используют фоторезисторы для телеуправления, контроля и регулирования, в автоматах для сортировки и счёта готовой продукции, для контроля качества продукции. В типографиях фоторезисторы помогают обнаружить обрыв бумажной ленты, вести учёт листов, подаваемых в печатную машину.

Фоторезисторы «следят» также за запылённостью и задымлённостью в помещениях, с их помощью автоматически включают и выключают уличное освещение.

ТРАНЗИСТОРЫ

Полупроводники использовали для создания *транзисторов* — приборов, которые являются основными элементами схем для генерации и усиления электрических сигналов. Транзистор — основной элемент многих электронных приборов: от мобильных телефонов до систем управления космическими кораблями.

Значительный вклад в разработку транзисторов сделал российский учёный Ж. И. Алфёров.

ИНТЕГРАЛЬНЫЕ МИКРОСХЕМЫ

Из полупроводниковых приборов составляют *интегральные микросхемы*. В одной интегральной микросхеме

размером от миллиметра до сантиметра может размещаться до миллиона крошечных транзисторов (рис. 17.2).

Интегральные микросхемы обычно изготавливают на пластинках кремния. Они удачно сочетают быстродействие, надёжность и дешевизну, благодаря чему успешно «работают» в компьютерах и телевизорах, в мобильных телефонах и искусственных спутниках, в автомобилях, самолётах и многих бытовых приборах.

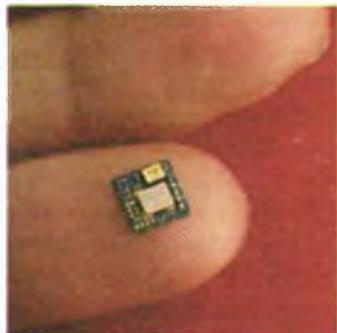


Рис. 17.2. Интегральная микросхема, лежащая на мизинце



РАЗВИТИЕ ТЕМЫ

3. НОСИТЕЛИ ЗАРЯДОВ В ПОЛУПРОВОДНИКАХ

При достаточно низкой температуре и отсутствии внешних воздействий (например, яркого освещения) полупроводники не проводят электрический ток. Все электроны при этом связаны каждый со своим атомом и не могут перемещаться в веществе (напомним, что такие электроны называют *связанными*).

Но связь электронов со своими атомами в полупроводниках не так прочна, как в диэлектриках. При повышении температуры, а также при достаточно ярком освещении некоторые электроны отрываются от своих атомов и начинают перемещаться по веществу, то есть становятся *свободными*. В результате полупроводник начинает проводить электрический ток.

Однако при этом носителями заряда оказываются не только свободные электроны! Дело в том, что когда электрон отрывается от «своего» атома, становясь свободным, положительный заряд ядра «покинутого» атома становится нескомпенсированным, то есть в этом месте возникает избыточный *положительный заряд*. Этот положительный заряд назвали *дыркой* (это научный термин).

Атом, вблизи которого образовалась дырка, «норовит» отобрать недостающий ему электрон у одного из соседних нейтральных атомов. Рано или поздно ему это «удаётся» — и тогда

дырка перемещается к соседнему атому, который, в свою очередь, через какое-то время «передаёт» дырку другому атому. В результате возникает как бы *перемещение дырок*, то есть *положительных зарядов*.

Самое же интересное заключается в том, что с помощью очень небольшого количества различных примесей можно многократно изменять количество свободных электронов и дырок, что резко изменяет электрические свойства полупроводника. Именно это свойство полупроводников и сделало возможным создание транзисторов.

ЧТО МЫ УЗНАЛИ

- Полупроводники обладают намного меньшим электрическим сопротивлением, чем диэлектрики, но намного большим, чем проводники.
- Отличительное свойство полупроводников — высокая чувствительность к внешним воздействиям: изменению температуры и освещённости. Это свойство полупроводников используют для создания автоматических устройств.
- С повышением температуры сопротивление полупроводников быстро уменьшается. Это используют в термисторах.
- Сопротивление некоторых полупроводников при освещении уменьшается. Это используют для создания фоторезисторов.
- Полупроводники используют для создания транзисторов, которые являются основными элементами схем для создания и усиления электрических сигналов.
- Носителями зарядов в полупроводниках являются свободные электроны и дырки.



ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ

Первый уровень

1. Расскажите о полупроводниках. Какие главные их особенности обеспечили им широкое применение?
2. Расскажите о том, что такое терморезисторы (термисторы) и где их используют.
3. Расскажите о фоторезисторах и области их применения.
4. Опишите интегральные микросхемы и расскажите, где их используют.

Второй уровень

5. Сравните носители заряда в полупроводниках — электроны и дырки. Что у них общего и чем они различаются?
6. Если в электрическую цепь последовательно с лампой включить специально подобранный полупроводник, то после замыкания ключа накал лампы будет увеличиваться постепенно. Как это объяснить?

Подсказка. Учтите зависимость сопротивления полупроводников от температуры.



ГЛАВНОЕ В § 11–17

- Электрический ток — это направленное движение заряженных частиц. За направление тока принимают направление движения положительно заряженных частиц.
- Свободные электроны в металлах движутся в направлении, противоположном направлению тока.
- Условия существования электрического тока: 1) наличие свободных зарядов и 2) наличие электрического поля в проводниках.
- В источнике тока происходит разделение зарядов, вследствие чего один его полюс заряжается положительно, а другой — отрицательно. В гальванических источниках тока (батареях и аккумуляторах) разделение зарядов обусловлено химическими реакциями.
- Основные части электрической цепи: источник тока, потребитель тока, соединительные провода, ключ.
- Действия электрического тока: тепловое, световое, химическое, магнитное,
- Сила тока $I = \frac{q}{t}$, где q — заряд, перенесённый через поперечное сечение проводника за промежуток времени t .
- Единица силы тока — ампер (А).
- Соотношение между единицами силы тока и заряда: $1 \text{ Кл} = 1 \text{ А} \cdot 1 \text{ с}$.
- Силу тока измеряют амперметром. Амперметр включают последовательно с проводником, в котором измеряют силу тока.

- Напряжение на участке цепи $U = \frac{A}{q}$, где A — работа по перемещению заряда q на данном участке цепи.
- Напряжение измеряют вольтметром. Вольтметр включают параллельно с проводником, на котором измеряют напряжение.
- Закон Ома для участка цепи: сила тока I в проводнике прямо пропорциональна напряжению U на его концах и обратно пропорциональна сопротивлению R проводника: $I = \frac{U}{R}$.
- Единица сопротивления 1 Ом = $\frac{1\text{В}}{1\text{А}}$.
- Сопротивление провода $R = \rho \frac{l}{S}$, где l — длина провода, S — площадь его поперечного сечения, ρ — удельное сопротивление металла, из которого сделан провод.
- Малым удельным сопротивлением обладают металлы, а наименьшим среди них — серебро, медь и алюминий. Поэтому из меди и алюминия изготавливают провода.
- При повышении температуры удельное сопротивление металлов увеличивается, а удельное сопротивление электролитов уменьшается.
- При последовательном соединении двух проводников сопротивлениями R_1 и R_2 общее их сопротивление $R = R_1 + R_2$.
- При параллельном соединении двух проводников сопротивлениями R_1 и R_2 общее их сопротивление $R = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$.
- При последовательном соединении n проводников сопротивлением r каждый общее их сопротивление $R = n r$.
- Если выключить один из последовательно соединённых приборов, то возникнет разрыв цепи, из-за чего выключатся все приборы. Поэтому приборы редко включают последовательно.
- При параллельном соединении n проводников сопротивлением r каждый общее их сопротивление $R = \frac{r}{n}$.
- При параллельном соединении приборов любой прибор можно включать и выключать независимо от остальных и на-

пряжение на всех приборах одинаково. Поэтому в быту и в технике обычно используют именно параллельное соединение электрических приборов. Все электрические приборы в квартире соединены параллельно и находятся под опасным для жизни напряжением 220 В.

- Закон Джоуля — Ленца: количество теплоты, выделившееся за время t в проводнике $Q = I^2Rt$, где I — сила тока в цепи, R — сопротивление участка цепи.
- Работа тока за время t на участке цепи $A = UIt$, где U — напряжение на концах участка, I — сила тока в цепи.
- Мощность тока на участке цепи $P = UI = \frac{U^2}{R} = I^2R$, где U — напряжение на концах участка, I — сила тока в цепи, R — сопротивление участка цепи.
- При коротком замыкании чрезмерно нагреваются соединительные провода. Чтобы избежать этого, в цепь включают предохранитель.
- При последовательном соединении двух проводников мощность тока больше в том проводнике, сопротивление которого больше.
- При параллельном соединении двух проводников мощность тока больше в том проводнике, сопротивление которого меньше.
- Главное свойство полупроводников — высокая чувствительность к внешним воздействиям: изменению температуры и освещённости. Это свойство полупроводников используют для создания автоматических устройств.
- Полупроводники используют для создания транзисторов — приборов, которые усиливают электрические сигналы.
- Носителями зарядов в полупроводниках являются свободные электроны и дырки.

§ 18.

МАГНИТНЫЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ

1. Взаимодействие постоянных магнитов
2. Взаимодействие между проводниками с токами и магнитами
3. Электромагниты
- 4. Как определяют единицы силы тока и заряда?
- 5. «Молекулярные токи» Ампера
- 6. Электромагнитные реле

1. ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ПОСТОЯННЫХ МАГНИТОВ

Магниты, как вы знаете, притягивают железные и стальные предметы. На рис. 18.1, *а* изображён полосовой магнит, а на рис. 18.1, *б* — дугообразный.

У каждого из этих магнитов есть два *полюса* — так называют части магнита, вблизи которых магнитное действие проявляется наиболее сильно.

Бывают магниты и с большим числом полюсов, чем два. Но *магнитов с одним полюсом нет!* Скоро мы узнаем, с чем это связано.

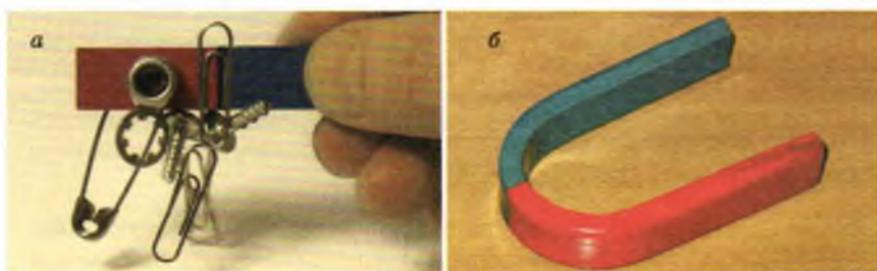


Рис. 18.1. Магниты

Если подвесить полосовой магнит на нити, он повернётся и одним полюсом будет указывать на север — этот полюс магнита называют *северным*. Другой полюс магнита называют *южным*. Северный полюс магнита окрашивают синим и обозначают¹ N, а южный — окрашива-

¹ Такие обозначения полюсов магнита связаны с тем, что во многих европейских языках (например, английском), слово «север» начинается с буквы N (north), а «юг» — с буквы S (south).



Рис. 18.2. Компас

ют красным и обозначают S. Стрелка компаса (рис. 18.2) — это маленький полосовой магнит.

Постоянные магниты взаимодействуют друг с другом. Причём это взаимодействие напоминает взаимодействие электрических зарядов: *одноимённые полюса магнитов отталкиваются* (рис. 18.3, а, б), а *разноимённые — притягиваются* (рис. 18.3, в).

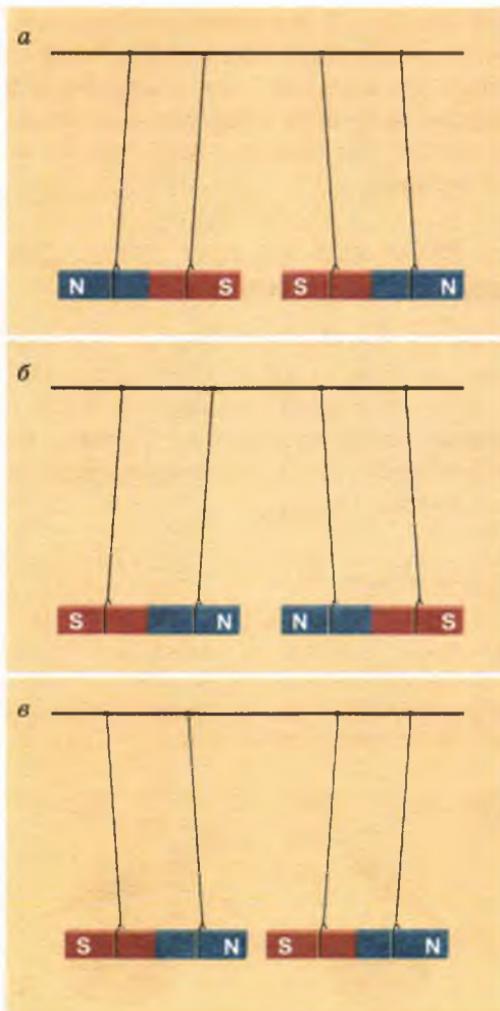


Рис. 18.3. Одноимённые полюса магнитов отталкиваются (α, β), а разноимённые — притягиваются (γ)

Однако положительный и отрицательный электрические заряды могут существовать по отдельности, а вот «разъединить» полюса магнита невозможно: если распилить полосовой магнит пополам, то получится два меньших магнита, у каждого из которых будет снова *два* полюса — северный и южный.

Наша Земля — *огромный магнит*. Северный полюс стрелки компаса указывает на север по той причине, что вблизи Северного географического полюса Земли находится её южный магнитный полюс. А северный магнитный полюс Земли находится вблизи её Южного географического полюса.

Исследования показывают, что магнитные полюсы Земли медленно движутся, а за сотни миллионов лет даже меняются местами! Происхождение земного магнетизма пока не до конца понято учёными.

2. ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ МЕЖДУ ПРОВОДНИКАМИ С ТОКАМИ И МАГНИТАМИ

Долгое время магнитные явления не связывали с электрическими. Однако в начале 19-го века датский физик Х. Эрстед поставил опыт, который показал, что эти явления тесно связаны. Повторим знаменитый опыт Эрстеда (с этим опытом мы уже познакомились в § 11. Электрический ток. Действия электрического тока).



ПОСТАВИМ ОПЫТ

Расположим проводник вдоль магнитной стрелки, указывающей северным полюсом на север (рис. 18.4, а). Если включить в проводнике электрический ток, то стрелка повернётся, стремясь расположиться перпендикулярно проводнику (рис. 18.4, б).

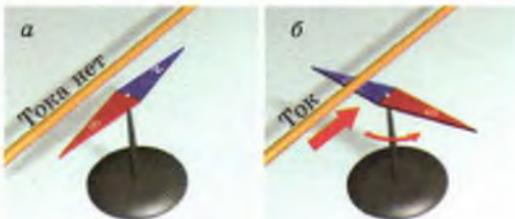


Рис. 18.4. Опыт Эрстеда



Х. Эрстед
(1777—1851)



А. Ампер
(1775—1836)

Итак,

проводник с током обладает магнитными свойствами.

Узнав об опыте Эрстеда, французский физик А. Ампер предположил, что проводники, по которым текут токи, должны действовать друг на друга посредством магнитного взаимодействия. И он поставил следующий опыт.



ПОСТАВИМ ОПЫТ

Расположим два гибких прямолинейных проводника параллельно друг другу и пропустим по ним электрические токи. Мы увидим, что

если токи в проводниках направлены *одинаково*, то проводники *притягиваются* (рис. 18.5, а), а если токи направлены *противоположно*, то проводники *отталкиваются* (рис. 18.5, б).

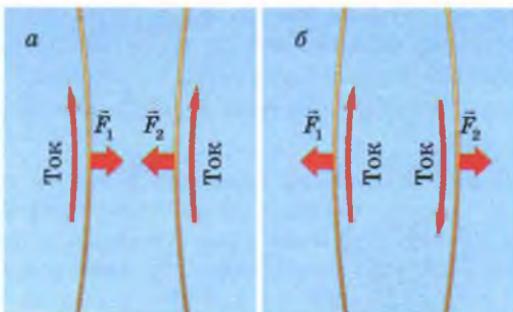


Рис. 18.5. Взаимодействие проводников, по которым текут токи

Заменив прямолинейные проводники катушками с током, Ампер обнаружил, что их магнитное действие похоже на магнитное действие полосовых магнитов. Убедимся в этом и мы.



ПОСТАВИМ ОПЫТ

Торцы катушек притягиваются или отталкиваются в зависимости от того, как направлены токи в катушках (рис. 18.6).

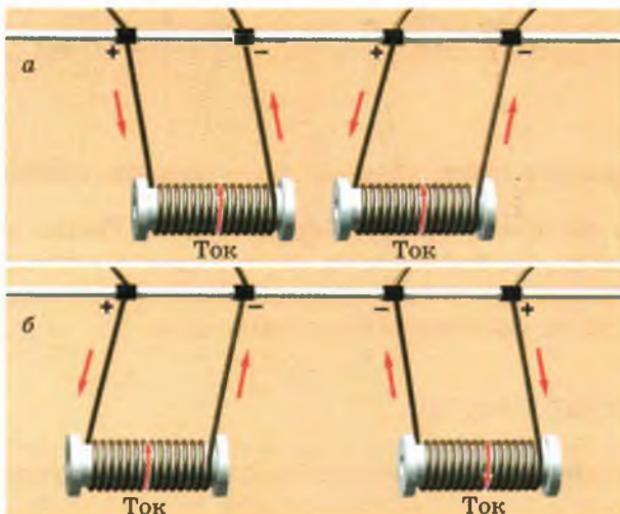


Рис. 18.6. Взаимодействие катушек с токами

Чтобы убедиться, что взаимодействие катушек, по которым текут токи, действительно магнитное, заменим одну из катушек полосовым магнитом (рис. 18.7).

Мы видим, что торцы катушек, по которым текут токи, проявляют себя как полюса магнита. Чтобы определить, какой торец катушки с током является её северным магнитным полюсом, можно воспользоваться *правилом правой руки*. Его формулируют так:

если мысленно обхватить катушку с током правой рукой так, чтобы четыре пальца указывали направление тока, то отогнутый под прямым углом большой палец укажет, какой торец катушки является её северным магнитным полюсом (рис. 18.7, в).



Используя правило правой руки, определите по рис. 18.7, а, где находится северный магнитный полюс катушки с током.

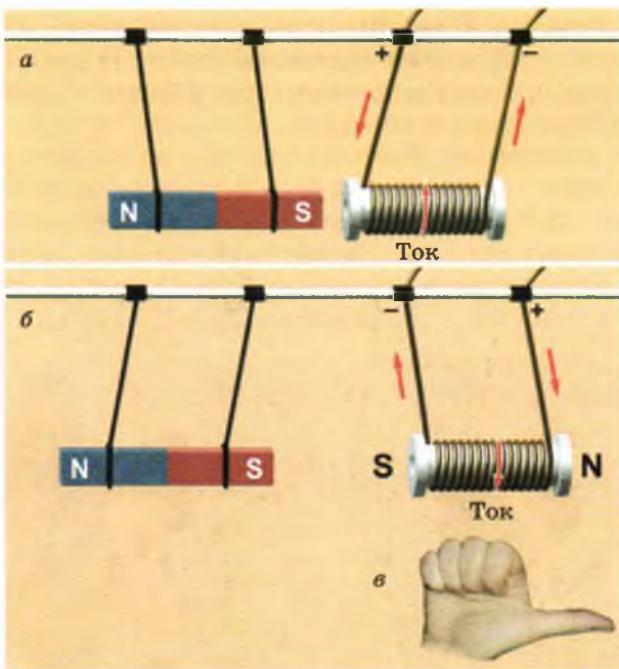


Рис. 18.7. Взаимодействие магнитов и катушек с токами

Сходство постоянных магнитов и катушек, по которым текут токи, навело Ампера на мысль, что магнитные свойства постоянных магнитов обусловлены циркулирующими в них «молекулярными» токами.

3. ЭЛЕКТРОМАГНИТЫ

Магнитные свойства катушки с током многократно усиливаются, если внутрь катушки поместить стальной сердечник. Такую катушку с сердечником называют **электромагнитом**.

С помощью мощных электромагнитов поднимают массивные стальные и железные детали, отделяют стальной и железный лом от других предметов (рис. 18.8).



Рис. 18.8. Мощный электромагнит

Магнитные свойства катушки с током используют в наушниках и громкоговорителях (динамиках). На рис. 18.9, а схематически изображено устройство телефонного наушника. При изменении силы тока в катушке изменяется сила притяжения мембранны к катушке. Поэтому при частых изменениях силы тока в катушке мембрана колеблется, порождая звуковые волны. На рис. 18.9, б изображено устройство громкоговорителя. При изменении силы тока в катушке катушка колеблется, а вместе с ней колеблется и прикреплённый к ней конус из плотной бумаги (диффузор), порождая звуковые волны.



Рис. 18.9. Схемы устройства наушника (а) и громкоговорителя (б)



РАЗВИТИЕ ТЕМЫ

4. КАК ОПРЕДЕЛЯЮТ ЕДИНИЦЫ СИЛЫ ТОКА И ЗАРЯДА?¹

Единицу силы тока определяют, используя притяжение параллельно расположенных проводников, по которым текут токи.

Если проводники расположены на расстоянии 1 м друг от друга и в каждом из них сила тока 1 А, то проводники взаимодействуют с силой, равной $2 \cdot 10^{-7}$ Н на каждый метр длины.

Единицу заряда (кулон) определяют через единицу силы тока (ампер): 1 Кл равен заряду, протекающему через попечное сечение проводника за 1 с, если сила тока в этом проводнике 1 А. Таким образом,

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

¹ Для изучения в ознакомительном плане.

5. «МОЛЕКУЛЯРНЫЕ ТОКИ» АМПЕРА

Ампер предположил, что частицы постоянного магнита представляют собой как бы крошечные витки с токами (это предположение называли *гипотезой Ампера*)¹.

В постоянном магните эти «молекулярные токи» ориентированы одинаково, как схематически показано на рис. 18.10, а. При этом во внутренних частях магнита соседние «молекулярные токи» направлены противоположно и поэтому компенсируют друг друга. А вот вблизи поверхности все эти токи текут в одном направлении, образуя как бы ток, обтекающий поверхность магнита (рис. 18.10, б), — подобно тому в катушке. Поэтому магнит и проявляет такие же магнитные свойства, как катушка с током.

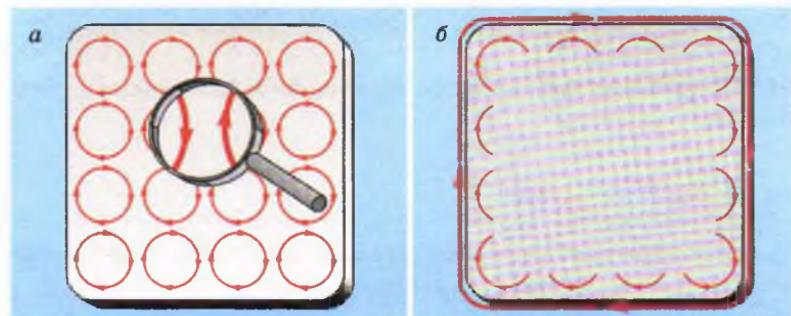


Рис. 18.10. Молекулярные токи Ампера

6. ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ РЕЛЕ

Замыкаю и размыкаю цепь, в которой течёт небольшой ток, можно включать и выключать ток в другой электрической цепи, сила тока в которой значительно больше. Это делают с помощью *электромагнитного реле*.

На рис. 18.11 схематически изображено устройство одного из типов электромагнитных реле. При замыкании ключа 1 в катушке 2 возникает ток. Катушка становится магнитом и притягивает стальную пластину 3, размыкая контакты цепи 4.

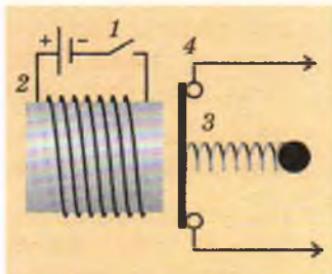


Рис. 18.11. Схема электромагнитного реле

¹ Магнитные свойства постоянных магнитов обусловлены магнитными свойствами электронов.

На рис. 18.12 изображена схема автоматического включения и выключения уличного освещения. При увеличении освещённости утром сопротивление фоторезистора уменьшается, в изображённой слева цепи сила тока увеличивается и электромагнитное реле выключает освещение.

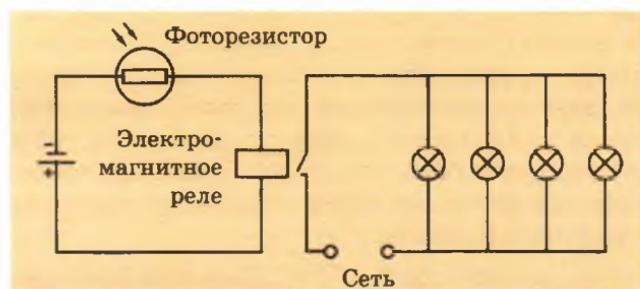


Рис. 18.12. Схема автоматического включения и выключения уличного освещения

ЧТО МЫ УЗНАЛИ

- Части магнита, вблизи которых наибольше сильно проявляется действие магнита, называют полюсами магнита.
- Одноимённые полюса магнитов отталкиваются, а разноимённые — притягиваются.
- Северным полюсом магнитной стрелки называют тот, который указывает на север.
- Земля является огромным магнитом. Вблизи Северного (географического) полюса Земли находится её южный магнитный полюс, а вблизи её Южного (географического) полюса находится северный магнитный полюс.
- Проводник с током действует на расположенную вблизи него магнитную стрелку (опыт Эрстеда).
- Параллельные проводники с током взаимодействуют друг с другом: если токи текут в одном направлении, то проводники притягиваются, а если в противоположных направлениях — отталкиваются (опыт Ампера).
- Катушки с токами взаимодействуют так же, как полосовые магниты.

- Правило правой руки для определения северного магнитного полюса катушки с током: если мысленно обхватить катушку с током правой рукой так, чтобы четыре пальца указывали направление тока, то отогнутый под прямым углом большой палец укажет, где находится северный магнитный полюс.
- Гипотеза Ампера: магнитные свойства постоянных магнитов обусловлены циркулирующими в них незатухающими «молекулярными» токами.



ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ

Первый уровень

1. Опишите взаимодействие полюсов магнитов.
2. Сравните взаимодействие магнитных полюсов и электрических зарядов: что у них общего и чем они различаются?
3. Расскажите о магнитных полюсах Земли.
4. Опишите опыт Эрстеда. Какое открытие было сделано благодаря этому опыту?
5. Как взаимодействуют параллельные проводники, направления токов в которых: а) совпадают; б) противоположны?
6. Как взаимодействуют катушки с токами?
7. Опишите способ определения магнитных полюсов торцов катушки с током.
8. Расскажите о применении электромагнитов.

Второй уровень

9. Опишите несколько способов, позволяющих определить, намагничен ли кусок стальной проволоки.
10. Почему проводник с током при демонстрации опыта Эрстеда располагают вдоль земного меридиана?
11. Как взаимодействуют соседние витки катушки с током — притягиваются или отталкиваются?
12. В чём состоит гипотеза Ампера?



ДОМАШНЯЯ ЛАБОРАТОРИЯ

Сделайте из стальной иголки или лезвия безопасной бритвы самодельную магнитную стрелку. Намагнитить стрелку или лезвие можно с помощью любого постоянного магнита (например, того, который удерживает фигурку на дверце холодильника).

Самодельную стрелку закрепите на небольшом кусочке пено-пластика, который плавает в сосуде с водой. Убедитесь, что ваша магнитная стрелка действительно ориентируется в определённом направлении. Изучите взаимодействие двух самодельных магнитных стрелок, плавающих на поверхности воды.

§ 19.

МАГНИТНОЕ ПОЛЕ

1. Магнитное поле
2. Действие магнитного поля на проводник с током
3. Действие магнитного поля на рамку с током
4. Электроизмерительные приборы. Электродвигатель
5. Действие магнитного поля на движущиеся заряженные частицы

1. МАГНИТНОЕ ПОЛЕ

Магнитное взаимодействие (так же как и электрическое) осуществляется посредством *поля*:

проводник с током или постоянный магнит создаёт вокруг себя *магнитное поле*, которое действует на другие проводники с токами и магниты.

Магнитное поле можно исследовать с помощью магнитных стрелок.



ПОСТАВИМ ОПЫТЫ

Вблизи постоянного магнита стрелки как бы выстраивают-ся вдоль некоторых линий (рис. 19.1, а). Их называют *линиями магнитной индукции* (сокращённо *магнитными линиями*).

За направление магнитной линии в данной точке принимают направление, которое указывает в этой точке северный полюс магнитной стрелки. На чертежах направление магнитной линии указывают стрелкой.

На рис. 19.1, а изображены магнитные линии поля, создаваемого полосовым магнитом, а на рис. 19. 1, б — магнитные линии поля, созданного катушкой с током. Мы видим, что вне катушки эти магнитные поля очень похожи.

С помощью правила правой руки можно убедиться, что

магнитные линии выходят из северного полюса и входят в южный полюс (см. рис. 19.1, б).

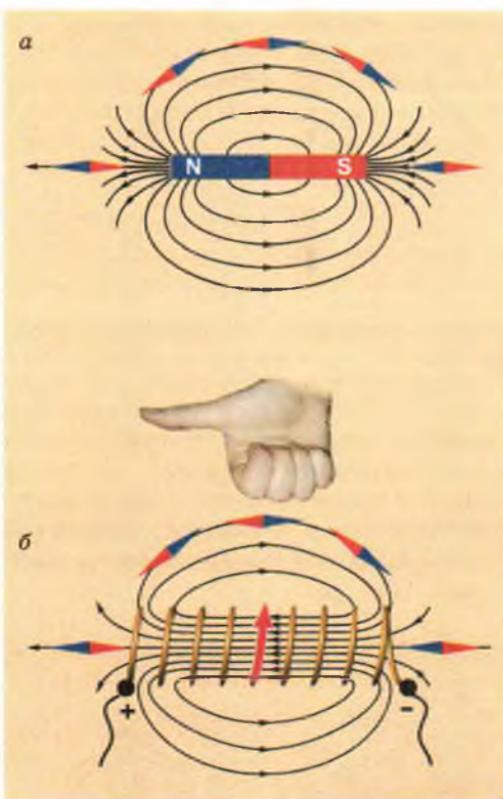


Рис. 19.1. Магнитные линии поля, создаваемого полосовым магнитом (а) и катушкой с током (б)

Внутри катушки магнитные линии направлены от южного полюса к северному. Так же направлены магнитные линии и внутри полосового магнита, потому что **магнитные линии замкнуты**.

Магнитные линии поля, созданного прямолинейным проводником с током, являются *окружностями* (рис. 19.2, а). Направление магнитных линий находят тоже с помощью *правила правой руки*, которое в этом случае формулируют так: если мысленно обхватить проводник с током правой рукой так, чтобы отогнутий под прямым углом большой палец указывал направление тока, то четыре согнутых пальца указут направление магнитных линий поля, созданного этим током (рис. 19.2, б).

Магнитные линии можно сделать нагляднее, если заменить магнитные стрелки железными опилками (в магнитном поле

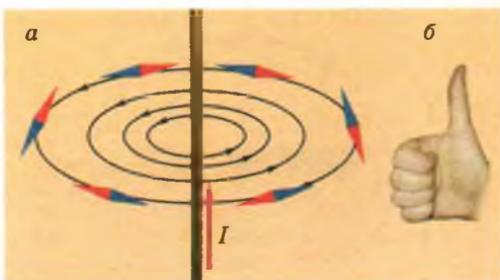


Рис. 19.2. Магнитные линии поля, создаваемого прямолинейным проводником с током

они намагничиваются, становясь крошечными магнитиками). Насыплем на бумагу железные опилки, поместим их вблизи магнита или проводника с током и будем легко постукивать по бумаге. Опилки выстроются вдоль магнитных линий (рис. 19.3, а, б). Сравните «нарисованные» опилками картины магнитных линий с рис. 19.1, а и рис. 19.2, а.

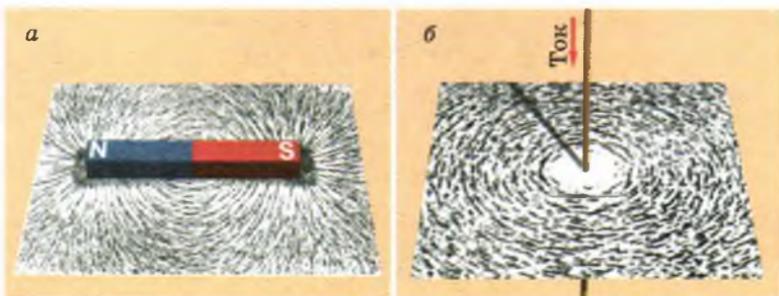


Рис. 19.3. «Нарисованная» опилками картина магнитных линий поля

Опыты с опилками впервые поставил Фарадей. В этих опытах он и смог «увидеть» невидимое глазом магнитное поле.

Магнитное поле (так же как и электрическое) обладает энергией. В следующем параграфе мы расскажем об опыте, в котором проявится энергия магнитного поля.

2. ДЕЙСТВИЕ МАГНИТНОГО ПОЛЯ НА ПРОВОДНИК С ТОКОМ



ПОСТАВИМ ОПЫТ

Поместим гибкий прямолинейный проводник между полюсами дугообразного магнита (рис. 19.4, *a*). Если включить электрический ток, то проводник изогнётся (рис. 19.4, *б*). Значит,

магнитное поле действует на проводник с током.

При изменении направления тока изменяется и направление действующей на проводник силы (рис. 19.4, *в*).

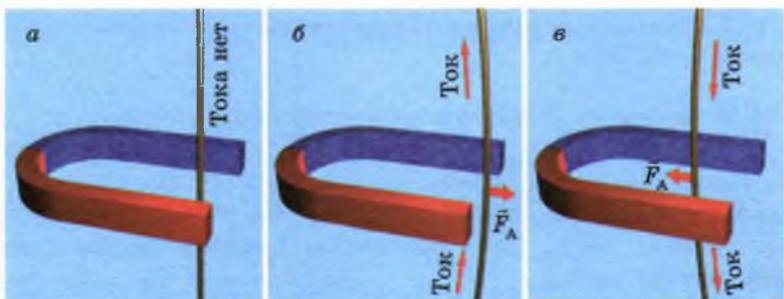


Рис. 19.4. Действие магнитного поля на проводник с током

Силу, действующую со стороны магнитного поля на проводник с током, называют *силой Ампера* и обозначают \vec{F}_A .

Наш опыт показывает, что сила Ампера направлена *перпендикулярно* проводнику, а при изменении направления тока направление силы Ампера изменяется на противоположное¹. Измерения показывают, что сила Ампера *пропорциональна силе тока в проводнике*.

3. ДЕЙСТВИЕ МАГНИТНОГО ПОЛЯ НА РАМКУ С ТОКОМ



ПОСТАВИМ ОПЫТ

Поместим теперь между полюсами магнита проволочную рамку. Если электрического тока в рамке нет, она может находиться в любом положении — например, в показанном на рис. 19.5, *а*.

¹ В курсе физики старших классов вы познакомитесь с правилом, которое позволяет находить направление силы Ампера.

При включении же тока рамка повернётся и займет определённое положение, показанное на рис. 19.5, б.

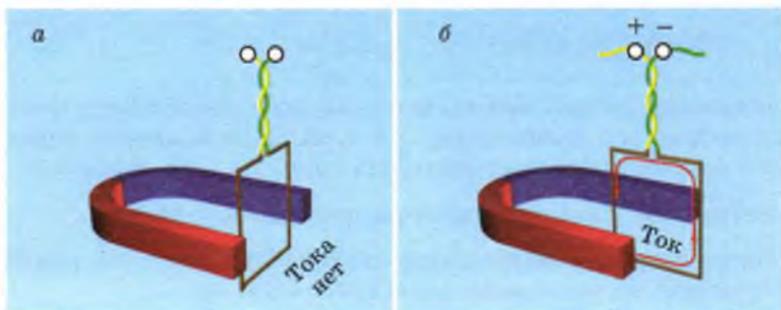


Рис. 19.5. Проволочная рамка в магнитном поле: а — тока в рамке нет; б — ток в рамке есть

Поворот рамки с током в магнитном поле объясняется тем, что на противоположные стороны рамки со стороны магнитного поля действуют противоположно направленные силы, поскольку по этим сторонам рамки текут противоположно направленные токи. Противоположно направленные силы и поворачивают рамку.



РАЗВИТИЕ ТЕМЫ



Рис. 19.6. Схема электрического измерительного прибора

4. ЭЛЕКТРИЧЕСТВОИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ. ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЬ¹

Поворот рамки с током в магнитном поле используют в электроизмерительных приборах. На рис. 19.6 схематически изображено устройство одного из таких приборов.

Между полюсами магнита расположена проволочная рамка 1, к которой прикреплена стрелка 2. Когда тока в рамке нет, стрелка указывает на нулевое деление шкалы (вследствие действия пружинки 3). Если же в рамке течёт электрический

¹ Здесь рассматривается электродвигатель постоянного тока.

ток, то она вместе со стрелкой поворачивается на некоторый угол. Чем больше сила тока, тем больше угол поворота.

Поворот рамки с током в магнитном поле использовали также для создания электродвигателей. Один из первых промышленных электродвигателей построил российский учёный Б. С. Якоби.

При разработке электродвигателей на пути изобретателей было немало проблем. Упомянем о двух важнейших.

Во-первых, рамка с постоянным током в постоянном магнитном поле не будет вращаться *постоянно* — она лишь *повернётся*, чтобы занять определённое положение (положение равновесия), показанное на рис. 19.5, б. Значит, чтобы «заставить» рамку *вращаться*, надо каждый раз при прохождении рамкой положения равновесия *изменять направление тока на противоположное*.

Во-вторых, при вращении рамки в одном направлении будут закручиваться провода, подводящие к ней ток. Чтобы избежать этого, надо подводить к рамке ток с помощью *скользящих контактов*, называемых *щётками* (вначале это были действительно металлические щётки, но сейчас используют скользящие графитовые контакты).

Обе эти проблемы решило изобретение *коллектора*.

Коллектор для одной рамки состоит из двух металлических полуколец, каждое из которых припаяно к одной стороне рамки (рис. 19.7, а). К полукольцам подводят электрический ток с помощью скользящих контактов (щёток).

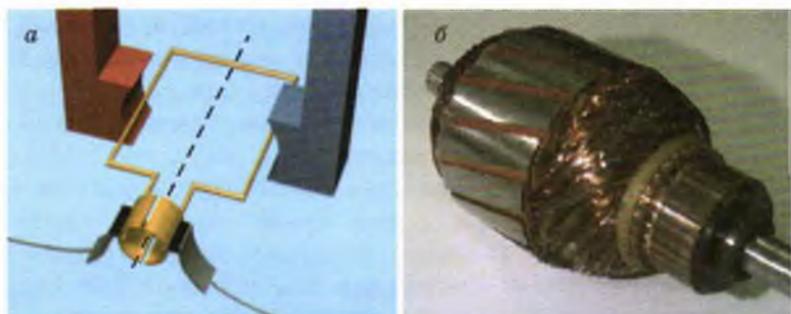


Рис. 19.7. Модель электродвигателя (а) и ротор электродвигателя (б)

Благодаря такому устройству коллектора при повороте рамки на пол-оборота направление тока в рамке изменяется

на противоположное и действующие на рамку силы вращают её всё время в одном и том же направлении.

Для усиления вращающего эффекта в электродвигателях используют много рамок. Их размещают на вращающейся части электродвигателя, называемой *ротором* (от латинского «ротаре» — вращать). На рис. 19.7, б изображён ротор электродвигателя, коллектор которого состоит из большого числа пар пластинок.

В неподвижной части электродвигателя, называемой *статором* (от латинского «статор» — неподвижный) находится магнит или электромагнит.

Сегодня электродвигатели используют чрезвычайно широко: например, мощные электродвигатели приводят в движение электропоезда, а миниатюрные — двигают, например, объективы фотоаппаратов и видеокамер.

5. ДЕЙСТВИЕ МАГНИТНОГО ПОЛЯ НА ДВИЖУЩИЕСЯ ЗАРЯЖЕННЫЕ ЧАСТИЦЫ

Действие магнитного поля на проводник с током обусловлено тем, что это поле действует на движущиеся в проводнике заряженные частицы.

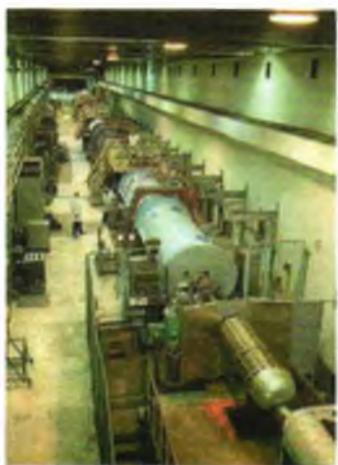


Рис. 19.8. Участок серпуховского ускорителя заряженных частиц

Силу, действующую на движущуюся заряженную частицу в магнитном поле, называют *силой Лоренца*¹.

Действие магнитного поля на движущиеся заряженные частицы используют в циклических ускорителях заряженных частиц — устройствах, в которых разогнанные электрическим полем почти до скорости света частицы движутся вдоль кольцеобразной трубы. Под действием магнитного поля направление скорости частицы всё время изменяется так, что она движется по окружности.

¹ В честь голландского физика Х. Лоренца, изучавшего движение заряженных частиц в электрическом и магнитном полях.

С помощью ускорителей исследуют свойства мельчайших частиц вещества, называемых *элементарными частицами*. На рис. 19.8 изображён участок крупнейшего в России ускорителя заряженных частиц, расположенного вблизи Серпухова (обратите внимание на фигуру человека в центре фотографии).

ЧТО МЫ УЗНАЛИ

- Магнитное взаимодействие осуществляется посредством магнитного поля: проводник с током создаёт вокруг себя магнитное поле, которое действует на другие проводники с токами.
- Линиями магнитной индукции (магнитными линиями) называют линии, вдоль которых выстраиваются магнитные стрелки в магнитном поле.
- За направление магнитной линии в данной точке принимают направление, которое указывает в этой точке северный полюс магнитной стрелки.
- Магнитные линии выходят из северного магнитного полюса и входят в южный.
- Правило правой руки для определения направления магнитных линий поля, создаваемого прямолинейным проводником с током: если мысленно обхватить проводник с током правой рукой так, чтобы отогнутый под прямым углом большой палец указывал направление тока, то четыре согнутых пальца укажут направление магнитных линий поля, созданного этим током.
- Магнитное поле действует на проводник с током. Силу, действующую на проводник с током со стороны магнитного поля, называют силой Ампера. Сила Ампера направлена перпендикулярно проводнику и при изменении направления тока направление силы Ампера изменяется на противоположное. Сила Ампера прямо пропорциональна силе тока в проводнике.
- Поворот рамки с током в магнитном поле обусловлен тем, что по противоположным сторонам рамки текут противоположно направленные токи. Поворот рамки с током в магнитном поле используют в электроизмерительных приборах и электродвигателях.

- Магнитное поле действует на движущиеся заряженные частицы. Это используют в ускорителях заряженных частиц. Силу, действующую на движущуюся заряженную частицу в магнитном поле, называют силой Лоренца.



ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ

Первый уровень

1. Расскажите о магнитном поле: чем оно создаётся и на что действует?
2. Сравните электрическое и магнитное поля: что у них общего и чем они различаются?
3. Изобразите схематически магнитные линии поля, создаваемого: а) полосовым магнитом; б) катушкой с током.
4. Изобразите схематически магнитные линии поля, создаваемого прямолинейным проводником с током.
5. Опишите опыт, который доказывает, что магнитное поле действует на проводник с током.
6. Расскажите, как действует магнитное поле на рамку с током.

Второй уровень

7. Опишите, как связано направление силы Ампера, действующей на прямолинейный проводник с током, с направлением этого проводника.
8. Расскажите, как влияет направление силы тока в проводнике на направление силы Ампера, действующей на этот проводник.
9. Опишите, как зависит действующая на проводник сила Ампера от силы тока в этом проводнике.
10. Опишите принцип действия электроизмерительных приборов, в которых используется действие магнитного поля на рамку с током.
11. Опишите устройство простейшего электродвигателя. Каково назначение коллектора?
12. Расскажите, где используют действие магнитного поля на движущиеся заряженные частицы.
13. Ось катушки с током расположена вертикально. Ток течёт по катушке по часовой стрелке, если смотреть на катушку сверху. Как направлены магнитные линии внутри катушки?
14. Составьте задачу по теме «Магнитное поле», ответом которой было бы «Изменится на противоположное».

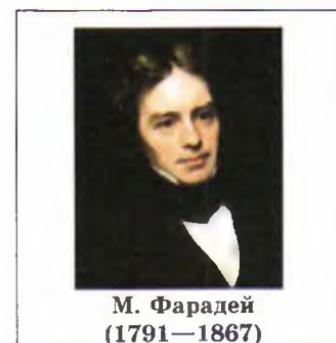
§ 20.

ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ ИНДУКЦИЯ

1. Явление электромагнитной индукции
2. Правило Ленца
3. Самоиндукция

1. ЯВЛЕНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ ИНДУКЦИИ

В опытах, поставленных Эрстедом и Ампером, было обнаружено, что проводники с токами создают магнитное поле. В связи с этим возник вопрос: *можно ли создать электрический ток с помощью магнитного поля?*



М. Фарадей
(1791—1867)

После 10 лет упорных поисков это удалось сделать английскому учёному М. Фарадею. Повторим ставшие знаменитыми опыты Фарадея.



ПОСТАВИМ ОПЫТ

Поместим полосовой магнит внутрь проволочной катушки с большим числом витков и соединим затем концы катушки с гальванометром — электроизмерительным прибором высокой чувствительности. Стрелка прибора останется на нуле. Значит, тока в катушке нет, хотя её и пронизывает созданное магнитом магнитное поле.

А теперь быстро вынем магнит из катушки, следя при этом за показаниями гальванометра. Мы увидим, что *при движении магнита в катушке возникает электрический ток* (рис. 20.1, а). Ток в катушке возникает и тогда, когда магнит *вдвигают* в катушку, причём направление тока меняется на противоположное (рис. 20.1, б).

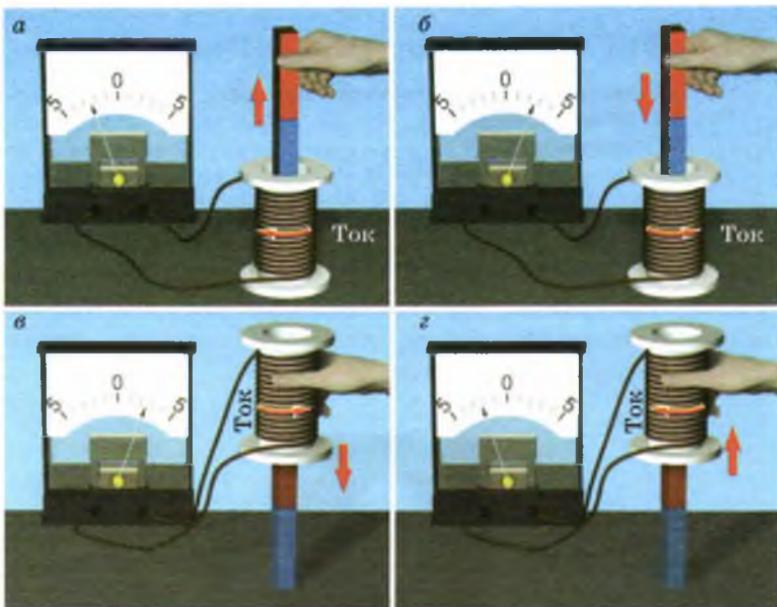


Рис. 20.1. Явление электромагнитной индукции

Ток в катушке возникает и в том случае, когда её надевают на *неподвижный* магнит (рис. 20.1, *в*) или снимают с него (рис. 20.1, *г*). Это означает, что ток в катушке возникает при движении магнита *относительно* катушки.

Возникающий в катушке ток называют *индукционным* (от латинского «индукцио» — наведение), а возникновение этого тока называют *явлением электромагнитной индукции*.

Поставив серию опытов, подобных описанному, Фарадей установил, что

причиной возникновения индукционного тока является изменение числа магнитных линий, пронизывающих катушку.

Увеличивается или уменьшается число магнитных линий, пронизывающих катушку, когда: а) магнит вынимают из катушки; б) катушку надевают на магнит?

2. ПРАВИЛО ЛЕНЦА

Как найти направление индукционного тока? Ответ на этот вопрос нашёл на опыте российский учёный Э. Х. Ленц.



ПОСТАВИМ ОПЫТ

На стержне, который может свободно вращаться на острие, укреплено два алюминиевых кольца — замкнутое и разрезанное. Если приближать магнит к замкнутому кольцу, то оно *отталкивается* от магнита (рис. 20.2, а), а если удалять магнит от кольца, то оно, наоборот, *притягивается* к нему (рис. 20.2, б). При этом не имеет значения, каким полюсом магнит обращён к кольцу.

Движение кольца обусловлено возникновением в кольце индукционного тока при движении магнита: кольцо с током взаимодействует с магнитом. В том, что это действительно так, легко убедиться, поднося магнит к разрезанному кольцу. Мы увидим, что оно не «реагирует» на движение магнита: по такому кольцу индукционный ток идти не может.

Заметим теперь, что движение замкнутого кольца всегда *противодействует* движению магнита: при приближении магнита кольцо удаляется от него, а при удалении — приближается.

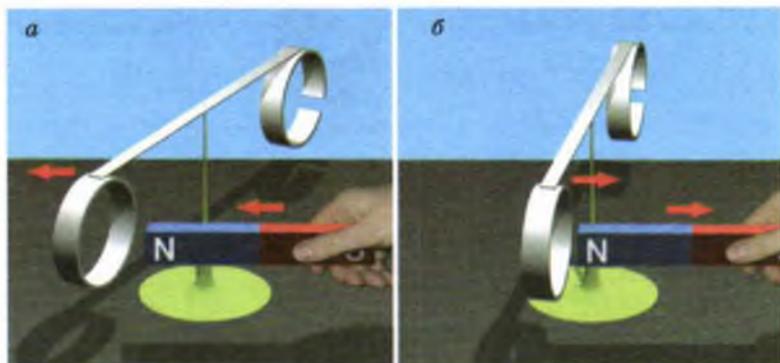


Рис. 20.2. Взаимодействие замкнутого алюминиевого кольца с магнитом

Проведя серию опытов, подобных описанному, Ленц сформулировал общее правило для нахождения направления индукционного тока:

индукционный ток всегда направлен так, чтобы противодействовать причине, вызвавшей этот ток¹.

¹ В курсе физики старших классов будет показано, что правило Ленца является следствием закона сохранения энергии.



РАЗВИТИЕ ТЕМЫ

3. САМОИНДУКЦИЯ



ПОСТАВИМ ОПЫТ

Соберём электрическую цепь, схематически изображённую на рис. 20.3. Последовательно с лампой 1 включен резистор, а последовательно с лампой 2 — катушка с большим числом витков. Сопротивления резистора и катушки подбирают одинаковыми, чтобы после замыкания ключа обе лампы горели одинаковым накалом.

Можно заметить, что лампа 1 при замыкании ключа загорается сразу, а лампа 2 — как бы с некоторым запаздыванием. Повторяя опыт, мы видим, что это кажущееся запаздывание обусловлено тем, что накал лампы 2 увеличивается постепенно.

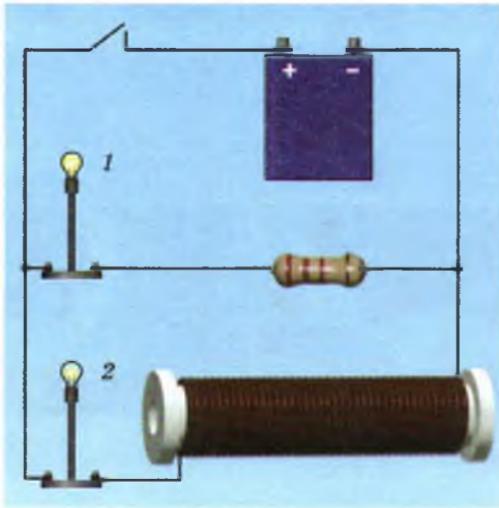


Рис. 20.3. Демонстрация явления самоиндукции

То, что накал лампы 2, соединённой последовательно с катушкой, увеличивается постепенно, обусловлено *явлением самоиндукции*. Оно является частным случаем явления электромагнитной индукции.

Вследствие явления самоиндукции силу тока в катушке нельзя увеличить мгновенно. Дело в том, что при увеличении силы тока в катушке усиливается и создаваемое током маг-

нитное поле. Но оно обладает энергией, поэтому для создания и усиления магнитного поля необходимо совершить работу (её совершает источник тока). Для совершения же работы требуется некоторое время.

Таким образом, электрическая цепь, содержащая катушку, проявляет как бы свойство инертности: в такой цепи нельзя мгновенно изменить силу тока. Это подобно тому, как из-за явления инерции нельзя мгновенно изменить скорость тела.

Самоиндукцию широко используют в технике. Например, без самоиндукции погасли бы дисплеи телевизоров и мобильных телефонов. В § 22. Электромагнитные волны мы ещё расскажем об этом.

ЧТО МЫ УЗНАЛИ

- Явление электромагнитной индукции состоит в том, что при изменении числа магнитных линий, пронизывающих проволочную катушку (виток), в ней возникает индукционный ток. Явление электромагнитной индукции открыл Майкл Фарадей.
- Правило Ленца: индукционный ток всегда направлен так, чтобы противодействовать причине, вызвавшей этот ток.



ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ

Первый уровень

1. Расскажите об опытах Фарадея, благодаря которым он открыл явление электромагнитной индукции.
2. Объясните, почему замкнутое кольцо при приближении магнита отталкивается от него, а при удалении магнита — притягивается к нему. Какое правило объясняет эти явления?
3. Объясните, почему разрезанное кольцо не взаимодействует с движущимся магнитом.

Второй уровень

4. Расскажите о правиле Ленца и приведите примеры, в которых это правило проявляется.
5. Проволочный виток находится в магнитном поле. Как можно изменить число магнитных линий, пронизывающих виток?

6. Расскажите, в чём состоит явление самоиндукции, и приведите пример проявления самоиндукции.
7. Почему в опыте, изображённом на рис. 20.3, накал лампы 2 при замыкании ключа увеличивается постепенно?
8. Составьте задачу по теме «Электромагнитная индукция», ответом которой было «Ток возникает в обоих случаях».

§ 21.

ПРОИЗВОДСТВО И ПЕРЕДАЧА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

1. Генератор переменного тока
2. Типы электростанций и их воздействие на окружающую среду
3. Почему электроэнергию передают под высоким напряжением?
4. Как повышают и понижают напряжение?
5. Альтернативные источники электроэнергии

1. ГЕНЕРАТОР ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

На электростанциях электроэнергию вырабатывают с помощью индукционных генераторов тока, действие которых основано на явлении электромагнитной индукции. Познакомимся с моделью такого генератора.



ПОСТАВИМ ОПЫТ

Поместим проволочную рамку между полюсами магнита и каждую сторону рамки соединим со своим кольцом (рис. 21.1). С помощью скользящих контактов соединим эти кольца с гальванометром.

Когда рамка вращается, гальванометр показывает, что в ней идёт ток. Значит,

вращающаяся в магнитном поле рамка является источником тока.

При равномерном вращении рамки сила тока и направление тока будут периодически изменяться — такой ток называют *переменным*.

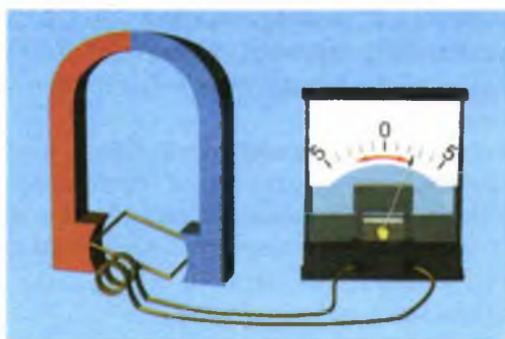


Рис. 21.1. Модель генератора переменного тока с неподвижным магнитом и вращающейся рамкой

Возникновение тока во вращающейся рамке обусловлено явлением электромагнитной индукции. Ведь при вращении рамки изменяется число пронизывающих рамку магнитных линий: оно периодически то увеличивается, то уменьшается.

На рис. 21.2 показана модель генератора переменного тока, в которой рамка остаётся неподвижной, а внутри рамки вращается магнит. В этом случае в рамке также идёт индукционный ток, потому что он возникает при вращении рамки относительно магнита.

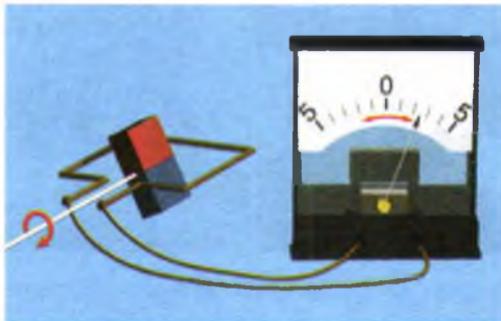


Рис. 21.2. Модель генератора переменного тока с неподвижной рамкой и вращающимся магнитом

С неподвижной рамки можно «снимать ток», не используя скользящие контакты. Это важное преимущество, потому что сопротивление скользящих контактов довольно велико, поэтому на них выделялось бы большое количество теплоты.

В мощных генераторах электростанций рамки неподвижны, а внутри них вращаются магниты (точнее, электромагниты¹).

Вращающуюся часть генератора называют *ротором*, а неподвижную — *статором*².

Период и частота переменного тока. Как мы уже говорили, ток, вырабатываемый индукционным генератором, *переменный*: сила тока и его направление периодически изменяются.

Периодом T переменного тока называют наименьший промежуток времени между моментами, когда сила тока максимальна при том же направлении тока.

Частотой переменного тока v называют величину, обратную периоду: $v = \frac{1}{T}$.

Частоту измеряют в герцах (Гц): $1\text{ Гц} = \frac{1}{с}$.

Частота переменного тока, вырабатываемого всеми электростанциями России, равна 50 Гц. Таков же стандарт частоты переменного тока и во многих других странах.

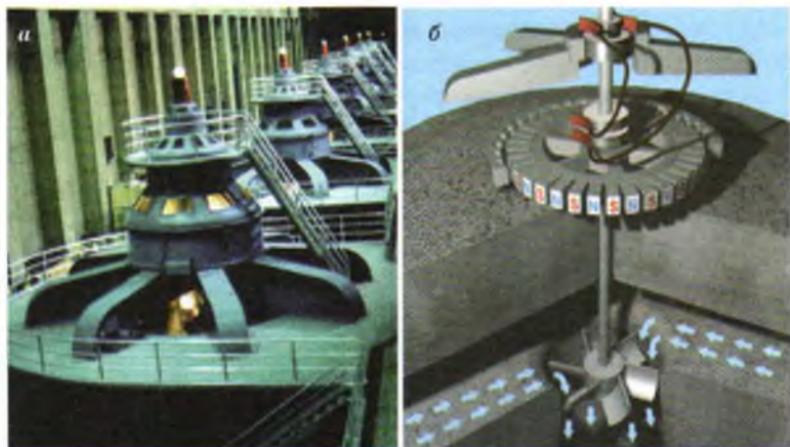


Рис. 21.3. Генераторы на гидроэлектростанции (*а*); схема действия генератора (*б*)

На рис. 21.3, *а* изображены генераторы гидроэлектростанции, а на рис. 21.3, *б* — схема одного генератора. Движущая-

¹ Ток к электромагниту подводят с помощью скользящих контактов, но сила тока в нём во много раз меньше, чем в рамке.

² Напомним, что в электродвигателе рамки с током расположены в роторе, а магнит — в статоре. В генераторе же, наоборот, рамки с током расположены в статоре, а магнит — в роторе.

ся вода (она обозначена на схеме голубыми стрелками) вращает лопасти турбины. На одном валу с турбиной укреплён ротор с многополюсным¹ электромагнитом.

2. ТИПЫ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ И ИХ ВОЗДЕЙСТВИЕ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ

Электроэнергию производят сегодня в основном на тепловых и атомных электростанциях, а также на гидроэлектростанциях (рис. 21.4). Расскажем кратко о каждом типе электростанций.



Рис. 21.4. Доли различных типов электростанций в мировом производстве электроэнергии

ТЕПЛОВЫЕ И АТОМНЫЕ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ

На тепловых электростанциях внутреннюю энергию топлива частично преобразуют в механическую энергию с помощью *тепловых двигателей* (обычно паровых турбин).

Затем механическую энергию преобразуют в электрическую с помощью *индукционных генераторов тока*.

К сожалению, тепловые электростанции загрязняют воздух продуктами сгорания топлива.

Атомные электростанции (АЭС) по принципу действия сходны с тепловыми, только в них используют ядерное топливо.

¹ Многополюсные электромагниты на гидроэлектростанциях используют для получения индукционного тока частотой 50 Гц при сравнительно небольшой частоте вращения турбин.

ГИДРОЭЛЕКТРОСТАНЦИИ

На гидроэлектростанциях (ГЭС) механическую энергию падающей воды с помощью индукционных генераторов тока преобразуют в электрическую энергию.

Работа гидроэлектростанций не сопровождается выбросами продуктов сгорания. Однако чтобы создать необходимый для работы электростанции перепад уровней воды, приходится перегораживать реку высокой плотиной (рис. 21.5). В результате на месте лесов и полей возникают искусственные моря.



Рис. 21.5. Плотина крупнейшей в России Саяно-Шушенской ГЭС

РАЗВИТИЕ ТЕМЫ

3. ПОЧЕМУ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИЮ ПЕРЕДАЮТ ПОД ВЫСОКИМ НАПРЯЖЕНИЕМ?

Как вы уже знаете, безопасным для человека является напряжение, не превышающее 20—30 В. Почему же тогда в квартиры подают электроэнергию под напряжением 220 В?

Дело в том, что это позволяет многократно (в тысячи раз!) уменьшить тепловые потери в линиях электропередачи. Объясним почему.

Вспомним, что в проводнике сопротивлением R за время t выделяется количество теплоты $Q = I^2Rt$, пропорциональное квадрату силы тока I . Значит, чем меньше сила тока в линиях электропередачи, тем меньшее количество теплоты выделяется в них. Поэтому возникает вопрос: можно ли уменьшить

силу тока в линиях электропередачи, сохранив передаваемую мощность?

Можно! Для этого надо *повысить напряжение*. Вспомним, что мощность тока в электроприборе выражается формулой $P = IU$, где U — напряжение на приборе. Из этой формулы следует: повышая напряжение в несколько раз, можно во столько же раз уменьшить силу тока, сохранив мощность неизменной.

Это и объясняет, почему приходится значительно повышать напряжение, особенно при передаче на большие расстояния. По высоковольтным линиям электропередачи передают электроэнергию под напряжением в *сотни тысяч вольт!*

Однако перед подачей электроэнергии потребителю напряжение необходимо уменьшить, потому что высокое напряжение чрезвычайно опасно.

4. КАК ПОВЫШАЮТ И ПОНИЖАЮТ НАПРЯЖЕНИЕ?

Напряжение переменного тока изменяют с помощью *трансформаторов* (от латинского «трансформаре» — преобразовывать).

Трансформатор состоит из двух катушек изолированного провода, намотанных на общий стальной сердечник (рис. 21.6). При этом катушки имеют *разное число витков*.

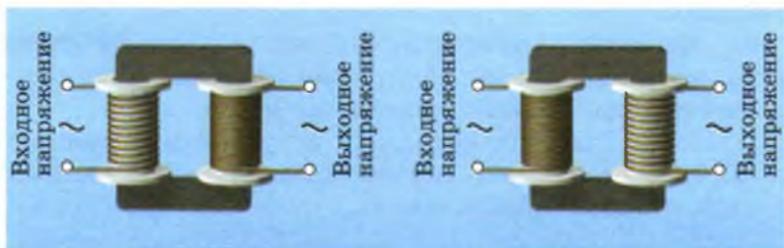


Рис. 21.6. Трансформаторы

На одну катушку (её называют *первичной*) подают переменный ток под напряжением U_1 (*входное напряжение*). Переменный ток создаёт внутри катушки переменное магнитное поле. Оно *сосредоточено в основном внутри стального сердечника*, поэтому пронизывает и другую катушку (*вторичную*). И если другая катушка замкнута, то в ней вследствие явления электромагнитной индукции возникает индукционный ток. Напряжение U_2 на концах вторичной катушки называют *выходным напряжением*.

Опыты и расчёты показывают, что отношение выходного напряжения к входному равно отношению числа витков n_2 и n_1 соответственно во вторичной и первичной катушках:

$$\frac{U_2}{U_1} = \frac{n_2}{n_1}$$

Если напряжение $U_2 > U_1$, то трансформатор повышает напряжение, поэтому его называют *повышающим*, а если $U_2 < U_1$, то трансформатор понижает напряжение, поэтому его называют *понижающим*.

Первым применил трансформаторы для преобразования напряжения переменного тока российский электротехник П. Н. Яблочков.

?

Какой из трансформаторов, изображённых на рис. 21.6, является повышающим, а какой – понижающим?

5. АЛЬТЕРНАТИВНЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

Источники ископаемого топлива ограничены, а гидроэлектростанции построены уже практически всюду, где было возможно. Поэтому учёные и инженеры активно ищут и исследуют новые источники энергии (их называют *альтернативными*).

Это, например, солнечные батареи, в которых световая энергия преобразуется в электрическую. Такие батареи используют в искусственных спутниках Земли.

Широко используют сегодня и ветровые электростанции (рис. 21.7). Они особенно эффективны в тех местностях, где дуют сильные постоянные ветры.



Рис. 21.7. Ветровая электростанция

ЧТО МЫ УЗНАЛИ

- Индукционный генератор электрического тока преобразует механическую энергию в электрическую. Действие генератора основано на явлении электромагнитной индукции. Индукционные генераторы тока являются основными источниками электроэнергии в современном мире.
- Периодом переменного тока называют наименьший промежуток времени между моментами, когда сила тока максимальна (при том же направлении тока).
- Частотой переменного тока v называют величину, обратную периоду: $v = \frac{1}{T}$. Частоту измеряют в герцах (Гц): $1 \text{ Гц} = \frac{1}{\text{с}}$.
- Частота переменного тока, вырабатываемого всеми электростанциями России, равна 50 Гц.
- Электроэнергию сегодня производят в основном на тепловых и атомных электростанциях, а также на гидроэлектростанциях.
- Электроэнергию на большие расстояния передают под высоким напряжением, потому что это позволяет значительно уменьшить потери на нагревание проводов в линиях электропередачи. Перед подачей электроэнергии потребителю напряжение понижают.
- Напряжение переменного тока повышают и понижают с помощью трансформаторов.
- Учёные и инженеры активно ищут и исследуют новые (альтернативные) источники энергии.



ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ

Первый уровень

1. Опишите простейшую модель генератора переменного тока. На каком физическом явлении основано действие этого генератора?
2. Какова частота переменного тока, вырабатываемого электростанциями России?
3. Расскажите о различных типах электростанций и их воздействии на окружающую среду.
4. О каких крупных электростанциях в вашем регионе вы знаете? Какого типа эти электростанции?

Второй уровень

5. Расскажите об основных этапах производства и передачи электроэнергии. Опишите преобразования энергии, которые происходят на каждом из этих этапов.
6. Сравните электродвигатель и генератор переменного тока: что у них общего и чем они различаются?
7. Объясните, почему электроэнергию передают на большие расстояния под высоким напряжением.
8. Во сколько раз уменьшатся потери электроэнергии за счёт нагревания проводов, если напряжение повысить в 100 раз (при той же мощности потребителя)?
9. Расскажите кратко о принципе действия трансформатора. На каком физическом явлении основано его действие? Какой формулой выражается отношение выходного и входного напряжений трансформатора?
10. Что вы знаете об альтернативных источниках электроэнергии?

§ 22. ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ ВОЛНЫ

1. Теория Максвелла и электромагнитные волны
2. Принципы радиосвязи
- 3. Генератор электромагнитных колебаний
- 4. Как работает мобильный телефон?

1. ТЕОРИЯ МАКСВЕЛЛА И ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ ВОЛНЫ

Теорию электромагнитных явлений построил английский физик Дж. Максвелл во второй половине 19-го века. Он основывался на открытиях М. Фарадея и других учёных.



Дж. Максвелл
(1831—1879)

Из теории Максвелла следовало важное предсказание: переменные электрическое и магнитное поля, взаимно порождая друг друга, должны распространяться в пространстве в виде электромагнитных волн.

Когда Максвелл вычислил скорость распространения предсказанных им электромагнитных волн, оказалось (к его собственному удивлению), что она равна скорости све-

та. Поэтому Максвелл предположил, что свет — это разновидность электромагнитных волн.

Это означало, что

электрические, магнитные и оптические явления взаимосвязаны.

Электромагнитные волны в конце 19-го века обнаружил на опыте немецкий физик Г. Герц.

Электромагнитные волны излучаются заряженными частицами, когда скорость частиц изменяется, например, когда они совершают колебания.

В отличие от звуковых волн, которые могут распространяться только в какой-нибудь среде (например, воздухе или воде), электромагнитные волны могут распространяться и в пустоте, где их скорость (она же — скорость света) составляет около 300 000 км/с.

2. ПРИНЦИПЫ РАДИОСВЯЗИ

24 марта 1896 года во время заседания Российского физико-химического общества российский инженер А. С. Попов осуществил передачу и приём первого в мире сообщения по радио. Оно состояло всего из двух слов: «Генрих Герц».

Рассмотрим принципы радиосвязи на примере передачи звука (как это происходит, например, при работе мобильного телефона).

Сначала с помощью микрофона звуковые колебания (частотой от 20 Гц до 20 кГц) преобразуют в переменный электрический ток (рис. 22.1). Частота этого тока равна частоте звуковых колебаний.

На большие расстояния могут распространяться электромагнитные волны только намного большей частоты. Частоту радиоволн измеряют в **мегагерцах**: 1 МГц = 1 000 000 Гц. Электромагнитная волна высокой частоты играет роль «почтового



А. С. Попов
(1859—1906)



Рис. 22.1. Преобразование звуковых колебаний в электрические



Рис. 22.2. Модулированная электромагнитная волна порождает электрические колебания в антenne радиоприёмника или телевизора

высокочастотная волна.

В приёмной антenne радиоприёмника или телевизора (рис. 22.2) модулированная волна порождает высокочастотные электрические колебания, «повторяющие» форму модулированной волны.

С помощью специальных приборов из этих колебаний выделяют электрические колебания звуковой частоты. Этот процесс называют *демодуляцией* или *детектированием*.

И наконец, с помощью динамика или наушника электрические колебания преобразуют снова в звуковые (рис. 22.3).

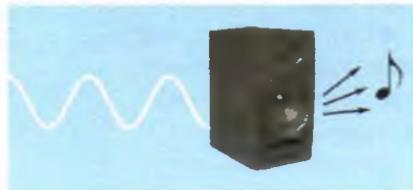


Рис. 22.3. Преобразование электрических колебаний в звуковые

Таковы и принципы работы телевидения — но при этом с помощью высокочастотных электромагнитных волн передают не только звук, но и изображение.

Поскольку каждая радиостанция использует свою несущую частоту, одновременно могут работать много радиостанций, не мешая друг другу (в том числе и огромное количество мобильных телефонов).



РАЗВИТИЕ ТЕМЫ

3. ГЕНЕРАТОР ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ КОЛЕБАНИЙ

Электромагнитные волны высокой частоты излучаются при электромагнитных колебаниях высокой частоты. Такие колебания создаются и поддерживаются *генератором электромагнитных колебаний*.

Основной элемент такого генератора — *колебательный контур*, состоящий из катушки (её называют катушкой индуктивности) и конденсатора (рис. 22.4). Напомним, что конденсатор состоит из двух проводников (обкладок), на которых находятся равные по модулю разноимённые электрические заряды.

Как возникают колебания в колебательном контуре? Если зарядить конденсатор (рис. 22.4, а), он начнёт разряжаться и через катушку пойдёт электрический ток (рис. 22.4, б). Вследствие явления самоиндукции сила тока в катушке будет увеличиваться не скачком, а постепенно и достигнет максимума, когда конденсатор разрядится (рис. 22.4, в).

Но — опять же вследствие самоиндукции — ток в катушке при этом не прекратится мгновенно, а будет продолжать идти ещё какое-то время в том же направлении, теперь *заряжая* конденсатор (рис. 22.4, г). Ток в катушке прекратится только тогда, когда первоначальные заряды на обкладках конденсатора «поменяются местами», то есть модули зарядов на обкладках конденсатора станут такими, какими они были первоначально, но знаки зарядов будут противоположными (рис. 22.4, д).

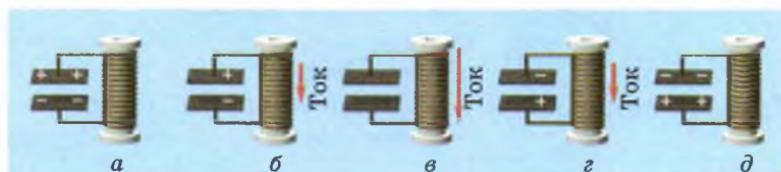


Рис. 22.4. Электромагнитные колебания — первая половина периода

После этого конденсатор снова начнёт разряжаться (рис. 22.5, *а—д*), и ток снова пойдёт через катушку, но теперь в обратном направлении. В результате колебательный контур вернётся в «исходное состояние». Описанный процесс перезарядки конденсатора через катушку периодически повторяется — это и есть **электромагнитные колебания**.

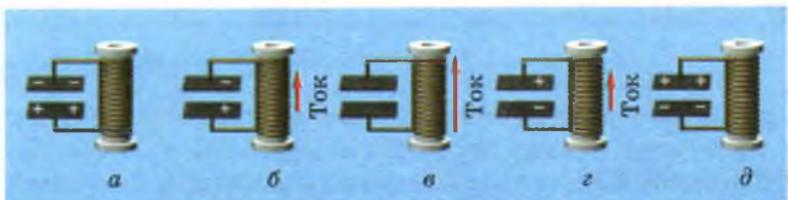


Рис. 22.5. Электромагнитные колебания — вторая половина периода

Мы видим, что в колебательном контуре происходят *периодические превращения энергии*. При разрядке конденсатора энергия электрического поля в конденсаторе превращается в энергию магнитного поля в катушке, а затем энергия магнитного поля снова превращается в энергию электрического поля.

При излучении электромагнитных волн расходуется энергия, поэтому колебательный контур необходимо «подпитывать» энергией. Для этого колебательный контур периодически подключается к источнику тока. Этими подключениями «управляет» сам колебательный контур с помощью *транзистора* (см. § 17. Полупроводники и полупроводниковые приборы¹).



Рис. 22.6. Мобильный телефон

4. КАК РАБОТАЕТ МОБИЛЬНЫЙ ТЕЛЕФОН?

Мобильный, или сотовый, телефон (рис. 22.6) — это миниатюрная комбинация радиоприёмника и радиопередатчика. Это чудо техники, с которым сегодня многие не расстаются, стало возможным благодаря физическим открытиям последних десятилетий.

Сотовый телефон поддерживает радиотелефонную связь в пределах

¹ Подробнее работа генератора электромагнитных колебаний будет рассмотрена в курсе физики старшей школы.

так называемой «зоны покрытия». Она разделена на ячейки («соты» — отсюда и название телефона). В каждой ячейке есть приёмник-передатчик, антенна которого установлена на телебашне, высоком здании или специально построенной вышке. Когда вы перемещаетесь в пределах зоны покрытия, ваш сотовый телефон поддерживает радиосвязь с ближайшим приёмником-передатчиком.

ЧТО МЫ УЗНАЛИ

- Теорию электромагнитного поля построил Дж. Максвелл. Одно из важнейших предсказаний этой теории — существование электромагнитных волн. Скорость электромагнитных волн оказалась равной скорости света, поэтому Дж. Максвелл предположил, что свет — это электромагнитные волны.
- Электромагнитные волны обнаружил на опыте Г. Герц.
- Радио изобрёл А. С. Попов.
- Основные принципы радиосвязи:
 - с помощью микрофона звуковые колебания преобразуются в электрические;
 - с помощью электрических колебаний модулируют электромагнитную волну высокой частоты;
 - модулированная волна, попав на приёмную антенну радиоприёмника или мобильного телефона, порождает в ней модулированные высокочастотные электрические колебания;
 - из этих колебаний с помощью детектирования выделяют электрические колебания звуковой частоты.
- Электромагнитные колебания высокой частоты создают с помощью генератора электромагнитных колебаний. Основной его элемент — колебательный контур, состоящий из катушки индуктивности и конденсатора.
- При электромагнитных колебаниях в колебательном контуре происходят периодические превращения энергии: энергия электрического поля в конденсаторе превращается в энергию магнитного поля в катушке, а затем энергия магнитного поля в катушке снова превращается в энергию электрического поля в конденсаторе.



ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ

Первый уровень

1. Расскажите об основном предсказании теории Дж. Максвелла.
2. Какой вывод сделал Дж. Максвелл из того, что скорость электромагнитных волн равна скорости света? Подтвердился ли этот вывод на опыте?
3. Опишите кратко основные принципы передачи и приёма радиоволн.

Второй уровень

4. Объясните, почему для радиосвязи используют электромагнитные волны высокой частоты.
5. Расскажите, благодаря чему различные радиостанции могут работать, не мешая друг другу.
6. Опишите принцип действия колебательного контура. Какое физическое явление лежит в основе его действия?
7. Расскажите, какие преобразования энергии происходят при работе колебательного контура.



ГЛАВНОЕ В § 18–22

- Одноимённые полюса магнитов отталкиваются, а разноимённые — притягиваются.
- Северным полюсом магнитной стрелки называют тот, который указывает на север.
- Земля является огромным магнитом. Вблизи Северного (географического) полюса Земли находится её южный магнитный полюс, а вблизи Южного (географического) полюса находится северный магнитный полюс.
- Проводник с током действует на расположенную вблизи него магнитную стрелку (опыт Эрстеда).
- Параллельные проводники с током взаимодействуют друг с другом: если токи текут в одном направлении, то проводники притягиваются, а если в противоположных направлениях — то отталкиваются (опыт Ампера).
- Катушки с токами взаимодействуют так же, как полосовые магниты.

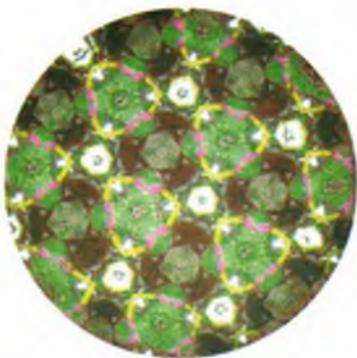
- Правило правой руки для определения северного магнитного полюса катушки с током: если мысленно обхватить катушку с током правой рукой так, чтобы четыре пальца указывали направление тока, то отогнутый под прямым углом большой палец укажет, где находится северный магнитный полюс.
- Магнитное взаимодействие осуществляется посредством магнитного поля: проводник с током создаёт вокруг себя магнитное поле, которое действует на другие проводники с токами.
- Линиями магнитной индукции (магнитными линиями) называют линии, вдоль которых выстраиваются магнитные стрелки в магнитном поле. За направление магнитной линии в данной точке принимают направление, которое указывает в этой точке северный полюс магнитной стрелки. Магнитные линии выходят из северного магнитного полюса и входят в южный.
- Правило правой руки для определения направления магнитных линий поля, созданного прямолинейным проводником с током: если мысленно обхватить проводник с током правой рукой так, чтобы отогнутый под прямым углом большой палец указывал направление тока, то четыре согнутых пальца укажут направление магнитных линий поля, созданного этим током.
- Магнитное поле действует на проводник с током. Силу, действующую на проводник с током со стороны магнитного поля, называют силой Ампера. Сила Ампера направлена перпендикулярно проводнику и при изменении направления тока направление силы Ампера изменяется на противоположное. Сила Ампера прямо пропорциональна силе тока в проводнике.
- Магнитное поле действует на движущиеся заряженные частицы. Силу, действующую на движущуюся заряженную частицу в магнитном поле, называют силой Лоренца.
- Явление электромагнитной индукции: при изменении числа магнитных линий, пронизывающих проволочную катушку (виток), в ней возникает индукционный ток. Явление электромагнитной индукции открыл М. Фарадей.
- Правило Ленца: индукционный ток всегда направлен так, чтобы противодействовать причине, вызвавшей этот ток.

- Индукционный генератор электрического тока преобразует механическую энергию в электрическую. Индукционные генераторы тока являются основными источниками электроэнергии в современном мире.
- Электроэнергию производят сегодня на тепловых и атомных электростанциях, а также на гидроэлектростанциях.
- Электроэнергию на большие расстояния передают под высоким напряжением, потому что это позволяет значительно уменьшить потери на нагревание проводов. Перед подачей электроэнергии потребителю напряжение понижают.
- Напряжение переменного тока повышают и понижают с помощью трансформаторов.
- Теорию электромагнитного поля построил Дж. Максвелл. Одно из важнейших предсказаний этой теории — существование электромагнитных волн. Максвелл предположил, что свет — это электромагнитные волны.
- Электромагнитные волны обнаружил на опыте Г. Герц.
- Радио изобрёл А. С. Попов.
- Основные принципы радиосвязи:
 - с помощью микрофона звуковые колебания преобразуются в электрические;
 - с помощью электрических колебаний модулируют электромагнитную волну высокой частоты;
 - модулированная волна, попав на приёмную антенну радиоприёмника или мобильного телефона, порождает в ней модулированные высокочастотные электрические колебания;
 - из этих колебаний с помощью детектирования выделяют электрические колебания звуковой частоты.
- Электромагнитные колебания высокой частоты создают с помощью генератора электромагнитных колебаний. Основной его элемент — колебательный контур, состоящий из катушки индуктивности и конденсатора.
- При электромагнитных колебаниях в колебательном контуре происходят периодические превращения энергии: энергия электрического поля в конденсаторе превращается в энергию магнитного поля в катушке, а затем энергия магнитного поля в катушке снова превращается в энергию электрического поля в конденсаторе.

Глава 3

ОПТИЧЕСКИЕ ЯВЛЕНИЯ

- Действия света. Источники света
- Тень и полутень
- Отражение света
- Изображение в зеркале
- Преломление света
- Линзы
- Изображения, даваемые линзами
- Глаз и оптические приборы
- Цвет



§ 23. ДЕЙСТВИЯ СВЕТА. ИСТОЧНИКИ СВЕТА

1. Что для нас значит солнечный свет?
2. Действия света
3. Источники света
4. Как впервые измерили скорость света?
5. Свечение живых организмов

1. ЧТО ДЛЯ НАС ЗНАЧИТ СОЛНЕЧНЫЙ СВЕТ?

Вы уже знаете, что свет — это электромагнитные волны. Скорость света в пустоте (вакууме) равна примерно 300 000 км/с. О том, как измерили скорость света, мы расскажем ниже.

 За сколько времени свет пройдёт: а) расстояние, равное длине экватора Земли (40 тыс. км); б) от Солнца до Земли (150 млн км)?

Какую энергию несёт солнечный свет? В течение одного часа на площадь, равную площади письменного стола, Солнце посыпает энергию, которой хватило бы, чтобы поднять нескольких слонов на высоту многоэтажного дома (рис. 23.1).



Рис. 23.1. Свет несёт огромную энергию

Энергия солнечного света усваивается зелёными листьями растений, которые становятся пищей для травоядных животных, а они, в свою очередь, становятся пищей для хищников (рис. 23.2, а).

Ископаемое топливо (уголь, нефть и газ) образовалось из остатков давным-давно живших растений и животных. Значит, электроэнергия, вырабатываемая на тепловых электростанциях, а также энергия, которая приводит в движение автомобили, — это накопленная за миллионы лет энергия солнечного света (рис. 23.2, б).



Рис. 23.2. Цепь превращений энергии солнечного света

2. ДЕЙСТВИЯ СВЕТА

Самое известное действие света — это *освещение*.

Свет обладает также *тепловым* действием — он нагревает тела¹. Тёмная поверхность лучше поглощает свет, чем светлая. Поэтому в жаркую погоду лучше носить светлую одежду.

Свет может производить также *химическое* действие, то есть вызывать химические реакции. Самые важные для жизни на Земле химические реакции, обусловленные действием света, протекают, как мы уже сказали, в листьях растений.

Под действием света из вещества могут вылетать электроны, в результате чего возникает электрический ток. Это — *электрическое* действие света. Его используют, например, в цифровых фотоаппаратах.

¹ Наибольшим тепловым действием обладает невидимое глазом излучение (инфракрасное), которое испускается всеми нагретыми телами.



Рис. 23.3. Нагретые тела светятся

Подобными Солнцу тепловыми источниками света являются звёзды. Но не все «небесные светила» — источники света: например, Луна не светит, а только *отражает* свет Солнца (рис. 23.4, б). Отражают солнечный свет и планеты (их иногда ошибочно принимают за особенно яркие звёзды).



Рис. 23.4. Термальные источники света и Луна (она не является источником света!)

3. ИСТОЧНИКИ СВЕТА

ТЕРМОВЫЕ ИСТОЧНИКИ СВЕТА

Опыт показывает, что

все достаточно сильно нагретые тела излучают свет, то есть являются *термовыми источниками света* (рис. 23.3).

Самый важный для нас термовый источник света — Солнце (рис. 23.4, а). Температура его раскалённой дыбы поверхности достигает примерно 6000 градусов.

</

Первым «приручённым» человеком тепловым источником света было пламя костра (рис. 23.4, *в*). Ему на смену пришло пламя свечи (рис. 23.4, *г*). Тепловыми источниками света являются и лампы накаливания (рис. 23.4, *д*).

ХОЛОДНЫЕ ИСТОЧНИКИ СВЕТА

Холодными источниками света называют тела, которые излучают свет при температуре, близкой к комнатной.

Это, например, дисплей мобильного телефона (рис. 23.5, *а*) и экран телевизора (рис. 23.5, *б*). Холодными источниками света являются энергосберегающие лампы и светодиоды (см. рис. 11.5, *в*, *г*), а также лампы дневного света (рис. 23.5, *в*).



Рис. 23.5. Холодные источники света

Среди холодных источников света есть и светящиеся организмы. Так, ночью в лесу «перемигиваются» светлячки. Светятся и некоторые глубоководные рыбы (рис. 23.5, *г*). Подробнее об этом рассказано ниже.

ЕСТЕСТВЕННЫЕ И ИСКУССТВЕННЫЕ ИСТОЧНИКИ СВЕТА

Источники света, созданные самой природой (от Солнца до светлячков), называют *естественными*. Созданные же человеком источники света называют *искусственными*.



Рис. 23.6. Прометей и искусственные источники света

Первым искусственным источником света было пламя костра. Древние греки считали, что огонь подарил людям отважный титан Прометей (рис. 23.6, а).

Тысячелетиями дома и улицы освещали огнём (рис. 23.6, б). Во второй половине 19-го века русские электротехники А. Н. Лодыгин и П. Н. Яблочков изобрели электрические лампы. Электрическое освещение преобразило жилища и улицы городов (рис. 23.6, в).

ТОЧЕЧНЫЕ И ПРОТЯЖЁННЫЕ ИСТОЧНИКИ СВЕТА

Любой источник света имеет какой-то размер. Например, лампочка карманного фонарика меньше сантиметра, а диаметр Солнца — почти полтора миллиона километров.

Однако видимый размер источника света определяется не только размером самого источника, но и расстоянием, с которого мы его наблюдаем. Например, некоторые звёзды намного больше Солнца, но все они кажутся нам *светящимися точками* из-за того, что находятся очень и очень далеко от нас (рис. 23.7, а).

Физическую модель источника света, размерами которого в данных условиях можно пренебречь, называют *точечным источником света*.

Таким образом, точечными источниками света для нас являются и огромная звезда, расстояние до которой сотни световых лет, и маленькая лампочка фонарика, когда она находится на расстоянии нескольких метров.

Если размером источника света пренебречь нельзя, источник называют *протяжённым* (рис. 23.7, б). Например, самая близкая к нам звезда — Солнце — является для нас протяжённым источником света: это не светящаяся точка, а светящийся диск.



Рис. 23.7. Точечные и протяжённый источники света



РАЗВИТИЕ ТЕМЫ

4. КАК ВПЕРВЫЕ ИЗМЕРИЛИ СКОРОСТЬ СВЕТА?

Во второй половине 17-го века датский астроном О. Ремер заметил странное «поведение» спутника Юпитера (самой большой планеты Солнечной системы). В течение полугода период обращения спутника почему-то увеличивался, а в течение следующего полугода — уменьшался до прежнего значения.

Ремер догадался, что это наблюдаемое изменение периода обращения спутника обусловлено изменением расстояния от Земли до Юпитера вследствие движения планет (главным образом, Земли). Когда Земля удаляется от Юпитера (это происходит примерно в течение полугода), свету при каждом новом обороте спутника приходится проходить большее расстояние, чтобы «сообщить» земному наблюдателю об обороте спутника. Поэтому наблюдателю кажется, что период обращения спутника *увеличивается*. Зато в течение следующего полугода, когда Земля приближается к Юпитеру, земному наблюдателю кажется, что период обращения спутника *уменьшается*.

По результатам своих наблюдений Ремер первым смог измерить скорость света. Результат, полученный Ремером, был не очень точен, потому что тогда не были ещё достаточно точно известны размеры орбит Земли и Юпитера.

Намного более точные измерения скорости света выполнили независимо друг от друга в середине 19-го века французские физики Ж. Фуко и А. Физо.

5. СВЕЧЕНИЕ ЖИВЫХ ОРГАНИЗМОВ

Свечение живых организмов называют «биолюминесценция» от греческого «биос», что означает жизнь, и латинского «люмен» — свет. Биолюминесценция основывается на физико-химических процессах, при которых энергия, освобождающаяся в результате химических реакций, выделяется в виде света.

Среди светящихся организмов есть водоросли, бактерии, грибы, моллюски, насекомые, осьминоги, кальмары, медузы, рыбы (рис. 23.8). Свечение организмов помогает им общаться, охотиться и отпугивать хищников. Например, у глубоководной рыбы морской чёрт (рис. 23.8, в центре) перед ртом висит «фонарик», свет которого приманивает добычу.



Рис. 23.8. Светящиеся организмы

ЧТО МЫ УЗНАЛИ

- Свет — это электромагнитные волны. Скорость света в пустоте примерно $300\ 000 \frac{\text{км}}{\text{с}}$.
- Действия света: освещение, тепловое, химическое и электрическое.
- Тепловыми источниками света являются тела, нагретые до достаточно высокой температуры.
- Холодными источниками света называют тела, которые светятся при температуре, близкой к комнатной.
- Источники света бывают естественными и искусственными.
- Точечным источником света называют физическую модель источника света, размерами которого в данных условиях можно пренебречь. Примерами точечных источников света являются звёзды.
- Если размеры и форма источника света в данных условиях существенны, его называют протяжённым.



ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ

Первый уровень

1. Сравните процессы распространения света и звука: что у них общего и чем они различаются?
2. Чему равна скорость света в пустоте?
3. Опишите действия света и приведите соответствующие примеры.
4. Приведите примеры тепловых источников света.
5. Какие холодные источники света вам известны?

6. Приведите примеры естественных и искусственных источников света.
7. Расскажите о том, что такое точечный и протяжённый источники света, и приведите соответствующие примеры.

Второй уровень

8. Расскажите о происхождении энергии, накопленной в угле и нефти.
9. Приведите примеры теплового действия света, не упомянутые в тексте учебника.
10. Опишите опыт, в котором впервые была измерена скорость света.
11. Все ли «небесные светила» являются источниками света? Проиллюстрируйте ваш ответ примерами.



ДОМАШНЯЯ ЛАБОРАТОРИЯ

1. Поместите руку под включенную лампу накаливания. Какие действия света вы можете наблюдать и ощущать при этом?
2. Посмотрите кругом. Какие источники света вы можете приближённо считать точечными? Сделайте это наблюдение днём и вечером.

§ 24. ТЕНЬ И ПОЛУТЕНЬ

1. Световые пучки и световые лучи
2. Тень и полутень
3. Солнечные и лунные затмения
- 4. При каком освещении нет теней?
- 5. Некоторые затмения в прошлом

1. СВЕТОВЫЕ ПУЧКИ И СВЕТОВЫЕ ЛУЧИ

Вспомните пучки света, пробивающиеся сквозь тучи или в просветы между деревьями (рис. 24.1, а). Пучок света можно сделать узким, если пропускать свет сквозь малое отверстие (рис. 24.1, б). На рис. 24.1, в изображено отражение от зеркала очень узкого пучка света лазерного фонарика.

Пучки света мы видим благодаря тому, что они освещают находящиеся в воздухе пылинки и капельки воды, которые отражают свет во все стороны.

Как показывает опыт,

свет в пустоте (вакууме) и в однородной среде распространяется прямолинейно.

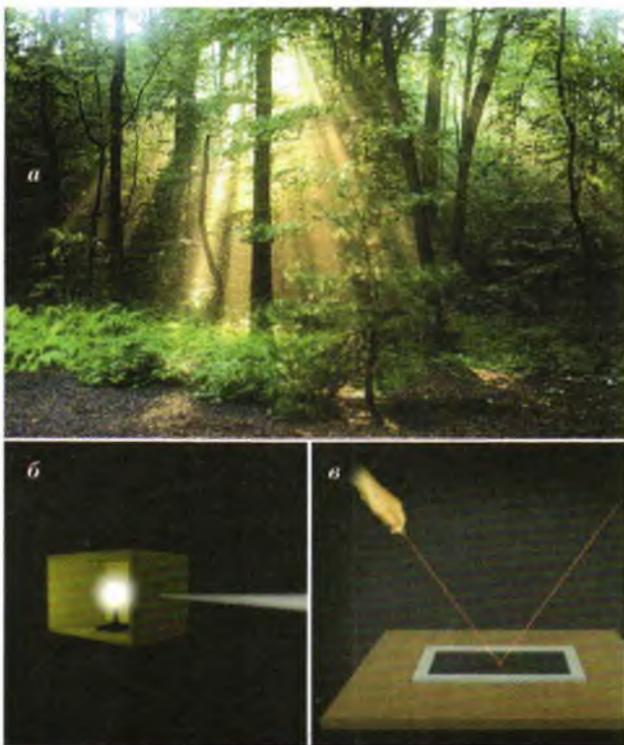


Рис. 24.1. Световые пучки

Прямолинейность распространения света удобно использовать для проверки прямолинейности линейки или бруска (рис. 24.2).



Рис. 24.2. Проверка прямолинейности линейки

Физической моделью узкого пучка света является *луч света* — так называют линию, вдоль которой распространяется свет. Раздел оптики, в котором изучают ход лучей света, называют *геометрической оптикой*, потому что для нахождения хода лучей часто используют геометрические построения.

2. ТЕНЬ И ПОЛУТЕНЬ

ПОСТАВИМ ОПЫТЫ

Если осветить шар маленькой лампочкой, которую можно считать *точечным источником света*, то тень от шара будет чёткой, с резкими краями (рис. 24.3, а).

Если же осветить шар *протяжённым источником света* (например, лампой в круглом плафоне), то образуются тень и полутень — частично освещённая область (рис. 24.3, б).

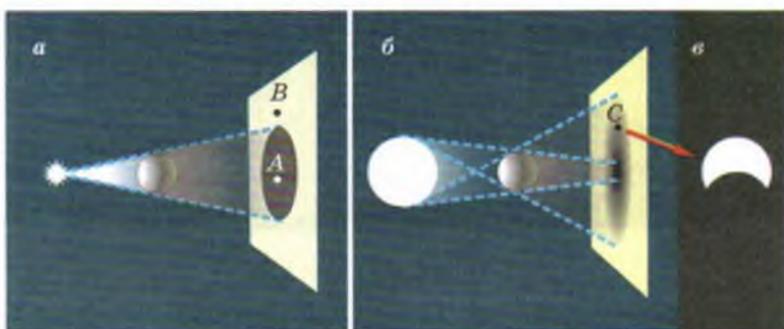


Рис. 24.3. Образование тени и полутени

Почему же в первом случае образуется тень с резкими краями, а во втором — тень и полутень? Дело в том, что при освещении шара точечным источником свет от источника в точку *A* совсем не попадает, поэтому здесь область тени (см. рис. 24.3, а). В точку *B* попадает свет от *всего* источника.

При освещении шара протяжённым источником *полутень* будет на экране в тех точках, из которых *протяжённый* источник света виден *частично* (см. рис. 24.3, б). Для примера на рис. 24.3, в показано, каким видится светящийся плафон из точки *C*, которая находится в области полутени.

Освещение можно устроить так, что теней не будет совсем — будут только полутени (см. пункт «При каком освещении нет теней?»).

3. СОЛНЕЧНЫЕ И ЛУННЫЕ ЗАТМЕНИЯ

Когда Луна оказывается точно между Солнцем и Землёй, тень от Луны падает на поверхность Земли. При этом из тех точек поверхности Земли, на которые падает тень Луны, наблюдают солнечное затмение (рис. 24.4, а).

Там, где Луна закрывает Солнце полностью (из области тени), наблюдают *полное солнечное затмение* (рис. 24.4, б).

Вокруг области тени будет кольцо полутени. Там наблюдают *частное солнечное затмение*: Солнце закрыто Луной лишь частично. При этом сквозь закопчённое стекло (или компакт-диск) можно увидеть Солнце в форме полумесяца — как светящийся плафон на рис. 24.3, в.

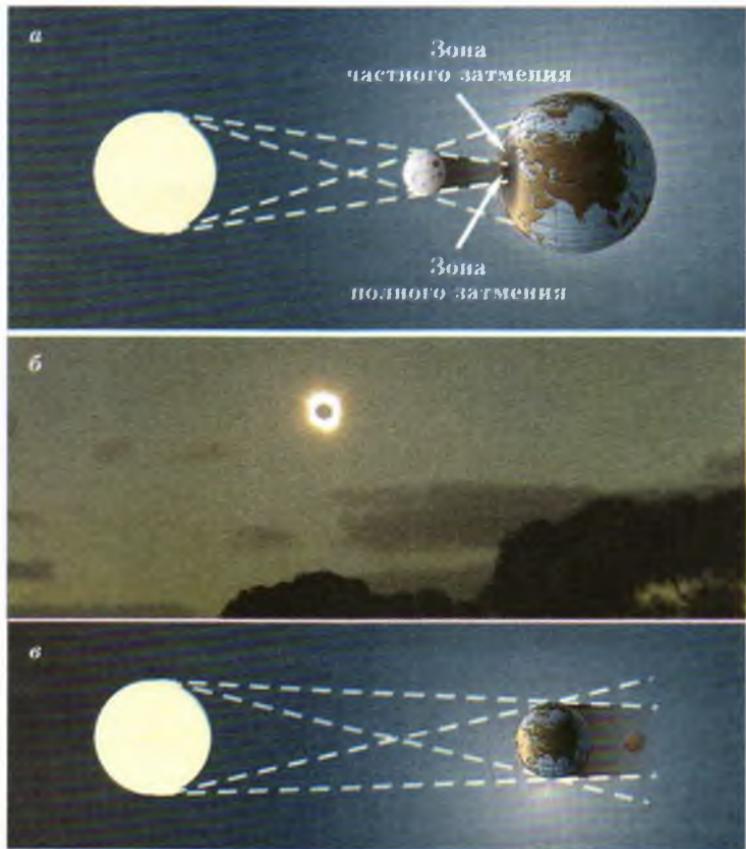


Рис. 24.4. Затмения: а — схема солнечного затмения; б — полное солнечное затмение; в — схема лунного затмения

Лунное затмение наступает тогда, когда Луна попадает в тень Земли (рис. 24.4, в). Это тоже впечатляющее зрелище: среди ночи на полную Луну довольно быстро надвигается тень Земли, закрывая Луну полностью.

Астрономы научились с большой точностью рассчитывать время наступления солнечных и лунных затмений. Причём не только вперёд во времени, но и назад, в прошлое. Благодаря этому удалось даже установить, когда произошли некоторые важные исторические события.



РАЗВИТИЕ ТЕМЫ

4. ПРИ КАКОМ ОСВЕЩЕНИИ НЕТ ТЕНЕЙ?

Во время операции руки хирурга не должны отбрасывать тени. Поэтому для освещения операционных созданы специальные бесстеневые лампы — это протяжённые источники света, при освещении которыми есть только полутени (рис. 24.5).



Рис. 24.5. Операционная, освещённая бесстеневыми лампами

5. НЕКОТОРЫЕ ЗАТМЕНИЯ В ПРОШЛОМ¹

В старину солнечные и лунные затмения вызывали ужас, потому что люди не знали их причин. Но иногда они помогали установить мир! Вот самый знаменитый пример.

¹ Для изучения в ознакомительном плане.

Астрономы рассчитали, что 28 мая 585 г. до нашей эры в Малой Азии (территория нынешней Турции) было полное солнечное затмение. Согласно свидетельствам историков, это было первое в истории затмение, заранее предсказанное учёным¹. Так историки в союзе с астрономами смогли установить точную дату знаменитого сражения (между мидийцами и лидийцами): оно произошло как раз во время предсказанного затмения. Испуганные затмением воины прекратили битву, и после пятилетней войны было заключено перемирие.

А почти через 170 лет после этого лунное затмение помогло жителям древнегреческого города Сиракузы уничтожить афинское войско. После неудачной осады Сиракуз афиняне решили снять осаду. Ночью, при свете полной луны, они стали грузиться на корабли — и как раз в это время началось лунное затмение! «Исчезновение» Луны испугало афинян, и среди них началась паника. Тогда воины Сиракуз, меньше подверженные суевериям, полностью разбили афинское войско.

ЧТО МЫ УЗНАЛИ

- В вакууме (пустоте) и в однородной среде свет распространяется прямолинейно.
- Физической моделью узкого пучка света является луч света — линия, вдоль которой распространяется свет. Раздел оптики, который изучает ход лучей света, называют геометрической оптикой.
- При освещении предмета точечным источником света образуется резкая тень, а при освещении протяжённым источником света — тень и полутень.
- Солнечное затмение наступает тогда, когда Луна оказывается между Солнцем и Землёй, в результате чего тень Луны падает на поверхность Земли.
- Лунное затмение наступает тогда, когда Луна попадает в тень Земли.

¹ Затмение предсказал древнегреческий учёный Фалес (с его именем вы встречались в курсе геометрии).



ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ

Первый уровень

- Объясните, благодаря чему можно увидеть пучок света со стороны.
- Расскажите, как распространяется свет в вакууме и в однородной среде, и приведите соответствующие примеры.
- Какой раздел оптики называют геометрической оптикой? Чем обусловлено такое название?
- Расскажите, где и как используют прямолинейность распространения света.
- Объясните, почему при освещении предмета точечным источником света образуется тень с чёткими границами.
- Объясните, почему при освещении предмета протяжённым источником света образуются тень и полутень.
- Сравните полное и частное солнечные затмения: что у них общего и чем они различаются?

Второй уровень

- Объясните, почему во время полного солнечного затмения Луна закрывает Солнце, хотя Луна во много раз меньше Солнца.
- Выполните соотношение, которое связывает диаметры Солнца и Луны с расстояниями от Земли до Солнца и до Луны, используя тот факт, что Луна во время полного солнечного затмения закрывает Солнце.
- Сравните солнечное и лунное затмения: что у них общего и чем они различаются?
- Опишите, как создать освещение, при котором не возникает теней; приведите пример такого освещения.



ДОМАШНЯЯ ЛАБОРАТОРИЯ

1. Сделайте пучок света «видимым» со стороны. Для этого в затемнённой комнате пропустите свет сквозь узкую щель или небольшое отверстие ибросьте в освещённую область немного мела или пудры. Попробуйте убедиться на этом опыте в прямолинейности распространения света.

2. Проверьте прямолинейность линейки, края стола, края книги, используя прямолинейность распространения света (см. рис. 24.2).

3. Отодвигая руку от лампы, наблюдайте за чёткостью тени, которую отбрасывает рука на стену. Какую закономерность вы заметили? Как её объяснить?

§ 25.

ОТРАЖЕНИЕ СВЕТА

1. Почему мы видим предметы?
2. Зеркальное отражение
3. Диффузное (рассеянное) отражение
4. Как Архимед сжёг корабли римлян

1. ПОЧЕМУ МЫ ВИДИМ ПРЕДМЕТЫ?

Большинство предметов мы видим благодаря тому, что они *отражают* падающий на них свет. Мы видим мир разнообразным и разноцветным потому, что предметы отражают свет по-разному.

Предмет, который отражает почти весь падающий на него свет, обычно кажется нам белым. Но не всегда! Например, зеркала прекрасно отражают свет, но белыми нам не кажутся.

Предмет, который поглощает почти весь падающий на него свет, кажется нам чёрным.

А предметы, которые отражают только часть падающего на них света, мы видим, например, красными, синими или зелёными. Почему так происходит, мы расскажем в § 31. *Цвет.*

2. ЗЕРКАЛЬНОЕ ОТРАЖЕНИЕ

Выясним на опыте, как отражаются лучи¹ света от зеркала.



ПОСТАВИМ ОПЫТ

Проведём на прямоугольном куске картона отрезок, перпендикулярный одной из сторон. Поставим картон перпендикулярно зеркалу, тогда этот отрезок будет *перпендикуляром к зеркалу* (рис. 25.1).

Если направить вдоль картона луч лазерного фонарика так, чтобы он упал на зеркало там, где находится основание проведённого перпендикуляра, то и отражённый луч будет идти вдоль картона. Это означает, что

отражённый от зеркала луч лежит в одной плоскости с падающим лучом и перпендикуляром, проведённым в точку падения луча.

Это — *первый закон отражения света*.

¹ Считая пучки света достаточно узкими, мы будем называть их лучами.

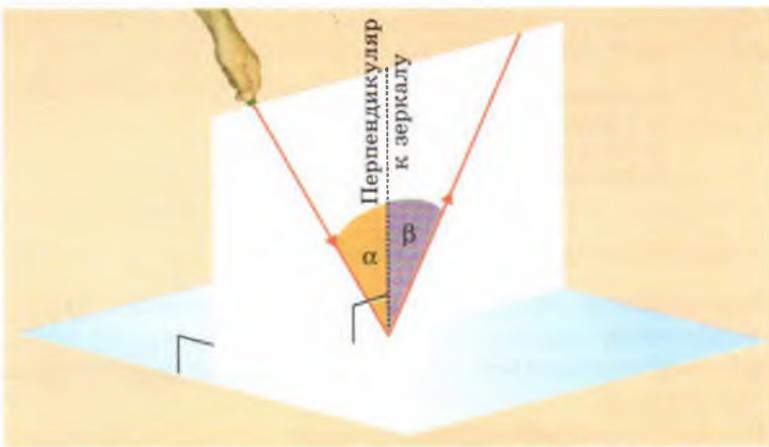


Рис. 25.1. Отражение луча света от зеркала: α — угол падения луча, β — угол отражения луча

Угол между падающим лучом и *перпендикуляром* к зеркалу называют *углом падения* луча и обозначают греческой буквой α (альфа) (рис. 25.1). А угол между отражённым лучом и *перпендикуляром* к зеркалу называют *углом отражения* и обозначают β (бета).

Обратите внимание: углы падения и отражения лучей *отсчитывают от перпендикуляра к зеркалу*.



ПОСТАВИМ ОПЫТ

Соотношение между углом падения и углом отражения можно установить с помощью *оптического диска* (рис. 25.2, а).

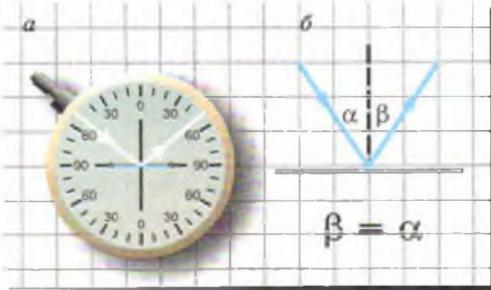


Рис. 25.2. Угол отражения равен углу падения

Поставив несколько опытов, мы увидим (рис. 25.2, б), что $\beta = \alpha$. Следовательно,

при отражении от зеркала угол отражения равен углу падения.

Это — *второй закон отражения света*.

? Угол падения луча равен 20° . Чему равен угол между падающим и отражённым лучами?

Чему равен угол падения луча, если отражённый луч перпендикулярен падающему?

Солнечные лучи направлены под углом 30° к горизонту. Чему равен при этом угол падения лучей на горизонтальное зеркало?

Подсказка: см. рис. 25.3.

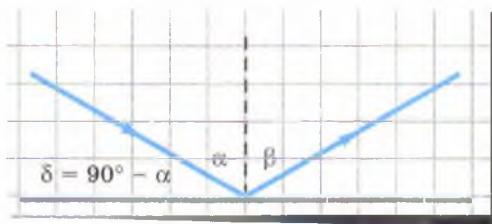


Рис. 25.3. Угол δ между лучом и горизонтальной плоскостью и угол падения луча α составляют в сумме 90°

Рассмотренное выше отражение света называют *зеркальным*. Свет отражается зеркально от очень гладкой поверхности, например от зеркала или спокойной поверхности воды (рис. 25.4, а). При зеркальном отражении параллельный пучок лучей и после отражения остаётся параллельным (рис. 25.4, б).

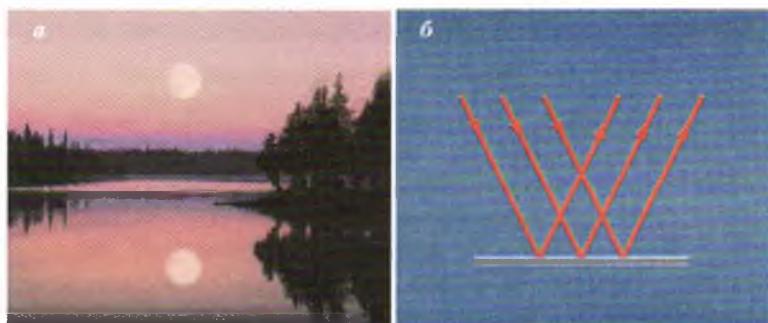


Рис. 25.4. Зеркальное отражение

Если направить падающий луч вдоль отражённого, то отражённый луч пойдёт вдоль падающего (25.5, а, б). Это называют *обратимостью хода световых лучей*.

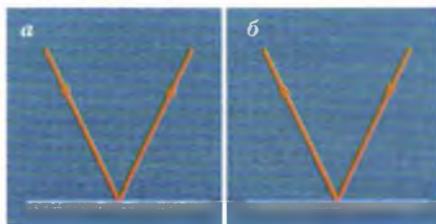


Рис. 25.5. Обратимость хода световых лучей

3. ДИФФУЗНОЕ (РАССЕЯННОЕ) ОТРАЖЕНИЕ



ПОСТАВИМ ОПЫТ

Направим луч света на *шероховатую* поверхность, например на лист бумаги (не глянцевой). Вместо *одного* отражённого луча мы увидим теперь освещённое пятнышко, которое видно с *любой стороны*. Это означает, что после отражения от шероховатой поверхности свет распространяется *в разные стороны*. Такое отражение света называют *диффузным*¹ или *рассеянным*. Наглядной его моделью служит «лунная дорожка» на море (рис. 25.6, а).

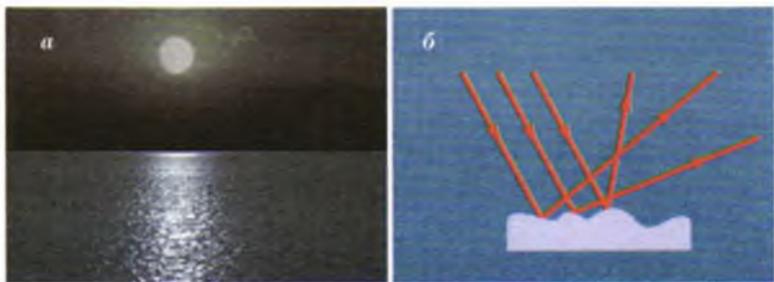


Рис. 25.6. Диффузное (рассеянное) отражение

При диффузном отражении параллельный пучок лучей после отражения перестаёт быть параллельным: отражённые лучи направлены в *разные стороны* (рис. 25.6, б).

Большинство окружающих нас предметов мы видим потому, что они отражают свет *диффузно*. Глядя же на зеркало, мы видим не само зеркало, а *отражения других предметов* в этом зеркале. В следующем параграфе мы рассмотрим это подробно.

¹ От латинского «диффузио» — распространение, растекание.



РАЗВИТИЕ ТЕМЫ

4. КАК АРХИМЕД СЖЁГ КОРАБЛИ РИМЛЯН

В 3-м веке до нашей эры римляне осадили город Сиракузы, в котором жил тогда древнегреческий учёный Архимед. Сохранились свидетельства, что Архимед с помощью зеркала (или системы зеркал) сжёг корабли римлян, направив на них свет Солнца.

В 20-м веке рассказ о зеркалах Архимеда решили проверить на опыте. С помощью нескольких десятков больших зеркал солнечный свет направили на деревянный макет корабля в натуральную величину. Через несколько минут показался дым, а затем вспыхнуло пламя!

ЧТО МЫ УЗНАЛИ

- Большинство предметов мы видим благодаря тому, что они отражают свет.
- Угол между падающим лучом и перпендикуляром к зеркалу называют углом падения луча, а угол между отражённым лучом и перпендикуляром к зеркалу — углом отражения.
- Законы отражения света: 1) отражённый от зеркала луч лежит в одной плоскости с падающим лучом и перпендикуляром, проведённым в точку падения луча; 2) при отражении от зеркала угол отражения равен углу падения.
- При зеркальном отражении параллельный пучок лучей остается параллельным и после отражения.
- От шероховатой поверхности свет отражается диффузно (рассеянно). Большинство окружающих нас предметов мы видим потому, что они отражают свет диффузно.



ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ

Первый уровень

1. Объясните, благодаря чему мы видим предметы, не являющиеся источниками света.
2. Сделайте в тетради схематический рисунок, изображающий отражение луча света, и укажите на нём угол падения и угол отражения луча.
3. Расскажите о законах отражения света.

- Чему равен угол между падающим и отражённым лучами, если угол отражения равен 20° ?
- Сравните диффузное и зеркальное отражения: что у них общего и чем они различаются?
- Объясните, почему параллельный пучок лучей остаётся параллельным после зеркального отражения.

Второй уровень

- Как изменится угол между падающим и отражённым лучом, если угол падения увеличить на 5° ?
- Угол падения увеличили на 10° , вследствие чего угол отражения увеличился в 3 раза. Каким был первоначально угол падения?
- Падающий луч перпендикулярен плоскости раздела сред. Чему равен в этом случае угол отражения?
- Объясните, что означает обратимость хода лучей при зеркальном отражении.
- Составьте задачу по теме «Отражение света», ответом которой было бы $<40^\circ$.



ДОМАШНЯЯ ЛАБОРАТОРИЯ

Посмотрите кругом: какие из окружающих вас предметов отражают свет зеркально, а какие — диффузно (рассеянно)? Попробуйте на ощупь поверхность этих предметов. Какую закономерность вы заметили?

§ 26. ИЗОБРАЖЕНИЕ В ЗЕРКАЛЕ¹

- Где находится изображение предмета в зеркале?
- Как возникает изображение в зеркале?
- Где и как применяют зеркала?
- Что зеркало меняет местами?
- Сколько изображений могут дать два зеркала?

1. ГДЕ НАХОДИТСЯ ИЗОБРАЖЕНИЕ ПРЕДМЕТА В ЗЕРКАЛЕ?



ПОСТАВИМ ОПЫТ

Укрепим вертикально на столе красный и синий карандаши одинакового размера, а точно посередине между ними перпенди-

¹ Для краткости здесь и далее будем использовать выражения «изображение в зеркале» и «изображение в линзe», имея в виду изображения, создаваемые зеркалом или линзой.

кулярно отрезку, соединяющему основания карандашей, поставим вертикально небольшое зеркало (рис. 26.1, а). Мы увидим, что синий карандаш за зеркалом совпадает с изображением красного карандаша в зеркале (рис. 26.1, б).

Это означает, что

изображение предмета в зеркале находится на таком же расстоянии от зеркала, что и сам предмет, причём размер изображения равен размеру предмета.

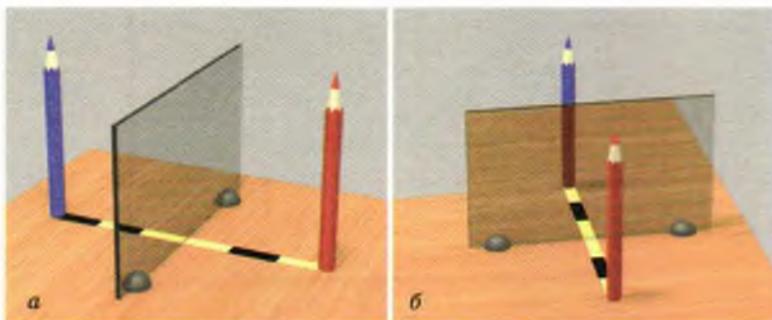


Рис. 26.1. Изучение свойств изображения, даваемого зеркалом

? Человек отошёл от зеркала на 1 м. Как изменилось расстояние между человеком и его изображением в зеркале? Изменился ли при этом размер изображения?

2. КАК ВОЗНИКАЕТ ИЗОБРАЖЕНИЕ В ЗЕРКАЛЕ?

Для ответа на этот вопрос заметим сначала, что изображение предмета состоит из изображений его точек. Поэтому построим изображение *одной точки*.

Построим ход нескольких лучей, исходящих из точечного источника света S и отражённых от зеркала, используя при этом законы отражения света (рис. 26.2, а).

Если продлить теперь отражённые лучи за зеркало, то есть начертить *продолжения*¹ этих лучей, то они пересекутся в точке S' . Поэтому отражённые от зеркала лучи будут *казаться* исходящими из точки S' , расположенной *по другую сторону зеркала* (рис. 26.2, б). По этой причине точку S' называют *изображением* точки S .

¹ Продолжения лучей, в отличие от самих лучей, изображают пунктиром и не ставят на них стрелок, указывающих направление.

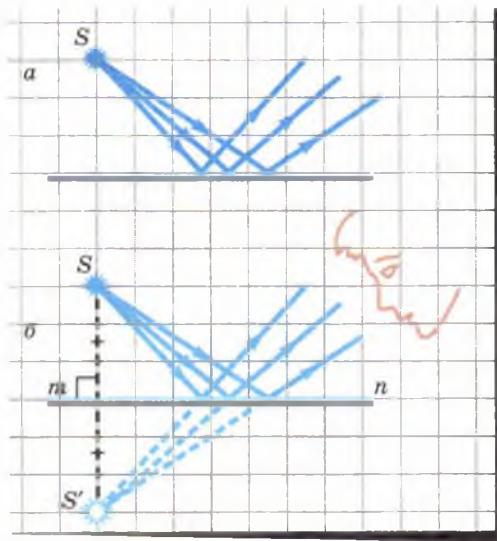


Рис. 26.2. Объяснение того, как возникает изображение точки в зеркале

Чтобы определить, где находится изображение точки, перенём мысленно наш чертёж по линии зеркала (прямая tp на рис. 26.2, б). При этом (вследствие того, что угол отражения равен углу падения) продолжения лучей совпадут с лучами, исходящими из точечного источника S . Следовательно, совпадут и точки S' и S . А это означает, что

точка и её изображение в зеркале находятся на одной прямой, перпендикулярной зеркалу, и на одинаковых расстояниях от зеркала (см. рис. 26.2, б).

Теперь понятно, почему изображение предмета находится на таком же расстоянии от зеркала, что и сам предмет.

МНИМЫЕ И ДЕЙСТВИТЕЛЬНЫЕ ИЗОБРАЖЕНИЯ

Обратите внимание: в точке, которая является изображением точечного источника в зеркале, пересекаются не сами лучи, а их продолжения.

Изображение, образованное не самими лучами, а их продолжениями, называют **мнимым**.

Такое название обусловлено тем, что, глядя в зеркало, мы мысленно продолжаем за зеркало ход отражённых им лучей и поэтому воображаем (*мним*), что видим предметы за зеркалом. Однако изображение предмета в зеркале отличается все-таки от самого предмета (см. пункт «Что зеркало меняет местами?»).

| *Действительным* называют изображение, образованное самими лучами.

Только такое изображение можно получить на экране (например, на киноэкране). С действительными изображениями мы познакомимся в § 29. *Изображения, даваемые линзами*.



РЕШИМ ЗАДАЧИ

- Построим в зеркале изображение предмета, заданного в виде стрелки AB (рис. 26.3).

Решение. Построим изображения A' и B' концов стрелки. Для этого проведем перпендикуляры от каждой из этих точек к зеркалу и продлим его на расстояние от точки до зеркала (рис. 26.4). Тогда стрелка $A'B'$ будет изображением стрелки AB . Оно показано пунктиром — так обозначают на чертежах мнимые изображения.

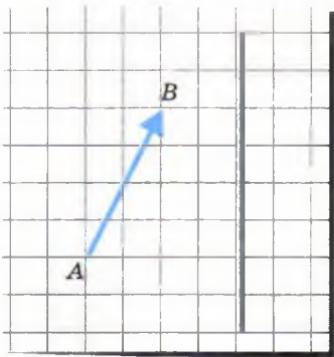


Рис. 26.3. К условию задачи 1

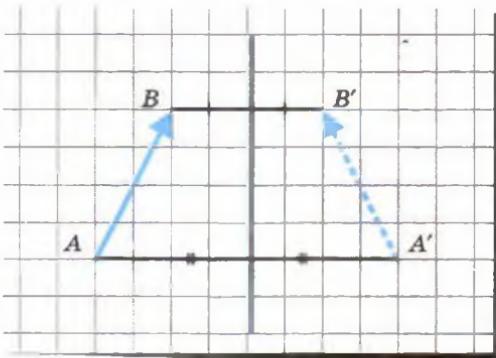


Рис. 26.4. К решению задачи 1

2. Какова должна быть высота укреплённого на стене зеркала, чтобы человек ростом 1,6 м видел своё изображение в зеркале полностью?

Решение. Мы уже знаем, что изображение человека в зеркале находится на таком же расстоянии от зеркала, что и сам человек, а длина изображения человека равна росту человека. Исходя из этого, строим изображение человека (рис. 26.5).

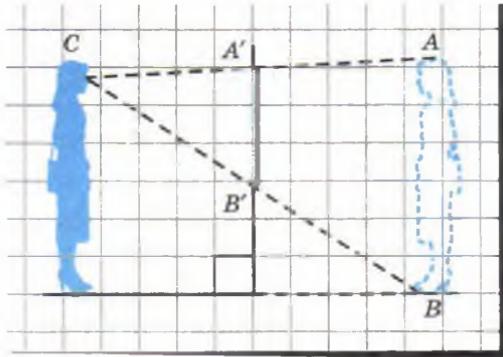


Рис. 26.5. К решению задачи 2

Из построения видно, что человек будет видеть своё изображение полностью, если высота зеркала не меньше половины роста человека.

Ответ: не менее 80 см.



Рис. 26.6. Самое распространённое применение зеркала

3. ГДЕ И КАК ПРИМЕНЯЮТ ЗЕРКАЛА?

Каждый из нас смотрится в зеркало хотя бы раз в день, а представительницы прекрасной половины человечества любуются собою по много раз на дню (рис. 25.6).

В технике и медицине зеркала используют для различных осмотров (рис. 26.7, а). В подводных лодках используют перископы (рис. 26.7, б) — с их помощью из под воды можно видеть, что происходит над поверхностью воды.



Рис. 26.7. Различное применение зеркал

Используя зеркала, водитель автомобиля, не поворачивая головы, может видеть дорогу сзади, а также салон своего автомобиля (рис. 26.7, *в*).



РАЗВИТИЕ ТЕМЫ

4. ЧТО ЗЕРКАЛО МЕНЯЕТ МЕСТАМИ?

Протяните своему зеркальному отражению правую руку, и вы увидите, что оно в ответ «протянет» вам левую. Таким образом, при отражении в зеркале «левое» и «правое» меняются местами (рис. 26.8, *а*). Рассмотрите внимательно своё изображение в зеркале и найдите, чем ваш «двойник» отличается от вас (обратите внимание на причёску, расположение пуговиц, родинки и пр.).

? Может ли зеркало менять местами верх и низ? Для ответа на этот вопрос воспользуйтесь рис. 26.8, *б*.

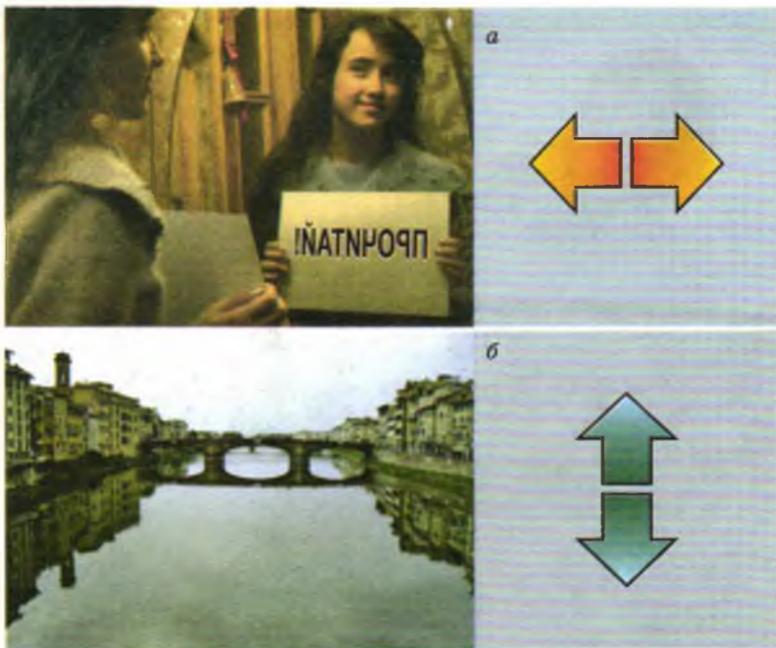


Рис. 26.8. Что зеркало меняет местами?

5. СКОЛЬКО ИЗОБРАЖЕНИЙ МОГУТ ДАТЬ ДВА ЗЕРКАЛА?



ПОСТАВИМ ОПЫТЫ

Поставьте перед собой два зеркала под прямым углом друг к другу. На стыке зеркал вы увидите своё изображение. Это не обычное изображение: чтобы убедиться в этом, протяните ему правую руку — оно в ответ «протянет» вам тоже *правую* (рис. 26.9, а)!

Дело в том, что это изображение — результат отражения лучей света от *двух* зеркал. В результате двойного отражения лево и право поменялись местами *дважды*, вот почему левое осталось левым, а правое — правым.

Поставьте теперь зеркала под углом 60° . Тогда вследствие многократных отражений вы увидите 5 изображений, причём «левые» и «правые» изображения будут строго чередоваться (рис. 26.9, б). Именно так устроен калейдоскоп, знакомый многим с детства. На рис. 26.9, в вы видите один из бесконечного

множества красивых узоров, которые можно увидеть с помощью калейдоскопа.

Если же поместить предмет между двумя параллельными зеркалами, то в них возникнет бесконечно много изображений предмета, хотя рассмотреть удаётся лишь два-три десятка (рис. 26.9, г). А если чуть повернуть одно из зеркал, то вереница изображений станет описывать красивую дугу (рис. 26.9, д).



Рис. 26.9. Изображения, которые могут дать два зеркала

ЧТО МЫ УЗНАЛИ

- Даваемое зеркалом изображение предмета находится на таком же расстоянии от зеркала, что и сам предмет.
- Размер изображения предмета в зеркале равен размеру самого предмета.
- Точка и её изображение находятся на одной прямой, перпендикулярной зеркалу, и на одинаковых расстояниях от зеркала.
- Мнимое изображение точки образовано пересечением продолжений лучей, а действительное изображение — пересечением самих лучей.
- Изображение предметов в зеркале является мнимым.



ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ

Первый уровень

1. Человек приближается к зеркалу. Как при этом движется изображение человека в зеркале — приближается к нему или удаляется от него?
2. Предмет находится на расстоянии 2 м от зеркала. На каком расстоянии от зеркала находится изображение этого предмета?
3. Расскажите, как возникает изображение в зеркале, сделайте поясняющий чертёж.
4. Сравните предмет и его изображение в зеркале: что у них общего и чем они различаются?
5. Объясните, почему изображение в зеркале мнимое.
6. Расскажите о применении зеркал.
7. Объясните действие перископа, используя рис. 26.7, б.

Второй уровень

8. Объясните, почему изображения предметов, расположенных перед зеркалом, мы видим за зеркалом.
9. Докажите, используя закон отражения света, что изображение предмета находится на таком же расстоянии от зеркала, что и сам предмет.
10. Человек стоит перед вертикально расположенным зеркалом. Постройте изображение человека в этом зеркале.

- Какие буквы русского и латинского алфавитов не изменяются при отражении в зеркале? Рассмотрите случаи, когда зеркало расположено вертикально и горизонтально.
- Поясните, как возникают изображения в двух зеркалах, используя рис. 26.9.
- Что зеркало меняет местами? Подтвердите свой ответ примерами.
- Составьте задачу по теме «Изображение в зеркале», ответом которой было бы «2 м».



ДОМАШНЯЯ ЛАБОРАТОРИЯ

Повторите дома опыты, описанные в этом параграфе.

§ 27. ПРЕЛОМЛЕНИЕ СВЕТА

- Наблюдения и простые опыты
- Законы преломления света
- Прохождение света сквозь плоскопараллельную пластинку
- Прохождение света сквозь одну и две призмы

1. НАБЛЮДЕНИЯ И ПРОСТЫЕ ОПЫТЫ



ПОСТАВИМ ОПЫТЫ

Если посмотреть на частично погруженный в воду карандаш, он кажется сломанным на границе «воздух — вода» (рис. 27.1, а). А если смотреть на текст сквозь стеклянную пластинку, он кажется приподнятым (рис. 27.1, б).



Рис. 27.1. Наблюдение преломления света

И то и другое объясняется тем, что при переходе из воды или стекла в воздух лучи света *изменяют направление*.

Изменение направления лучей света при переходе из одной прозрачной среды¹ в другую называют *преломлением света*.

Следующий опыт покажет, как при этом изменяется направление луча.



ПОСТАВИМ ОПЫТ

Положите монету на дно пустой чашки. Выберите такое положение головы, чтобы, когда вы смотрите на чашку, её край полностью закрывал монету (рис. 27.2, а). Теперь, не меняя положения головы, налейте в чашку воды. Вы увидите, что монета как будто «всплыла» (рис. 27.2, б)!

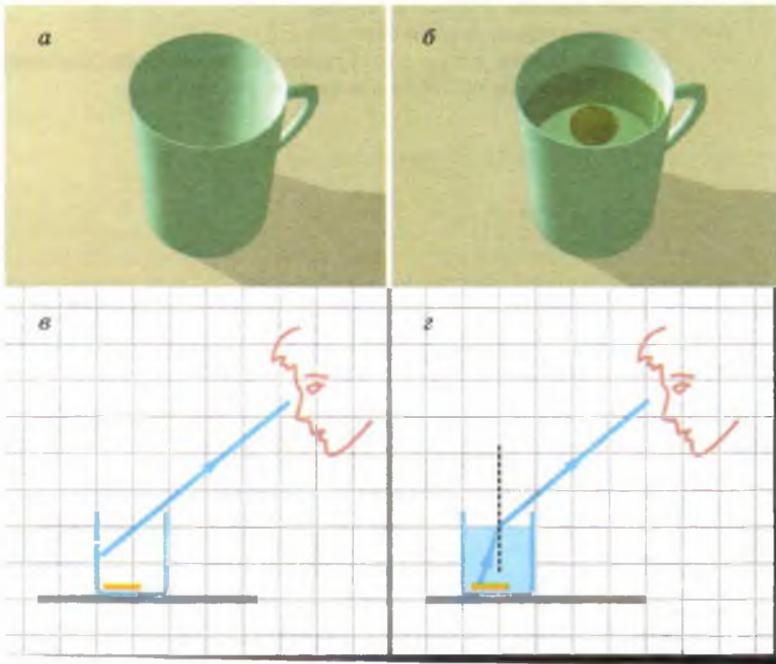


Рис. 27.2. «Всплытие» монеты

¹ Средой называют вещество, заполняющее некоторое пространство. Примерами прозрачных сред являются воздух, вода и стекло.

Объяснение этому опыту приведено на рис. 27.2, в, г. Здесь схематически изображён ход луча, идущего в глаз наблюдателя, когда в чашке нет воды и когда в чашку налита вода. Можно заметить, что после наливания воды монета становится видимой по той причине, что при переходе из воды в воздух направление луча света изменяется так, что *луч отклоняется от перпендикуляра к поверхности воды* (этот перпендикуляр показан пунктиром).

2. ЗАКОНЫ ПРЕЛОМЛЕНИЯ СВЕТА



ПОСТАВИМ ОПЫТ

Проведём на плоском листе пластика отрезок и опустим пластик в воду так, чтобы этот отрезок был перпендикулярен к поверхности воды (рис. 27.3).

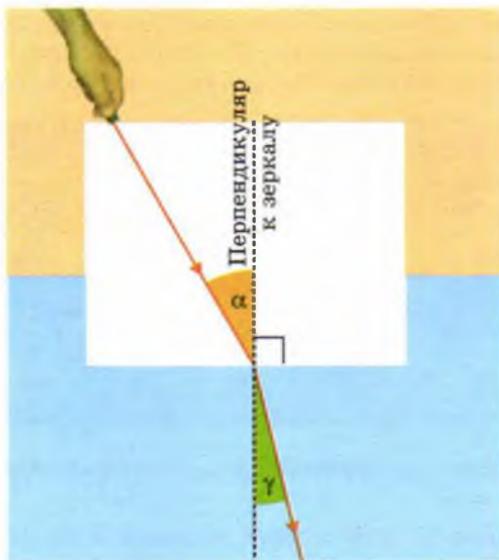


Рис. 27.3. Преломление луча на границе «воздух — вода»: α — угол падения луча, γ — угол преломления луча

Направим вдоль пластика луч лазерного фонарика так, чтобы луч упал на поверхность воды там, где находится основание проведённого перпендикуляра. Мы увидим, что преломлённый луч идёт также вдоль пластика.

Это означает, что

преломлённый луч лежит в одной плоскости с падающим лучом и перпендикуляром, проведённым в точку падения луча.

Это — *первый закон преломления света*.

Угол между преломлённым лучом и *перпендикуляром* к границе раздела двух сред называют *углом преломления* (рис. 27.3). Угол преломления часто обозначают греческой буквой γ (гамма).

ПОСТАВИМ ОПЫТ

Соотношение между углом падения и углом преломления можно установить с помощью уже знакомого нам оптического диска, пропуская луч света сквозь стеклянный полуцилиндр (рис. 27.4).

Мы увидим¹, что при переходе из воздуха в стекло угол преломления *меньше* угла падения (рис. 27.4, а), а при переходе из стекла в воздух угол преломления *больше* угла падения (рис. 27.4, б).

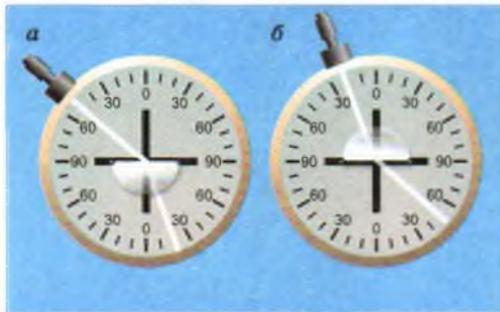


Рис. 27.4. Изучение преломления света с помощью оптического диска

Соотношение между углами падения и преломления устанавливает *второй закон преломления света*, с которым вы познакомитесь в курсе физики старших классов.

Забегая вперёд, скажем только, что

преломление света обусловлено тем, что скорость света в различных средах различна.

¹ Падающий луч будет частично отражаться от стеклянного полуцилиндра. Отражённый луч на рисунке не изображён, чтобы его не загромождать.

Например, при переходе из воздуха в стекло угол преломления меньше угла падения потому, что скорость света в стекле меньше, чем в воздухе.



РАЗВИТИЕ ТЕМЫ

3. ПРОХОЖДЕНИЕ СВЕТА СКВОЗЬ ПЛОСКОПАРАЛЛЕЛЬНУЮ ПЛАСТИНКУ

Для изучения преломления света можно использовать также плоскопараллельную пластинку, подобную изображённой на рис. 27.5, а.



ПОСТАВИМ ОПЫТ

Направим луч света на грань пластинки так, как показано на рис. 27.5, б. Проходя сквозь пластинку, луч испытает преломление дважды: при переходе из воздуха в стекло и при переходе из стекла в воздух. В результате произойдёт сдвиг луча, но его направление не изменится.

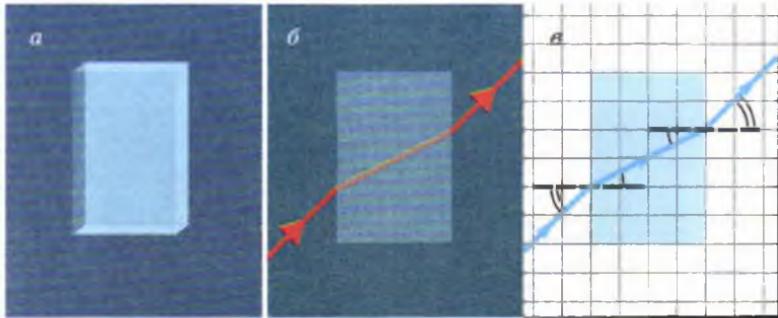


Рис. 27.5. Прохождение света сквозь плоскопараллельную пластинку

Объяснение этому опыту приведено на схеме (рис. 27.5, в). Мы видим, что направление луча не изменилось благодаря тому, что противоположные грани пластинки *параллельны*.

4. ПРОХОЖДЕНИЕ СВЕТА СКВОЗЬ ОДНУ И ДВЕ ПРИЗМЫ

Рассмотрим теперь прохождение луча света сквозь треугольную стеклянную *призму*. Обычно используют приз-

му, в основании которой равнобедренный треугольник (рис. 27.6, а).

ПОСТАВИМ ОПЫТ

Направим луч света на одну из боковых граней призмы¹ так, чтобы он вышел через другую боковую грань (рис. 27.6, б). В этом случае луч также испытает преломление дважды, но теперь направление луча изменится: он отклонится к третьей боковой грани призмы.

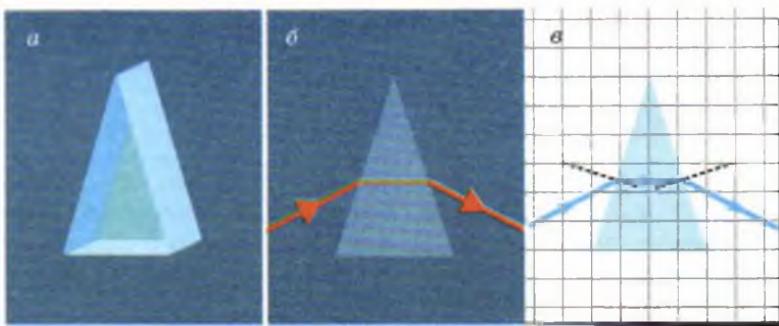


Рис. 27.6. Отклонение луча света призмой

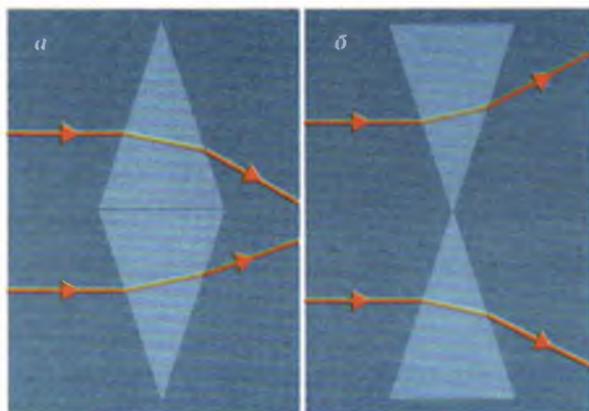


Рис. 27.7. Параллельные лучи света после преломления в двух призмах:
а) сходятся; б) расходятся

¹ В дальнейшем (см. § 31. Цвет) мы увидим, что стеклянная призма не только отклоняет лучи света, но и разлагает белый свет в цветной спектр.

Схема на рис. 27.6, в даёт объяснение этому опыту: направление луча изменилось потому, что грани призмы, через которые проходит луч, *не параллельны*.

Опыт с призмой показывает, что, *изменяя форму прозрачного тела, можно управлять ходом лучей света*. Например, на рис. 27.7 схематически показано, как с помощью двух призм можно превратить параллельные лучи в сходящиеся или расходящиеся. Это наблюдение окажется полезным при изучении следующего параграфа.

ЧТО МЫ УЗНАЛИ

- При переходе через границу двух прозрачных сред (например, воды и воздуха, воздуха и стекла) лучи света изменяют направление. Это явление называют преломлением света.
- Преломление света обусловлено тем, что скорость света в разных средах различна.
- Углом преломления называют угол между преломлённым лучом и перпендикуляром к границе раздела двух сред.
- Первый закон преломления света: преломлённый луч лежит в одной плоскости с падающим лучом и перпендикуляром, проведённым в точку падения луча.
- При переходе из воздуха в стекло или воду угол преломления меньше угла падения, а при переходе из стекла или воды в воздух угол преломления больше угла падения.
- При прохождении луча света сквозь плоскопараллельную пластинку направление луча не изменяется.
- При прохождении параллельных лучей света через две призмы лучи могут стать сходящимися или расходящимися — в зависимости от расположения призм.



ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ

Первый уровень

1. Объясните, почему частично погруженный в воду карандаш кажется сломанным (см. рис. 27.1).
2. Опишите преломление света. Когда происходит это явление?

- Сделайте в тетради схематический чертёж преломления луча света на границе двух сред и укажите на нём углы падения и преломления.
- Луч света идёт из воздуха в воду. Какой угол больше — угол падения или угол преломления? Изменится ли ответ, если луч идёт из воды в воздух?

Второй уровень

- Сравните явления преломления и отражения света: что у них общего и чем они различаются?
- Чем обусловлено явление преломления света?
- Когда вы смотрите на дно моря или реки, оно кажется ближе, чем на самом деле. Как объяснить этот опасный «оптический обман»?
- Объясните, почему после прохождения сквозь стеклянную плоскопараллельную пластинку луч света сохраняет своё направление.
- Поясните с помощью чертежа, почему луч света отклоняется, проходя сквозь стеклянную призму.



ДОМАШНЯЯ ЛАБОРАТОРИЯ

- Опустите карандаш или ложку в стакан с водой и убедитесь, что карандаш (ложка) как бы ломается на границе «воздух — вода».
- Поставьте опыт с «всплыванием» монеты (см. рис. 27.2).

§ 28. ЛИНЗЫ

- Типы линз и элементы линзы
- Фокусы линз
- Как измерить фокусное расстояние собирающей линзы?
- Ход луча, идущего через оптический центр линзы
- Обратимость хода лучей в применении к линзам

1. ТИПЫ ЛИНЗ И ЭЛЕМЕНТЫ ЛИНЗЫ

ТИПЫ ЛИНЗ

Каждому знакомы «увеличительные» и «уменьшительные» стёкла (рис. 28.1, а, б).

Такие стёкла называют *линзами*. Слово «линза» происходит от латинского названия чечевицы, её зёрна изображены

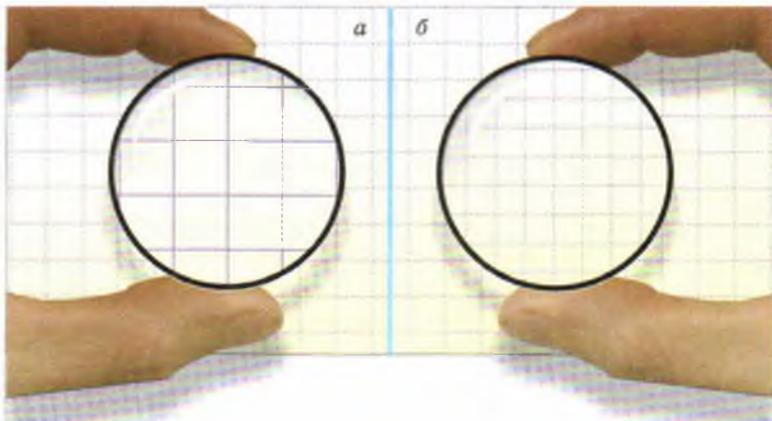


Рис. 28.1. «Увеличительное» стекло (а); «уменьшительное» стекло (б)

на рис. 28.2. Мы видим, что их форма действительно напоминает форму «увеличительных» стёкол.

«Увеличительные» стёкла в центре толще, чем по краям, поэтому такие линзы называют *выпуклыми*. А «уменьшительные» стёкла посередине тоньше, чем у краёв, поэтому такие линзы называют *вогнутыми*. На рис. 28.3 схематически изображены в разрезе различные виды выпуклых и вогнутых линз¹.



Рис. 28.2. Зёрна чечевицы

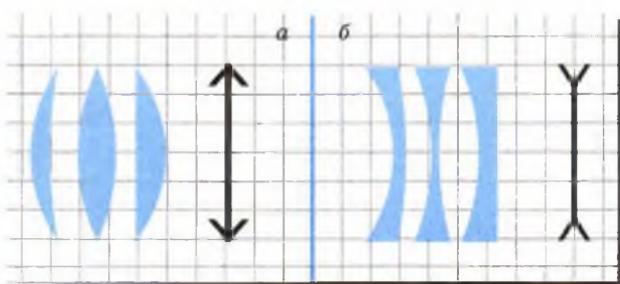


Рис. 28.3. Линзы в разрезе и их условные обозначения: а — выпуклые линзы; б — вогнутые линзы

¹ Выпуклые и вогнутые поверхности линз являются обычно частями поверхности шара, поэтому такие линзы называют *сферическими* (напомним, что сферой называют поверхность шара).

ЭЛЕМЕНТЫ ЛИНЗЫ

Если толщина линзы намного меньше других её размеров, то линзу называют *тонкой*. Мы будем рассматривать только тонкие линзы. Для таких линз можно считать, что вся линза находится в одной плоскости. Её называют *плоскостью линзы* (рис. 28.4).

Точку плоскости линзы, соответствующую максимальной толщине для выпуклой линзы или минимальной толщине для вогнутой, называют *оптическим центром линзы* (рис. 28.4, а, б). Через центр линзы перпендикулярно её плоскости проходит *главная оптическая ось линзы*.



Рис. 28.4. Основные элементы линзы: а — выпуклая линза; б — вогнутая линза

2. ФОКУСЫ ЛИНЗ



ПОСТАВИМ ОПЫТ

Если направить на выпуклую линзу параллельный пучок света, то после преломления в линзе он станет *сходящимся*. Поэтому такую линзу называют *собирающей* (рис. 28.5, а).

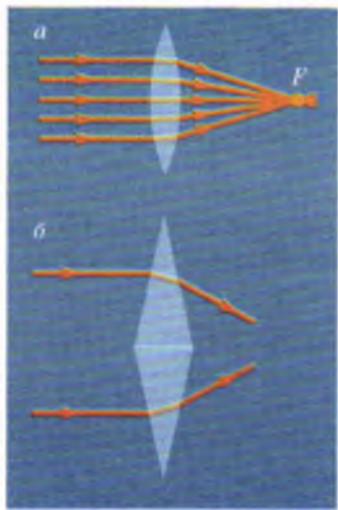


Рис. 28.5. Ход параллельных лучей, падающих на собирающую линзу и две призмы

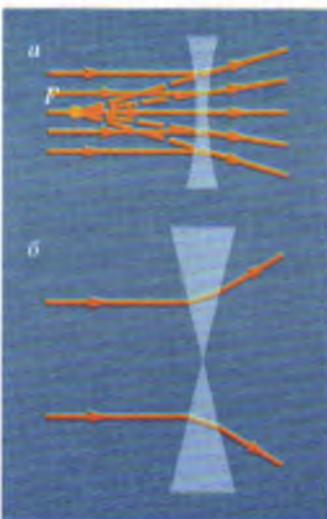


Рис. 28.6. Ход параллельных лучей, падающих на рассеивающую линзу и две призмы

Собирающеее свойство выпуклой линзы легко понять, сравнив ход лучей в такой линзе с ходом лучей в двух призмах (рис. 28.5, б).

Точку, в которой после преломления в собирающей линзе пересекаются лучи, падающие на линзу параллельно главной оптической оси, называют *фокусом линзы* и обозначают буквой *F*.

Расстояние от плоскости линзы до её фокуса называют *фокусным расстоянием линзы* и также обозначают *F*.

У каждой собирающей линзы есть два фокуса, расположенные на равных расстояниях от линзы по разные стороны от неё.



ПОСТАВИМ ОПЫТ

Если направить параллельный пучок лучей на *вогнутую* линзу, то после преломления в линзе пучок станет *расходящимся*. Поэтому такую линзу называют *рассеивающей* (рис. 28.6, а).

Действие рассеивающей линзы легко понять, сравнив ход лучей в такой линзе с ходом лучей в двух призмах (рис. 28.6, б).

Как мы видим, в этом случае после преломления в линзе пересекаются не сами лучи, а их *продолжения*.

Точку, в которой пересекаются продолжения преломлённых в рассеивающей линзе лучей, падающих на линзу параллельно главной оптической оси, называют *фокусом линзы* и обозначают буквой F .

Фокус рассеивающей линзы считают *мнимым*, поскольку в нём пересекаются не лучи, а их продолжения.

У каждой рассеивающей линзы тоже есть два фокуса, расположенные на равных расстояниях от линзы по разные стороны от неё.

3. КАК ИЗМЕРИТЬ ФОКУСНОЕ РАССТОЯНИЕ СОБИРАЮЩЕЙ ЛИНЗЫ?

Для этого есть несколько способов. Рассмотрим самый простой, известный многим с детства.



ПОСТАВИМ ОПЫТ

Исходящие от Солнца лучи можно считать практически параллельными. Поэтому после преломления в линзе солнечные лучи пересекутся в её фокусе: там будет очень яркая (и горячая!) точка (рис. 28.7). Расстояние от собирающей линзы до этой точки равно фокусному расстоянию линзы.

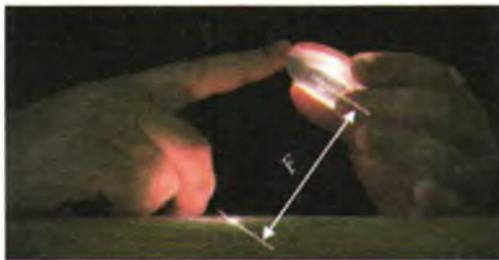


Рис. 28.7. Фокусирование солнечных лучей собирающей линзой

Для приближённого определения фокусного расстояния собирающей линзы можно сфокусировать с её помощью лучи

от любого достаточно удалённого источника света (например, от лампы на потолке).

4. ХОД ЛУЧА, ИДУЩЕГО ЧЕРЕЗ ОПТИЧЕСКИЙ ЦЕНТР ЛИНЗЫ

Всегда ли луч, проходя сквозь линзу, изменяет своё направление? Ответ на этот вопрос даст следующий опыт.



ПОСТАВИМ ОПЫТ

Если направить на любую линзу луч света так, чтобы он прошёл через её *оптический центр*, то луч *не изменит* своего направления (рис. 28.8, а, б).

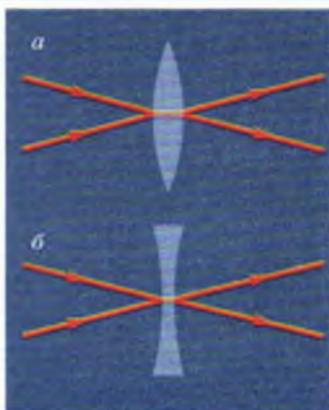


Рис. 28.8. Эти лучи, проходя сквозь линзы, не изменяют направления

Объясняется это тем, что вблизи оптического центра линзы две её поверхности почти параллельны. А мы уже знаем, что при прохождении сквозь плоскопараллельную пластинку луч света не изменяет своего направления.



РАЗВИТИЕ ТЕМЫ

5. ОБРАТИМОСТЬ ХОДА ЛУЧЕЙ В ПРИМЕНЕНИИ К ЛИНЗАМ



ПОСТАВИМ ОПЫТ

Если поместить небольшой источник света в фокус собирающей линзы, то после преломления в линзе лучи света будут идти *параллельно* главной оптической оси (рис. 28.9, а).

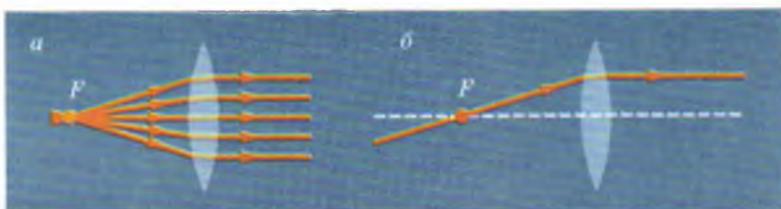


Рис. 28.9. Ход лучей, падающих на собирающую линзу и проходящих через её фокус

Следовательно, если падающий на собирающую линзу луч света проходит через её фокус, то после преломления в линзе он идёт параллельно главной оптической оси (рис. 28.9, б). Вспомним теперь, что луч, параллельный главной оптической оси, после преломления в собирающей линзе проходит через её фокус. Следовательно, обратимость хода лучей имеет место и при прохождении света сквозь линзы.

ЧТО МЫ УЗНАЛИ

- Параллельный пучок лучей после преломления в собирающей линзе становится сходящимся, а после преломления в рассеивающей линзе — расходящимся.
- Фокусом собирающей линзы называют точку, в которой после преломления в линзе пересекаются лучи, падающие на неё параллельно главной оптической оси.
- Фокусом рассеивающей линзы называют точку, в которой пересекаются продолжения преломлённых в линзе лучей, падающих на линзу параллельно главной оптической оси. Фокус рассеивающей линзы считают мнимым, поскольку в нём пересекаются не сами лучи, а их продолжения.
- У любой линзы есть два фокуса, расположенные на равных расстояниях от линзы по разные стороны от неё.
- Расстояние от плоскости линзы до её фокуса называют фокусным расстоянием линзы.
- Луч, проходящий через оптический центр линзы, не изменяет своего направления.



ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ

Первый уровень

- Сравните собирающую и рассеивающую линзы: что у них общего и чем они различаются?
- Расскажите об основных элементах линзы.
- Сравните фокус собирающей линзы с фокусом рассеивающей линзы: что у них общего и чем они различаются?
- Расскажите о том, что такое фокусное расстояние линзы.
- Опишите опыты, с помощью которых можно измерить фокусное расстояние собирающей линзы.
- Какие лучи не изменяют своего направления при прохождении сквозь линзу?

Второй уровень

- Луч, падающий на собирающую линзу, проходит через её фокус. Каким будет направление этого луча после преломления в линзе?
- Используя обратимость хода лучей, докажите, что луч света, падающий на рассеивающую линзу так, что его продолжение проходит через фокус линзы, после преломления в линзе идёт параллельно главной оптической оси.
- Составьте задачу по теме «Линзы», ответом которой было бы «Продолжение луча пройдёт через фокус линзы».



ДОМАШНЯЯ ЛАБОРАТОРИЯ

Измерьте фокусные расстояния собирающих линз, которые вам удастся найти дома.

§ 29.

ИЗОБРАЖЕНИЯ, ДАВАЕМЫЕ ЛИНЗАМИ

- Изображения, даваемые собирающей линзой
- Изображения, даваемые рассеивающей линзой
- Оптическая сила линзы
- Формула тонкой линзы

1. ИЗОБРАЖЕНИЯ, ДАВАЕМЫЕ СОБИРАЮЩЕЙ ЛИНЗОЙ

Для описанных ниже опытов понадобится собирающая линза с фокусным расстоянием 10—30 см.

ДЕЙСТВИТЕЛЬНЫЕ ИЗОБРАЖЕНИЯ

ПОСТАВИМ ОПЫТЫ



Рис. 29.1. Действительное уменьшенное перевёрнутое изображение окна

На рис. 29.1 вы видите, как с помощью собирающей линзы можно получить на экране (стене, потолке или листе бумаги) *уменьшенное изображение удалённого предмета*. Оно является *действительным* (его можно получить на экране!) и *перевёрнутым*. Как мы увидим далее, изображение такого типа образуется в глазу и в фотоаппарате.

На рис. 29.2 показано, как с помощью собирающей линзы можно получить на экране *увеличенное изображение предмета*. Увеличение будет особенно большим, когда предмет находится чуть дальше фокуса линзы. Это изображение также является *действительным* и *перевёрнутым*. Далее мы увидим, что изображение такого типа возникает на киноэкране.



Рис. 29.2. Действительное увеличенное перевёрнутое изображение нити накала лампы

Для объяснения поставленных опытов построим изображения предметов, даваемые линзой.

При построении изображений будем использовать лучи, ход которых мы уже знаем. Это:

1) луч, идущий через оптический центр линзы, — он не изменяет своего направления (рис. 29.3, а);

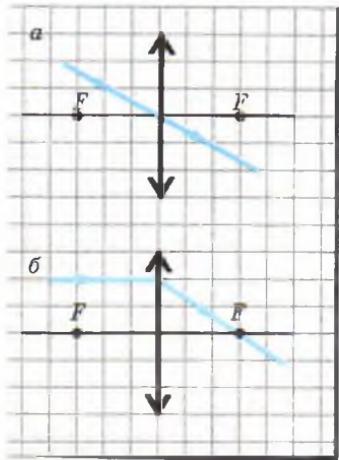


Рис. 29.3. Эти лучи используют для построения даваемого собирающей линзой изображения

2) луч, падающий на линзу параллельно главной оптической оси, — после преломления в собирающей линзе он проходит через её фокус (рис. 29.3, б).

В качестве модели предмета возьмем стрелку, перпендикулярную главной оптической оси. На рис. 29.4 показано, как с помощью указанных лучей построить даваемое линзой изображение удалённого предмета, а на рис. 29.5 — изображение предмета, расположенного немного дальше фокусного расстояния линзы.

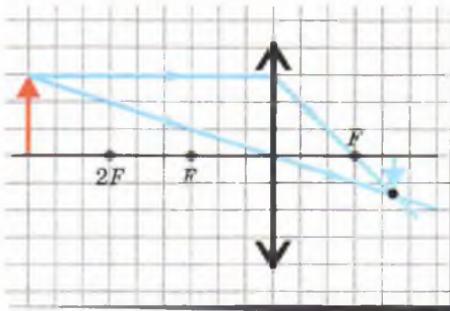


Рис. 29.4. Построение даваемого собирающей линзой изображения удалённого предмета

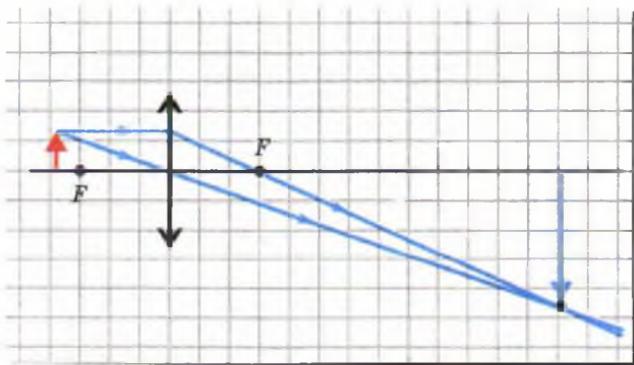


Рис. 29.5. Построение даваемого собирающей линзой изображения предмета, расположенного немного дальше фокусного расстояния линзы



Постройте изображение предмета, расположенного на двойном фокусном расстоянии от собирающей линзы. Сравните размер изображения с размером предмета.

Наши построения объясняют, почему в рассмотренных случаях изображение *действительное*: оно образовано пересечением самих лучей. Построения объясняют также, почему изображение при этом *перевёрнутое*.

Итак, опыты и построения показывают, что даваемое собирающей линзой *действительное перевёрнутое* изображение предмета является:

- *уменьшенным*, если предмет находится дальше двойного фокусного расстояния линзы;
- в *натуральную величину*, если предмет находится на двойном фокусном расстоянии линзы;
- *увеличенным*, если предмет находится между двойным фокусным и фокусным расстояниями линзы.

МНИМЫЕ ИЗОБРАЖЕНИЯ



ПОСТАВИМ ОПЫТ

Если предмет находится ближе фокусного расстояния собирающей линзы, она даёт изображение предмета, которое нельзя получить на экране, потому что это изображение будет *мнимым*. Но это мнимое изображение можно *увидеть*, рассматривая предмет сквозь линзу (рис. 29.6). Оно будет *прямым и увеличенным*. Именно это изображение и рассматривают обычно с помощью «*увеличительного стекла*».

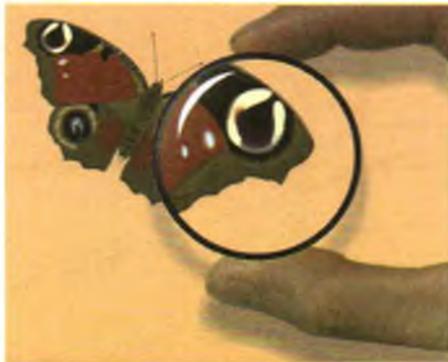


Рис. 29.6. Мнимое прямое увеличенное изображение, даваемое собирающей линзой

Собирающую линзу, предназначенную для рассматривания увеличенных изображений мелких предметов, называют *лупой*. Её фокусное расстояние составляет обычно от 1 до 10 см. Расчёты показывают, что даваемое лупой увеличение равно отношению расстояния наилучшего зрения d (25 см) к фокусному расстоянию линзы. Например, лупа с фокусным расстоянием 2,5 см позволяет получить 10-кратное увеличение.

На рис. 29.7 показано, как с помощью уже знакомых нам двух лучей построить изображение предмета, расположенного ближе фокуса линзы.

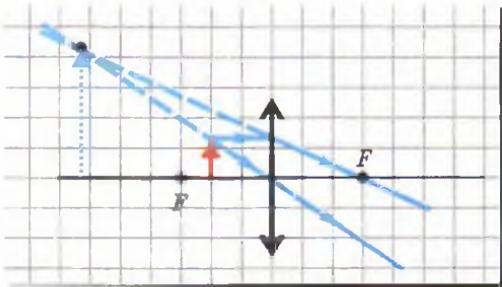


Рис. 29.7. Построение даваемого собирающей линзой изображения предмета, расположенного ближе фокусного расстояния линзы

Мы видим, что в этом случае после преломления в линзе пересекаются не сами лучи, а их продолжения. Вот почему изображение предмета будет *мнимым* (напомним, что мнимое изображение предмета обозначают пунктиром). Мнимое изображение получить на экране нельзя.

Итак, опыты и построения показывают, что

собирающая линза даёт *мнимое изображение предмета, расположенного ближе фокусного расстояния линзы*. Это изображение является *прямым и увеличенным*.

КОГДА СОБИРАЮЩАЯ ЛИНЗА НЕ ДАЁТ ИЗОБРАЖЕНИЯ ПРЕДМЕТА?

Построение, приведённое на рис. 29.8, показывает, что лучи, исходящие от любой точки предмета, расположенного на фокусном

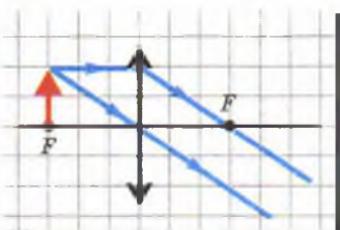


Рис. 29.8. В этом случае линза не даёт изображения предмета

расстоянии от собирающей линзы, после преломления в линзе идут *параллельно*. Следовательно, в этом случае не могут пересечься ни сами лучи, ни их продолжения. Поэтому

если предмет находится на фокусном расстоянии от собирающей линзы, она не даёт изображения предмета.

2. ИЗОБРАЖЕНИЯ, ДАВАЕМЫЕ РАССЕИВАЮЩЕЙ ЛИНЗОЙ



ПОСТАВИМ ОПЫТ

Посмотрите на окружающие предметы сквозь рассеивающую линзу. Вы увидите *уменьшенное прямое* изображение этих предметов, причём независимо от того, на каком расстоянии от линзы находятся эти предметы. Получить на экране это изображение невозможно, потому что оно является *мнимым*.

Для построения даваемого рассеивающей линзой изображения предмета воспользуемся уже знакомыми нам двумя лучами. Учтём при этом, что луч, падающий на линзу параллельно главной оптической оси, после преломления в рассеивающей линзе идёт так, что его продолжение проходит через фокус линзы.

Выполнив построение (рис. 29.9), мы увидим, что

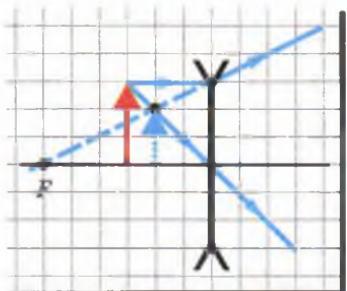


Рис. 29.9. Построение даваемого рассеивающей линзой изображения предмета

рассеивающая линза даёт *мнимое* изображение предмета при любом расположении предмета. Это изображение является *прямым* и *уменьшенным*.

А поскольку изображение предмета мнимое, то получить его на экране невозможно.

3. ОПТИЧЕСКАЯ СИЛА ЛИНЗЫ

Чем ближе к линзе находится её фокус, то есть чем *меньше* фокусное расстояние линзы, тем *сильнее* преломляет она падающие на неё лучи. Поэтому преломляющую

способность линзы характеризуют *оптической силой* линзы D , которая является величиной, обратной фокусному расстоянию линзы:

$$D = \frac{1}{F}.$$

Так как единицей фокусного расстояния является 1 м, то оптическую силу линзы измеряют в $\frac{1}{\text{м}}$. Эту единицу оптической силы называют *диоптрией*. Например, оптическая сила линзы с фокусным расстоянием 2 м равна $0,5 \frac{1}{\text{м}}$.

 Фокусное расстояние первой собирающей линзы 30 см, а фокусное расстояние второй собирающей линзы 10 см. Оптическая сила какой линзы больше? Во сколько раз?



РАЗВИТИЕ ТЕМЫ

4. ФОРМУЛА ТОНКОЙ ЛИНЗЫ

Опыты и расчёты показывают, что между расстоянием d от предмета до линзы, расстоянием f от линзы до изображения и фокусным расстоянием линзы F существует соотношение, которое называют *формулой тонкой линзы*:

$$\frac{1}{d} + \frac{1}{f} = \frac{1}{F}.$$

В этой формуле расстояние до изображения берут со знаком «плюс», если изображение действительное, и со знаком «минус», если изображение мнимое. Фокусное расстояние собирающей линзы берут со знаком «плюс», а рассеивающей — со знаком «минус».

Используя формулу тонкой линзы, можно найти, например, расстояние до изображения, если известно расстояние от линзы до предмета и фокусное расстояние линзы:

$$f = \frac{Fd}{d - F}.$$

ЧТО МЫ УЗНАЛИ

- Изображения предметов, даваемые собирающей линзой:
 - действительные перевёрнутые, если предмет расположен дальше фокуса линзы, и мнимые прямые, если предмет расположен ближе фокуса линзы;
 - уменьшенные, если предмет находится дальше двойного фокусного расстояния от линзы, в натуральную величину, если предмет находится на двойном фокусном расстоянии, и увеличенные, если предмет находится ближе двойного фокусного расстояния;
 - если предмет находится на фокусном расстоянии от собирающей линзы, она не даёт изображения предмета.
- Рассеивающая линза даёт мнимое уменьшенное изображение предмета при любом расстоянии от предмета до линзы.
- Оптическая сила линзы $D = \frac{1}{F}$.
- Формула тонкой линзы $\frac{1}{d} + \frac{1}{f} = \frac{1}{F}$, где d — расстояние от предмета до линзы, f — расстояние от линзы до изображения. При использовании этой формулы фокусное расстояние собирающей линзы берут со знаком «плюс», а рассеивающей — со знаком «минус».



ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ

Первый уровень

1. Расскажите, какие лучи используют для построения изображения предмета в линзе.
2. Сравните действительное и мнимое изображения предмета в линзе: что у них общего и чем они различаются?
3. Опишите изображение предмета в собирающей линзе, если предмет находится от линзы на расстоянии: а) большем двойного фокусного расстояния линзы; б) равном двойному фокусному расстоянию линзы; в) меньшем двойного фокусного расстояния, но большем фокусного; г) меньшем фокусного расстояния.
4. На каком расстоянии от собирающей линзы находится предмет, если линза не даёт никакого изображения этого предмета?

5. Опишите изображение предмета в рассеивающей линзе.
6. Расскажите об оптической силе линзы.
7. Чему равна оптическая сила собирающей линзы, фокусное расстояние которой 10 см?

Второй уровень

8. В каких случаях собирающая линза даёт особенно большое увеличение?
9. Постройте в тетради изображение точки, лежащей на главной оптической оси собирающей линзы.
10. Напишите формулу тонкой линзы и опишите все входящие в неё величины.
11. Используя формулу тонкой линзы, найдите, где находится изображение точки, расположенной на двойном фокусном расстоянии от собирающей линзы.
12. Составьте задачу по теме «Изображение, даваемое линзой», ответом которой было бы «Только для рассеивающей линзы».



ДОМАШНЯЯ ЛАБОРАТОРИЯ

1. Возьмите собирающую линзу и, глядя сквозь неё, попробуйте увидеть изображения различных предметов — уменьшенные и увеличенные, действительные и мнимые.
2. Получите на экране (на стене или на потолке) действительное уменьшенное и действительное увеличенное изображения лампы.
3. Рассмотрите различные предметы сквозь рассеивающую линзу. Какую общую закономерность вы заметили?

§ 30. ГЛАЗ И ОПТИЧЕСКИЕ ПРИБОРЫ

1. Фотоаппарат и видеокамера
2. Глаз
3. Киноаппарат и проектор
4. Как устроен микроскоп?
5. Как устроен телескоп?
6. Как мы определяем на глаз расстояния до предметов?

1. ФОТОАППАРАТ И ВИДЕОКАМЕРА

На рис. 30.1, а, б изображены фотоаппарат и видеокамера, а на рис. 30.1, в — схема их действия.

Мы видим, что собирающая линза даёт действительное уменьшенное изображение предметов на светочувствительной поверхности (фотоплёнке или фотоэлементе). Эту линзу называют *объективом*¹, потому что она обращена к *объекту* съёмки.

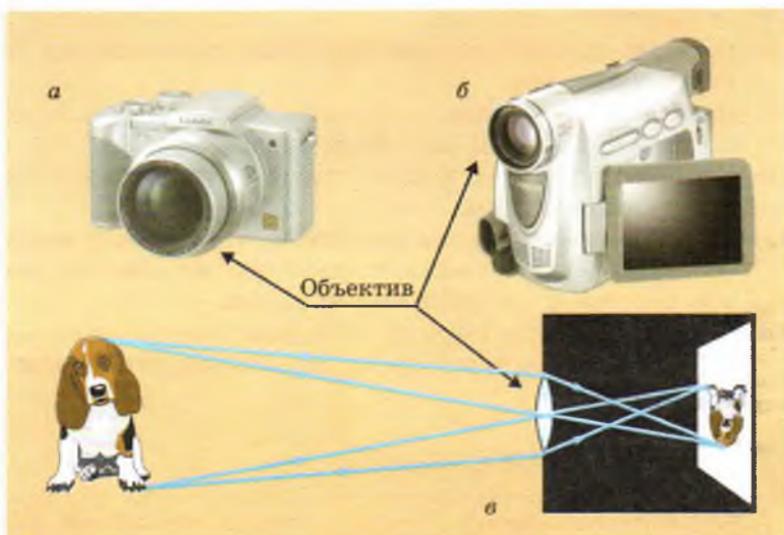


Рис. 30.1. Фотоаппарат, видеокамера и схема их действия

Наводку на резкость производят, изменяя расстояние от объектива до светочувствительной поверхности (в современных фотоаппаратах и видеокамерах это часто происходит автоматически).

2. ГЛАЗ

Природа «изобрела фотоаппарат» намного раньше человека. На рис. 30.2, а схематически изображено строение глаза человека, а на рис. 30.2, б показано, как формируется изображение на задней стенке глаза, называемой *сетчаткой*. Мы видим, что строение глаза сходно с устройством фотоаппарата. Роль объектива в глазу играют *роговица* и *хрусталик*.

Изображение на сетчатке перевёрнутое, но мозг автоматически «переворачивает» изображение ещё раз, поэтому мы видим предметы непревёрнутыми.

¹ Для улучшения качества изображения часто используют объективы, состоящие из нескольких линз.

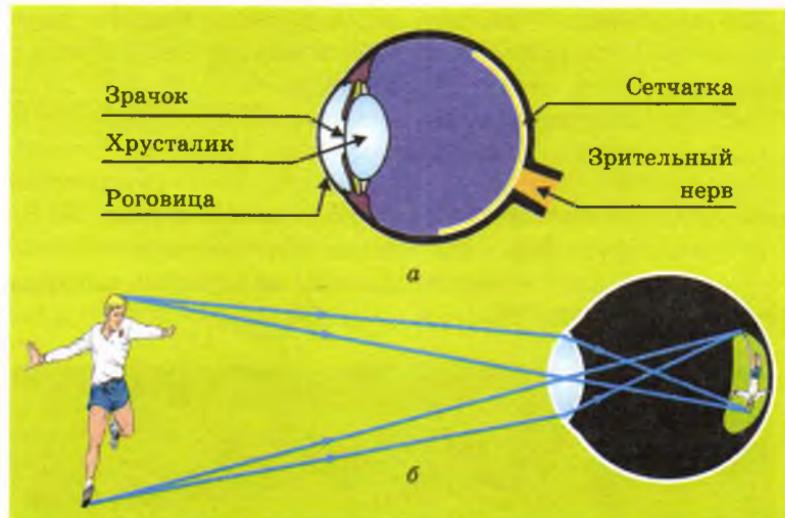


Рис. 30.2. Глаз и схема формирования изображения в глазу

Итак, глаза человека — это как бы две видеокамеры, с помощью которых человек всю жизнь с интересом смотрит «видеофильм» об окружающем мире.

Наводку на резкость в глазу производит хрусталик. Когда человек рассматривает близкие предметы, маленькая мышца сжимает хрусталик и его фокусное расстояние уменьшается. Этую «автоподстройку» глаза называют *аккомодацией*¹.

Существует *предел аккомодации*, из-за которого человек не может хорошо рассмотреть предмет, расположенный слишком близко к глазу (обычно ближе 10—15 см). *Расстояние наилучшего зрения для человека без дефектов зрения* примерно 25 см.

НЕДОСТАТКИ ЗРЕНИЯ И ИХ ИСПРАВЛЕНИЕ

Недостаток зрения, при котором человеку трудно рассмотреть близкие предметы, называют *дальнозоркостью*². Причина дальнозоркости в том, что изображения близких предметов оказываются *далее* сетчатки (рис. 30.3, а).

¹ В переводе с латинского «приспособление». Некоторые учёные считают, что аккомодация происходит также вследствие изменения формы самого глаза (глазного яблока).

² Дальнозоркий человек — это не тот, кто особенно хорошо видит далёкие предметы, а тот, кто хорошо видит *только* далёкие предметы.

В этом случае помогают очки с *собирающими* линзами: когда человек смотрит сквозь них, изображение близких предметов попадает на сетчатку (рис. 30.3, *б*).

Недостаток зрения, при котором человек хорошо видит близкие предметы, но плохо различает удалённые, называют *близорукостью*¹. В случае близорукости изображения удалённых предметов оказываются ближе сетчатки (рис. 30.3, *в*).

В этом случае помогают очки с *рассеивающими* линзами: благодаря им изображение далёких предметов попадает на сетчатку глаза (рис. 30.3, *г*).

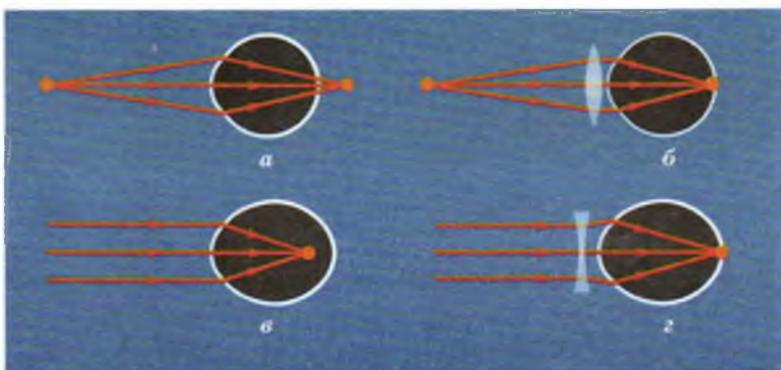


Рис. 30.3. Недостатки зрения и их исправление

3. КИНОАППАРАТ И ПРОЕКТОР

Напомним, что если предмет находится чуть дальше фокуса собирающей линзы, то даваемое линзой действительное изображение будет сильно увеличенным.

Это используют в проекционном аппарате и киноаппарате: на киноэкране мы видим действительное, сильно увеличенное и перевёрнутое изображение ярко освещённых маленьких кадров киноплёнки. На рис. 30.4 изображена схема действия киноаппарата.

Как надо устанавливать плёнку в киноаппарат, чтобы герои на экране не ходили вверх ногами?

¹ Близорукий человек часто берёт рассматриваемый предмет в *руки* и подносит его *близко* к глазам.

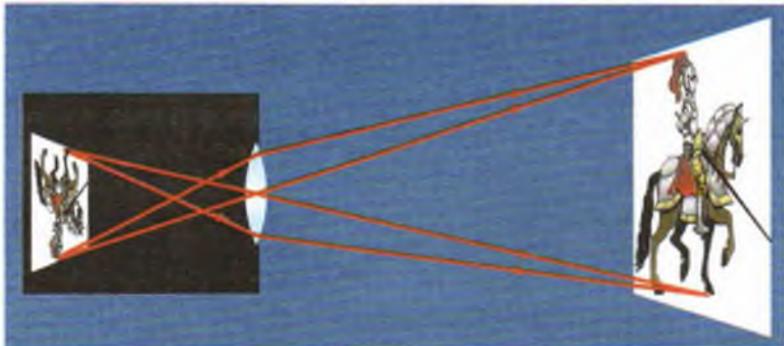


Рис. 30.4. Схема действия киноаппарата



РАЗВИТИЕ ТЕМЫ

4. КАК УСТРОЕН МИКРОСКОП?

Микроскоп¹ — это оптический прибор для рассматривания очень малых предметов (рис. 30.5).

Чтобы лучше понять принцип действия микроскопа, «изобретём» его заново. Для наглядности поставим цель — рассмотреть мелкие детали кинокадра. Для этого мы увеличим кадр *дважды*:

1) разместим его чуть дальше фокусного расстояния собирающей линзы — тогда мы получим на экране сильно увеличенное изображение кадра (рис. 30.6, а);

2) будем рассматривать это увеличенное изображение сквозь лупу (это и есть второе увеличение). Причём рассматривать это изображение будем с обратной стороны экрана, используя в качестве экрана полупрозрачное стекло.

А теперь можно убрать и полупрозрачный экран: он был нужен только для наглядности. Дело в том, что рассматриваемое сквозь лупу действительное изображение кадра



Рис. 30.5. Микроскоп

¹ От греческих слов «микрос» — маленький и «скопео» — смотрю.

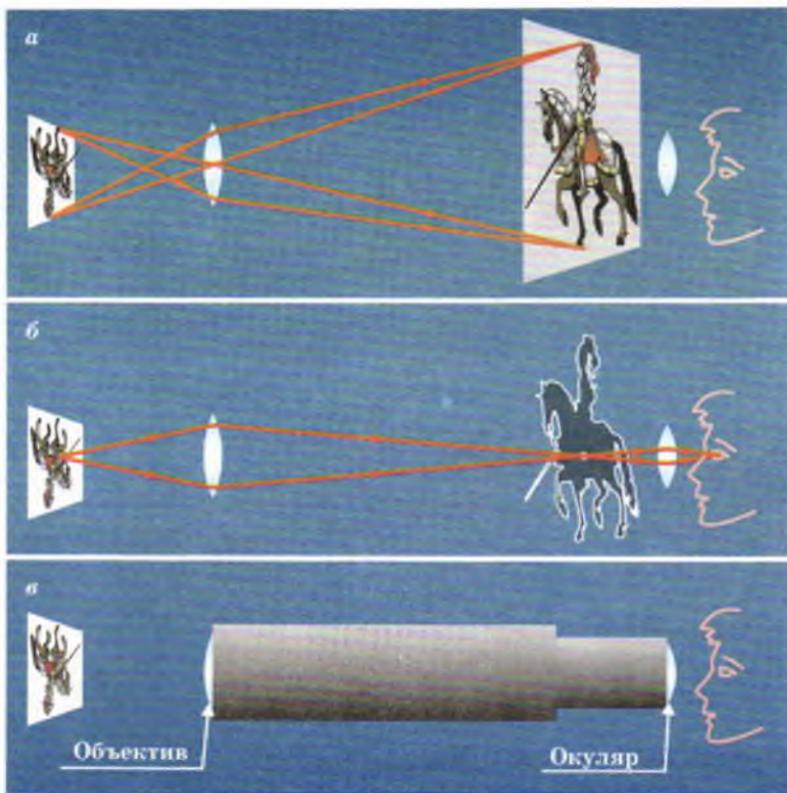


Рис. 30.6. «Изобретение» микроскопа

создаётся не экраном, а точками пересечения преломлённых лучей (рис. 30.6, б). Наконец, заключим обе линзы в трубу (рис. 30.6, в). Микроскоп готов.

Таким образом, мы видим, что микроскоп представляет собой как бы комбинацию крошечного проекционного аппарата и лупы.

Линзу, обращённую к рассматриваемому предмету (*объекту*), называют *объективом*, а линзу, сквозь которую мы смотрим глазом (*оком*), называют *окуляром*.

В качестве объектива надо взять линзу с очень *малым фокусным расстоянием*: чем оно меньше, тем большее увеличение даёт объектив.

Лучшие микроскопы увеличивают примерно в две тысячи раз. На рис. 30.7, а, б показано, как выглядят под микроско-

пом «когти» комара и его глаз. Английский физик Роберт Гук с помощью микроскопа открыл клеточное строение живых организмов (рис. 30.7, в).



Рис. 30.7. Что можно увидеть под микроскопом

Микроскопы широко используют в медицине, биологии, особенно в микробиологии, а также для исследования структуры поверхностей образцов.

5. КАК УСТРОЕН ТЕЛЕСКОП?

Телескоп¹ (рис. 30.8) — это оптический прибор для рассматривания далёких предметов, например, Луны, планет и звёзд.

«Изобретём» телескоп, поставив цель рассмотреть Луну.

Для этого сначала с помощью собирающей линзы (*объектива*) получим действительное уменьшенное изображение Луны на уже знакомом нам полупрозрачном экране. Это изображение будет расположено вблизи фокуса объектива. На этот раз (в отличие от микроскопа) фокусное расстояние объектива должно быть *большим*: опыты и построения показывают, что чем оно больше, тем больше размер действительного изображения удалённого предмета.

Однако даже при очень большом фокусном расстоянии объектива даваемое им действительное изображение Луны будет, конечно, сильно уменьшенным. Но все-таки польза от этого изображения есть: ведь мы можем рассматривать его *с малого расстояния!* И делать мы это будем с помощью лупы (*окуляра*), как показано на рис. 30.9, а.



Рис. 30.8. Телескоп

¹ От греческих слов «теле» — вдаль и «скопео» — смотрю.

Как вы уже догадались, следующие шаги, так же как и при «изобретении» микроскопа, состоят в том, чтобы убрать полу-прозрачный экран (рис. 30.9, б) — он не нужен и в этом случае — и заключить объектив с окуляром в трубу (рис. 30.9, в).

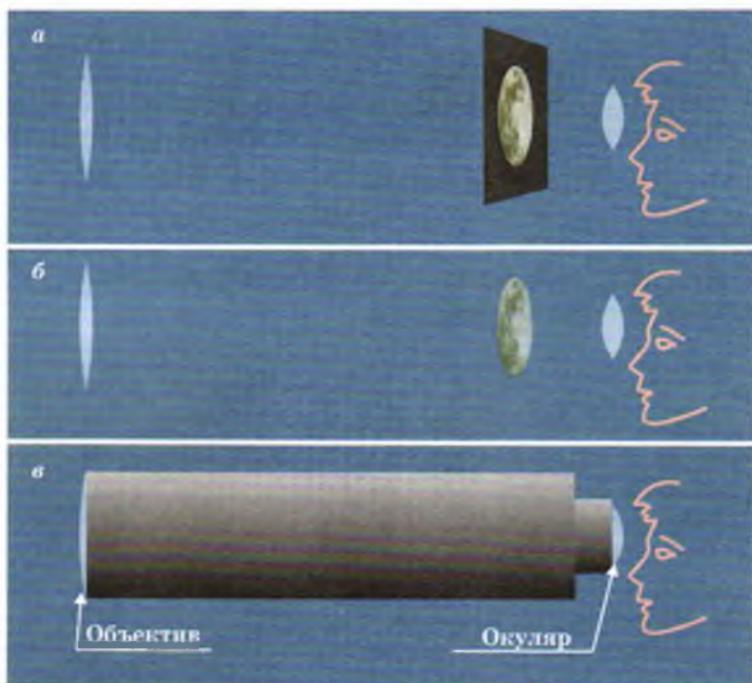


Рис. 30.9. «Изобретение» телескопа



Рис. 30.10. Лунные кратеры — следы сильнейших ударов метеоритов

Таким образом, мы видим, что телескоп представляет собой как бы комбинацию огромного фотоаппарата (объектив которого имеет очень большое фокусное расстояние) и лупы.

Первым направил в небо телескоп Г. Галилей. И сразу сделал удивительные открытия. Например, он увидел на Луне «моря», горы и кратеры (рис. 30.10), а также обнаружил, что Млечный Путь (рис. 30.11, а) представляет собой грандиозное скопление звёзд (рис. 30.11, б).

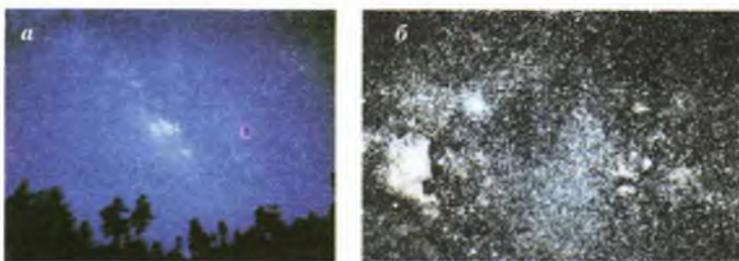


Рис. 30.11. Млечный Путь: *а* — как он виден невооружённым глазом; *б* — как он виден в телескоп

6. КАК МЫ ОПРЕДЕЛЯЕМ НА ГЛАЗ РАССТОЯНИЯ ДО ПРЕДМЕТОВ?

Наиболее точный способ оценки расстояния до предмета на глаз правильнее было бы назвать оценкой «на два глаза», потому что этот способ основан на так называемом бинокулярном зрении, что в переводе с латинского означает «зрение двумя глазами».

Дело в том, что левый глаз и правый глаз видят предмет (особенно близко расположенный) немного по-разному, так как смотрят на него из разных точек. По этому отличию мозг и «вычисляет» мгновенно расстояние до предмета.

Бинокулярным зрением обладают все хищники: глаза волка или тигра смотрят всегда в одну точку. Поэтому хищник перед прыжком точно оценивает расстояние до своей жертвы.

А вот у зайца глаза смотрят в разные стороны — недаром зайца прозвали «косым». Зато благодаря этому заяц, не поворачивая головы, может одновременно видеть всё, что происходит вокруг него — даже сзади!

По той же причине косыми глазами природа наделила и других травоядных: косят лошади, косули (недаром они так названы!), козы, овцы... Всем им нужен широкий обзор, чтобы заметить подкрадывающегося хищника.

ЧТО МЫ УЗНАЛИ

- В фотоаппарате и видеокамере объектив (собирающая линза) даёт действительное уменьшенное изображение предметов на светочувствительной поверхности (фотоплёнке или фотоэлементе).

- Строение глаза сходно с устройством фотоаппарата: действительное уменьшенное изображение предметов на сетчатке создаётся роговицей и хрусталиком, которые действуют как собирающая линза.
- Расстояние наилучшего зрения у человека без дефектов зрения — примерно 25 см.
- В случае дальнозоркости человеку трудно рассмотреть близкие предметы. Этот недостаток зрения исправляют с помощью очков с собирающими линзами.
- В случае близорукости человек плохо видит удалённые предметы. Этот недостаток зрения исправляют с помощью очков с рассеивающими линзами.
- Киноаппарат и проектор дают на экране действительное перевёрнутое изображение ярко освещённого маленького кадра.
- В микроскопе происходит двойное увеличение: объектив даёт действительное увеличенное перевёрнутое изображение предмета, которое рассматривают сквозь окуляр, как сквозь лупу.
- Объектив телескопа даёт действительное уменьшенное перевёрнутое изображение удалённого предмета. Оно расположено вблизи фокуса объектива. Чем больше фокусное расстояние объектива, тем больше это изображение. Его рассматривают сквозь окуляр, как сквозь лупу.



ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ

Первый уровень

1. Расскажите, как получается изображение в фотоаппарате или видеокамере, и начертите в тетради соответствующую схему хода лучей. Какое изображение предмета получается в фотоаппарате или видеокамере: увеличенное или уменьшенное, действительное или мнимое?
2. Сравните строение глаза с устройством фотоаппарата: что у них общего и чем они различаются?
3. Расскажите о пределе аккомодации. Рассматриванию каких предметов здоровым глазом мешает этот предел — очень далёких или очень близких?
4. Чему равно расстояние наилучшего зрения здорового глаза?
5. Расскажите о дальнозоркости. Какие линзы используют для исправления этого недостатка зрения?
6. Расскажите о близорукости. Какие линзы используют для исправления этого недостатка зрения?

7. Опишите принцип действия киноаппарата и проектора. Какое изображение даёт кинопроектор: увеличенное или уменьшенное, действительное или мнимое?
8. Поясните, как надо расположить предмет и лупу, чтобы видеть сквозь лупу прямое увеличенное изображение этого предмета. Каким будет это изображение — действительным или мнимым?

Второй уровень

9. В каком случае фокусное расстояние хрусталика больше: когда вы читаете книгу или когда смотрите телевизор?
10. Держа карандаш в руке, рассмотрите его на фоне окна. Почему мы видим чётко либо карандаш, либо предметы за окном?
11. Расскажите о том, как мы определяем «на глаз» расстояния до предметов.
12. Расскажите об устройстве микроскопа и об использовании этого прибора.
13. Расскажите об устройстве телескопа и об использовании этого прибора.



ДОМАШНЯЯ ЛАБОРАТОРИЯ

1. Посмотрите на близкий предмет сначала только левым глазом, а потом только правым. Замечаете ли вы различия в том, как разные глаза видят предмет?
2. Попробуйте, используя две собирающие линзы, сделать самодельную подзорную трубу.

§ 31.

ЦВЕТ

1. Дисперсия света
2. Почему лист зелёный, а роза красная?
3. Как возникает радуга?
4. Как глаз различает цвета?
5. Сколько цветов на экране телевизора?

1. ДИСПЕРСИЯ СВЕТА

Нас радуют голубое небо, зелёная листва, красные розы, семь цветов радуги. Что же такое цвет?

Первый шаг к разгадке цвета сделал английский учёный И. Ньютона, когда он был ещё юным выпускником Кембриджского университета. Повторим его знаменитый опыт.



ПОСТАВИМ ОПЫТ

Направим в темноте узкий пучок солнечного света на боковую грань треугольной стеклянной призмы. В результате преломления света в призме на белом экране можно получить красивую цветную полосу, где можно различить все цвета радуги: *красный, оранжевый, жёлтый, зелёный, голубой, синий, фиолетовый* (рис. 31.1, *а*). Эту цветную полосу Ньютона назвал *спектром*¹.

Если же пропускать сквозь призму узкий пучок света определённого цвета, то пучок не изменит ни форму, ни цвет (рис. 31.1, *б*).

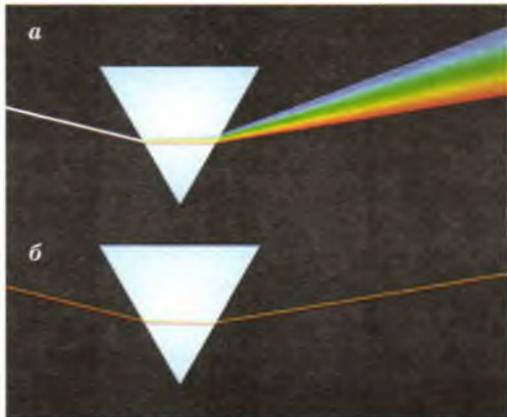


Рис. 31.1. Преломление узкого пучка света в призме: *а* — белого света; *б* — света, имеющего определённый цвет

Из своего опыта Ньютона заключил, что

белый свет является составным, то есть является смесью всех цветов радуги.

Разложение белого света в цветной спектр называют *дисперсией² цвета*. Дисперсия обусловлена тем, что лучи разных цветов преломляются *по-разному*: например, в стекле сильнее всего преломляются фиолетовые лучи, а слабее всего — красные.

2. ПОЧЕМУ ЛИСТ ЗЕЛЁНЫЙ, А РОЗА КРАСНАЯ?

Почему при освещении предметов белым светом мы видим их окрашенными в разные цвета?

¹ От латинского «спектрум» — видимое.

² В переводе с латинского «дисперсия» означает рассеяние.

Дело в том, что разные предметы по-разному отражают и поглощают лучи разных цветов.

Например, красная роза отражает «красные» лучи, входящие в состав белого света, а почти все другие лучи поглощает (схема на рис. 31.2, а). Зелёные же листья отражают в основном «зелёные» лучи (рис. 31.2, б).

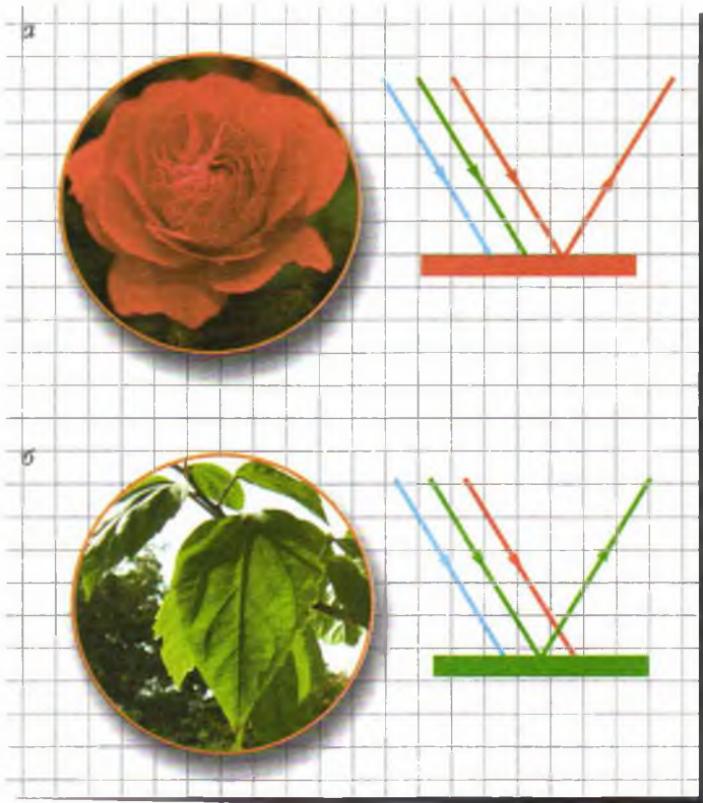


Рис. 31.2. Объяснение окраски розы (а) и листьев (б)



РАЗВИТИЕ ТЕМЫ

3. КАК ВОЗНИКАЕТ РАДУГА?

Когда после дождя появится солнце, станьте к нему спиной. Возможно, что вы увидите одно из красивейших явлений природы — радугу. В разноцветной дуге размером с полнеба

можно различить все семь цветов, причём наружная часть радуги окрашена в красный цвет, а внутренняя — в фиолетовый (рис. 31.3, а).

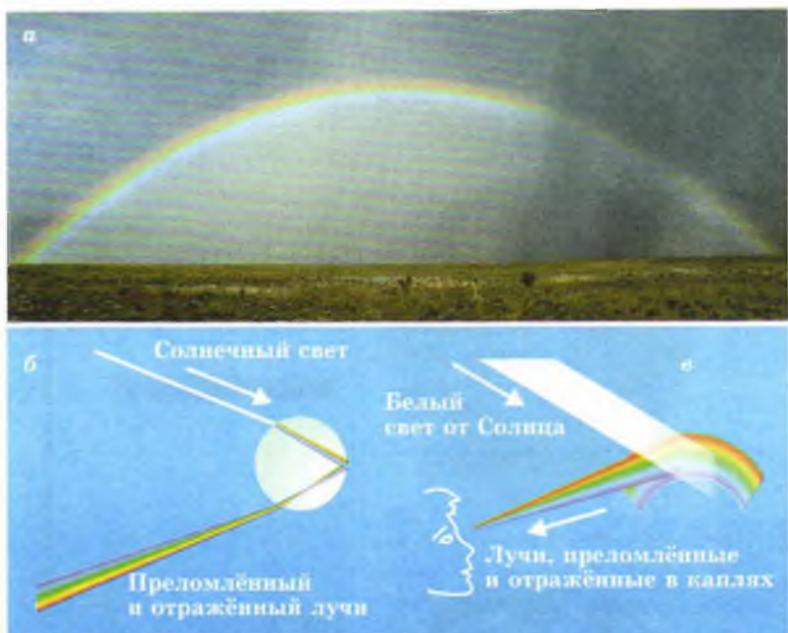


Рис. 31.3. Радуга и схема её возникновения

Из-за чего же возникает радуга?

После дождя в воздухе остаются мельчайшие капельки воды, имеющие форму шара. Когда солнечный луч падает на капельку, он преломляется на её поверхности, затем отражается от её внутренней поверхности и при выходе из воды в воздух преломляется ещё раз. При этом вследствие дисперсии лучи, соответствующие различным цветам, преломляются *по-разному* (рис. 31.3, б).

В результате, выйдя из капли, «красный» луч пойдёт под одним углом к горизонту, а «фиолетовый» — под другим. Следовательно, в глаз наблюдателя «красный» и «фиолетовый» лучи попадут из *разных* капель (рис. 31.3, в). Причём все «красные» капли будут казаться расположенными на *одной дуге окружности*, «оранжевые» капли — на соседней дуге меньшего радиуса и так далее — вплоть до «фиолетовых» капель на дуге, расположенной внутри всех остальных «цветных» дуг.

4. КАК ГЛАЗ РАЗЛИЧАЕТ ЦВЕТА?

На сетчатке глаза расположены светочувствительные элементы, называемые «колбочками». Но точнее, наверное, называть их «цветочувствительными», и вот почему. Существует три типа колбочек. Их можно условно назвать «красными», «зелёными» и «синими», потому что «красные» колбочки наиболее чувствительны к *красному* цвету, «зелёные» — к *зелёному*, а «синие» — к *синему*.

Когда в глаз попадает свет красного цвета, то в мозг посылают сигналы в основном «красные» колбочки. Обработав эти сигналы, мозг и «сообщает» нам, что видимый свет — красный. Аналогично — с зелёным и синим светом.

При попадании же в глаз белого света от всех трёх видов колбочек в мозг идут сигналы примерно одинаковой интенсивности. И в результате мы воспринимаем этот свет как белый.

Таким образом, всё многообразие видимых нами цветов обусловлено сигналами, посыпаемыми в мозг тремя типами колбочек.

5. СКОЛЬКО ЦВЕТОВ НА ЭКРАНЕ ТЕЛЕВИЗОРА?

Свойство глаза «раскладывать» все цвета на красный, зелёный и синий использовали при создании цветных телевизоров и мониторов (дисплеев) компьютеров.



ПОСТАВИМ ОПЫТ

Нанесите осторожно на экран телевизора капельку воды: она будет служить маленькой и довольно сильной линзой. Сквозь неё вы увидите, что любое цветное изображение на экране состоит из светящихся *красных, зелёных и синих* точек — то есть точек, имеющих как раз те цвета, к которым наиболее чувствительны колбочки сетчатки глаза.

Схематически сложение цветов на экране телевизора показано на рис. 31.4.



Рис. 31.4. Сложение цветов на экране телевизора

То, что для создания цветного изображения в телевизоре выбрали как раз те цвета, к которым наиболее чувствительны колбочки в сетчатке глаза, не случайное совпадение! Это — результат успешного сотрудничества физиков, инженеров и биологов.

ЧТО МЫ УЗНАЛИ

- Разложение пучка белого света в радужный спектр при прохождении сквозь призму означает, что белый свет является составным, то есть смесью всех цветов радуги.
- Разложение белого света в цветной спектр называют дисперсией цвета. Дисперсия обусловлена тем, что лучи разных цветов преломляются в прозрачной среде (например, в стекле) по-разному.
- Различная окраска предметов при освещении их белым светом обусловлена тем, что предметы по-разному отражают и поглощают лучи различных цветов.
- Радуга возникает вследствие отражения и преломления света в каплях воды.
- Все цвета на экране цветного телевизора (дисплея компьютера) создаются сложением всего трёх цветов — красного, зелёного и синего.



ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ

Первый уровень

1. Расскажите об опыте Ньютона с призмой. Какой вывод сделал учёный из этого опыта?
2. Перечислите цвета радуги.
3. Расскажите о дисперсии света и приведите примеры этого явления.
4. Объясните, чем обусловлена различная окраска предметов.

Второй уровень

5. Какие лучи сильнее преломляются в стекле — красные или фиолетовые?
6. Опишите, как возникает радуга.
7. Расскажите, как глаз различает цвета.



ДОМАШНЯЯ ЛАБОРАТОРИЯ

1. Рассмотрите разные предметы сквозь стеклянную призму. Удалось ли вам заметить радужную кайму вокруг предметов? Как её можно объяснить?

2. Попробуйте рассмотреть в затемнённой комнате цветные иллюстрации и разные предметы при освещении красным или синим светом. Что вы заметили? Как это можно объяснить?

3. Сделайте самодельную радугу (для этого можно воспользоваться пульверизатором). Понаблюдайте за цветом капель воды при различном освещении.



ГЛАВНОЕ В ЭТОЙ ГЛАВЕ

- Свет — это электромагнитные волны. Скорость света в пустоте примерно $300\,000 \frac{\text{км}}{\text{с}}$.
- Действия света: освещение, нагревание, химическое, электрическое.
- Тепловыми источниками света являются тела, нагретые до достаточно высокой температуры. Холодными источниками света называют тела, которые светятся при температуре, близкой к комнатной.
- Точечный источник света — физическая модель источника света, размерами которого в данных условиях можно пренебречь. Примерами точечных источников света являются все звёзды, кроме Солнца.
- В вакууме и в однородной среде свет распространяется прямолинейно.
- Физической моделью узкого пучка света является луч света — линия, вдоль которой распространяется свет. Раздел оптики, который изучает ход лучей света, называют геометрической оптикой.
- При освещении предмета точечным источником света образуется резкая тень, а при освещении протяжённым источником света — тень и полутень.
- Солнечное затмение наступает тогда, когда Луна оказывается между Солнцем и Землёй, в результате чего тень Луны падает на поверхность Земли. Лунное затмение наступает тогда, когда Луна попадает в тень Земли.

- Законы отражения света: 1) отражённый от зеркала луч лежит в одной плоскости с падающим лучом и перпендикуляром, проведённым в точку падения луча; 2) при отражении от зеркала угол отражения равен углу падения.
- От шероховатой поверхности свет отражается диффузно (рассеянно). Большинство окружающих нас предметов мы видим потому, что они отражают свет диффузно.
- Даваемое зеркалом изображение предмета находится на таком же расстоянии от зеркала, что и сам предмет.
- Размер изображения предмета в зеркале равен размеру самого предмета.
- Мнимое изображение точки образовано пересечением продолжений лучей, а действительное изображение — пересечением самих лучей.
- Изображение предметов в зеркале является мнимым.
- При переходе через границу раздела двух прозрачных сред (например, воды и воздуха, воздуха и стекла) лучи света изменяют направление. Это явление называют преломлением света.
- Преломление света обусловлено тем, что скорость света в разных средах различна.
- Первый закон преломления света: преломлённый луч лежит в одной плоскости с падающим лучом и перпендикуляром, проведённым в точку падения луча.
- При переходе из воздуха в стекло или воду угол преломления меньше угла падения, а при переходе из стекла или воды в воздух угол преломления больше угла падения.
- Параллельный пучок лучей после преломления в собирающей линзе становится сходящимся, а после преломления в рассеивающей линзе — расходящимся.
- Фокусом собирающей линзы называют точку, в которой после преломления в линзе пересекаются лучи, падающие на неё параллельно главной оптической оси.
- Фокусом рассеивающей линзы называют точку, в которой пересекаются продолжения преломлённых в линзе лучей, падающих на линзу параллельно главной оптической оси. Фокус рассеивающей линзы считают мнимым, поскольку в нём пересекаются не сами лучи, а их продолжения.

- У любой линзы есть два фокуса, расположенные на равных расстояниях от линзы по разные стороны от неё.
- Расстояние от плоскости линзы до её фокуса называют фокусным расстоянием линзы и обозначают F .
- Луч, проходящий через оптический центр линзы, не изменяет своего направления.
- Для построения даваемого линзой изображения точки используют обычно ход двух лучей: луча, идущего через оптический центр линзы, и луча, падающего на линзу параллельно главной оптической оси.
- Изображения предметов, даваемые собирающей линзой:
 - действительные перевёрнутые, если предмет расположен дальше фокуса линзы, и мнимые прямые, если предмет расположен ближе фокуса линзы;
 - уменьшенные, если предмет находится дальше двойного фокусного расстояния от линзы, в натуральную величину, если предмет находится на двойном фокусном расстоянии, и увеличенные, если предмет находится ближе двойного фокусного расстояния;
 - если предмет находится на фокусном расстоянии от собирающей линзы, она не даёт изображения предмета.
- Лупа даёт мнимое прямое увеличенное изображение.
- Рассеивающая линза даёт мнимое прямое уменьшенное изображение предмета при любом расстоянии от предмета до линзы.
- Оптическая сила линзы $D = \frac{1}{F}$.
- Формула тонкой линзы $\frac{1}{d} + \frac{1}{f} = \frac{1}{F}$, где d — расстояние от предмета до линзы, f — расстояние от линзы до изображения.
- В фотоаппарате и видеокамере объектив (собирающая линза) даёт действительное уменьшенное изображение предметов на светочувствительной поверхности (фотоплёнке или фотоэлементе). Строение глаза сходно с устройством фотоаппарата: действительное уменьшенное изображение предметов на сетчатке создаётся роговицей и хрусталиком, которые действуют как собирающая линза.

- Расстояние наилучшего зрения для человека без дефектов зрения примерно 25 см.
- В случае дальнозоркости человеку трудно рассмотреть близкие предметы. Этот недостаток зрения исправляют с помощью очков с собирающими линзами. В случае близорукости человек плохо видит удалённые предметы. Этот недостаток зрения исправляют с помощью очков с рассеивающими линзами.
- Киноаппарат и проектор дают на экране действительное перевёрнутое изображение ярко освещённого маленького кадра.
- В микроскопе происходит двойное увеличение: объектив даёт действительное увеличенное перевёрнутое изображение предмета, которое рассматривают сквозь окуляр, как сквозь лупу.
- Объектив телескопа даёт действительное уменьшенное перевёрнутое изображение удалённого предмета. Оно расположено вблизи фокуса объектива. Чем больше фокусное расстояние объектива, тем больше это изображение. Его рассматривают сквозь окуляр, как сквозь лупу.
- Разложение пучка белого света в радужный спектр при прохождении сквозь призму означает, что белый свет является составным, то есть смесью всех цветов радуги.
- Разложение белого света в цветной спектр называют дисперсией цвета. Дисперсия обусловлена тем, что лучи разных цветов преломляются в прозрачной среде (например, в стекле) по-разному.
- Различная окраска предметов при освещении их белым светом обусловлена тем, что предметы по-разному отражают и поглощают лучи различных цветов.

ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ¹

1. ИЗМЕРЕНИЕ УДЕЛЬНОЙ ТЕПЛОЁМКОСТИ ВЕЩЕСТВА²

Цель работы: научиться определять удельную теплоёмкость вещества с помощью калориметра.

Оборудование: стакан с водой, калориметр, термометр, весы с набором гирь, измерительный цилиндр, металлический цилиндр на нити, сосуд с кипящей водой³.

Ход работы

- Используя измерительный цилиндр, налейте в калориметр 100 г воды и измерьте её температуру.
- Опустите в калориметр металлический цилиндр, вынутый из кипящей воды⁴.
- Через несколько минут измерьте температуру воды в калориметре.
- Вытряхните цилиндр и измерьте его массу m_m .
- Вычислите удельную теплоёмкость c_m металла, из которого изготовлен цилиндр, по формуле

$$c_m = \frac{c_w m_w (t_k - t_w)}{m_m (t_m - t_k)}.$$

Здесь c_w и m_w — удельная теплоёмкость и масса воды; t_w и t_m — начальная температура воды и металлического цилиндра; t_k — их общая конечная температура.

При выводе этой формулы предполагается, что тепловыми потерями (в том числе количеством теплоты, переданным стакану калориметра) можно пренебречь.

- Запишите полученные результаты.

¹ В состав учебно-методического комплекта «Физика—8» входит тетрадь для лабораторных работ, пользуясь которой удобнее выполнять работы и делать записи. Некоторые лабораторные работы (по предложению учителя) можно выполнять дома. Время проведения лабораторной работы определяется учителем.

² При выполнении этой и других работ, где требуется провести числовые расчёты, удобно использовать калькуляторы.

³ Сосуд с кипящей водой находится на демонстрационном столе учителя.

⁴ Это делает учитель, когда ученик с калориметром подходит к демонстрационному столу.

2. СБОРКА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЦЕПИ. ИЗМЕРЕНИЕ СИЛЫ ТОКА И НАПРЯЖЕНИЯ

Цель работы: научиться собирать простейшую электрическую цепь, измерять силу тока в цепи с помощью амперметра и напряжение на участке цепи с помощью вольтметра.

Оборудование: источник тока, ключ, электрическая лампочка, амперметр, вольтметр, соединительные провода.

Ход работы

1. Начертите в тетради схему простейшей электрической цепи (см. рис. 11.3). Соберите цепь по этой схеме (помните, что при сборке цепи ключ должен быть разомкнут) и после проверки учителем правильности собранной цепи убедитесь, что с помощью ключа можно включать и выключать лампочку.

2. Рассмотрите внимательно шкалы амперметра и вольтметра и запишите для каждого прибора цену деления и пределы измерения.

3. Начертите в тетради схему включения амперметра для измерения силы тока в лампочке (см. рис. 12.1). Проверьте правильность подключения клемм прибора (клемма со знаком «+» должна быть соединена с проводом, идущим от положительного полюса источника тока). После проверки учителем измерьте силу тока и запишите результат измерения. С учётом погрешности результата измерения округляйте до значения, соответствующего штриху шкалы, ближайшему к положению стрелки прибора¹.

4. Начертите в тетради схему включения вольтметра для измерения напряжения на лампочке (см. рис. 12.2). Проверьте правильность подключения клемм прибора. После проверки учителем измерьте напряжение и запишите результат измерения.

3. ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТИ СИЛЫ ТОКА В ПРОВОДНИКЕ ОТ НАПРЯЖЕНИЯ НА ЕГО КОНЦАХ. ИЗМЕРЕНИЕ СОПРОТИВЛЕНИЯ

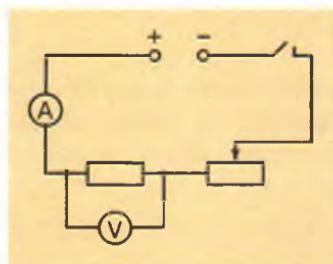
Цель работы: исследовать зависимость силы тока от напряжения; измерить сопротивление проводника.

¹ Если стрелка находится посередине между двумя штрихами шкалы, вы можете выбрать в качестве результата измерения значение, соответствующее любому из двух ближайших штрихов.

Оборудование: источник тока, ключ, проволочный резистор, реостат, амперметр, вольтметр, соединительные провода, прозрачная линейка.

Ход работы

- Соберите электрическую цепь по приведённой схеме.



- Поставьте движок реостата в такое положение, при котором сопротивление реостата — наибольшее (оно соответствует крайнему правому положению движка на рис. 14.7, а). Замкните ключ и запишите показания амперметра и вольтметра в таблицу, первые две строки которой приведены ниже.

№ опыта	U , В	I , А

- Повторите измерения несколько раз, перемещая движок реостата в сторону уменьшения сопротивления.

- Изобразите систему координат для построения графика зависимости силы тока I от напряжения U .

- Поставьте точки, соответствующие результатам ваших измерений. Эти точки, вследствие погрешности измерений, могут не лежать точно на одной прямой, проходящей через начало координат. Поэтому, используя прозрачную линейку, проведите через начало координат отрезок прямой, проходящей как можно ближе к поставленным вами точкам.

- Сделайте и запишите вывод о характере зависимости силы тока в проводнике от напряжения на его концах.

- Выберите точку на построенном графике (как можно дальше от начала координат). Запишите координаты этой точки и вычислите сопротивление резистора по формуле $R = \frac{U}{I}$.

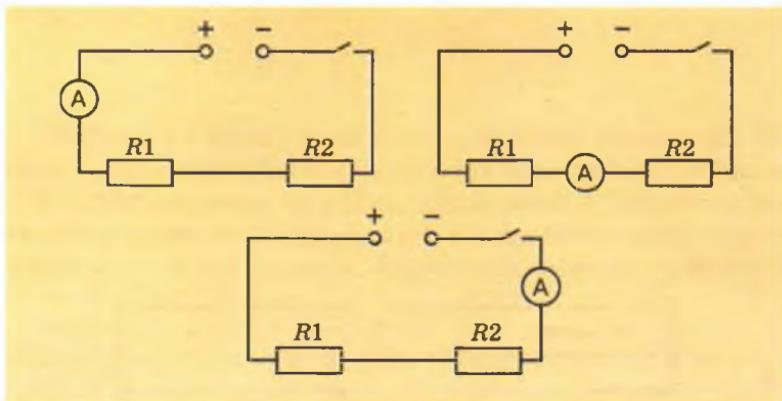
4. ИЗУЧЕНИЕ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОГО СОЕДИНЕНИЯ ПРОВОДНИКОВ

Цель работы: изучить свойства последовательного соединения проводников.

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

Ход работы

1. Соберите поочерёдно показанные на схемах электрические цепи. После замыкания ключа запишите показания амперметра в каждой из собранных цепей.



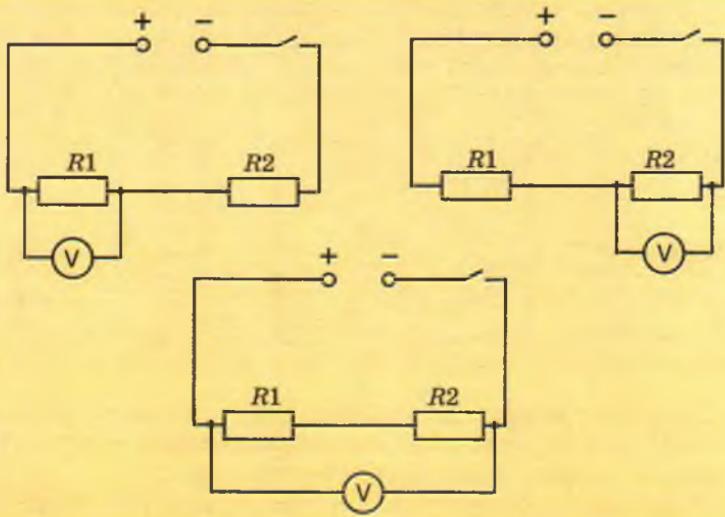
2. Сделайте вывод о значении силы тока в разных участках цепи при последовательном соединении проводников.

3. Соберите поочерёдно электрические цепи, показанные на схемах на с. 247 вверху. После замыкания ключа запишите показания вольтметра в каждой из собранных цепей.

4. Сделайте вывод: как связаны значения напряжения на каждом из резисторов (U_1 и U_2) и на двух резисторах (U) при последовательном соединении проводников.

5. Вычислите сопротивление каждого из резисторов: $R_1 = \frac{U_1}{I}$, $R_2 = \frac{U_2}{I}$. Вычислите общее сопротивление двух резисторов, используя формулу $R = \frac{U}{I}$.

6. Сравните полученные значения сопротивлений R_1 , R_2 , R . Сделайте вывод об общем сопротивлении цепи при последовательном соединении проводников.



5. ИЗУЧЕНИЕ ПАРАЛЛЕЛЬНОГО СОЕДИНЕНИЯ ПРОВОДНИКОВ

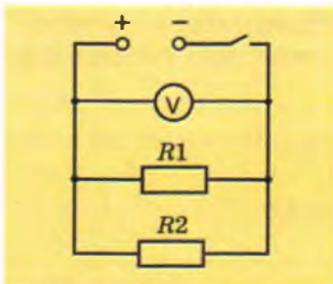
Цель работы: изучить свойства параллельного соединения проводников.

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

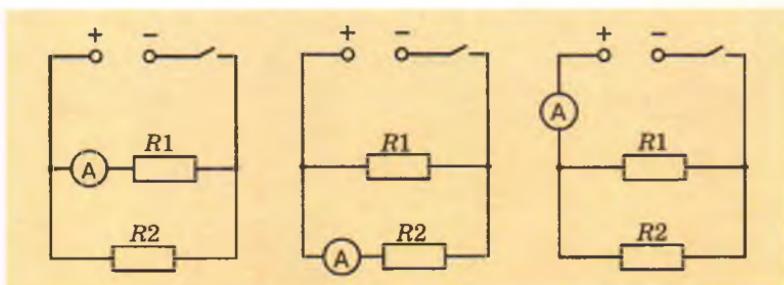
Ход работы

1. Соберите показанную на схеме электрическую цепь. После замыкания ключа запишите показания вольтметра.

2. Используя показания вольтметра, запишите, чему равно напряжение U_1 и U_2 на резисторах, а также общее напряжение U на участке цепи.



3. Соберите поочерёдно показанные на приведённых далее схемах электрические цепи. После замыкания ключа запишите показания амперметра в каждой из собранных цепей.



4. Сделайте вывод: как связаны значения силы тока в ветвях цепи (I_1 и I_2) и сила тока в неразветвлённой части цепи (I) при параллельном соединении проводников.

5. Вычислите сопротивление каждого из резисторов:

$$R_1 = \frac{U_1}{I_1}, \quad R_2 = \frac{U_2}{I_2}.$$

6. Вычислите общее сопротивление участка цепи из двух параллельно соединённых резисторов по результатам измерений, используя формулу $R = \frac{U}{I}$.

7. Сравните полученное значение сопротивления R с рассчитанным по формуле $R = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$. Сделайте вывод и запишите его.

6. ИЗУЧЕНИЕ ТЕПЛОВОГО ДЕЙСТВИЯ ТОКА И НАХОЖДЕНИЕ КПД ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО НАГРЕВАТЕЛЯ

Цель работы: изучить тепловое действие тока при нагревании воды в калориметре, измерить коэффициент полезного действия нагревателя.

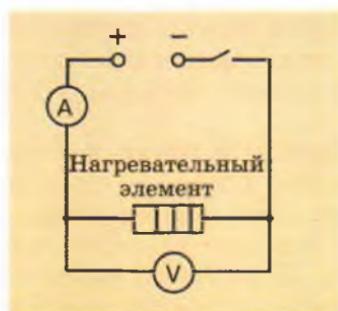
Оборудование: амперметр, вольтметр, калориметр с нагревателем, термометр, измерительный цилиндр, сосуд с водой.

Ход работы

1. Используя измерительный цилиндр, налейте в калориметр воду массой $m_b = 0,1$ кг комнатной¹ температуры. Опустите нагреватель в воду.

¹ Для обеспечения точности измерений следует наливать в калориметр воду именно комнатной температуры (а не, например, взятую только что из-под крана).

2. Соберите электрическую цепь по приведённой ниже схеме.



3. Измерьте начальную температуру воды $t_{\text{н}}$.

4. Включите нагреватель на время $t = 10$ мин. Измерьте силу тока I в нагревателе и напряжение U на нём.

5. Выключите нагреватель и измерьте конечную температуру воды $t_{\text{к}}$.

6. Вычислите количество теплоты $Q_{\text{в}}$, полученное водой. Значение удельной теплоёмкости воды найдите в учебнике.

7. Вычислите количество теплоты $Q_{\text{н}}$, выделившееся в нагревателе, используя формулу $Q = IUt$.

8. Полученные вами результаты измерений и вычислений запишите в таблицу:

$m_{\text{в}}, \text{кг}$	$t_{\text{н}}, ^{\circ}\text{C}$	$t_{\text{к}}, ^{\circ}\text{C}$	$Q_{\text{в}}, \text{Дж}$	$I, \text{А}$	$U, \text{В}$	$t, \text{с}$	$Q_{\text{н}}, \text{Дж}$	КПД, %

9. Вычислите коэффициент полезного действия нагревателя: он равен отношению $\frac{Q_{\text{н}}}{Q_{\text{в}}}$, выраженному в процентах.

Результат запишите в ту же таблицу.

7. ИЗУЧЕНИЕ МАГНИТНЫХ ЯВЛЕНИЙ

Цель работы: изучить характер взаимодействия постоянных магнитов и явление намагничивания железа, исследовать магнитное поле катушки с током.

Оборудование: два постоянных магнита, магнитная стрелка на подставке, железный гвоздь длиной 80—100 мм, баночка с железными опилками и мелкие стальные предметы, источник тока, проволочная катушка, соединительные провода, лист картона.

Ход работы

1. Возьмите в правую и левую руки по магниту. Сближая магниты, наблюдайте характер взаимодействия между ними (притяжение или отталкивание) в зависимости от того, какими полюсами вы сближаете магниты. Сделайте вывод и запишите его.

2. Приближая магнит к магнитной стрелке, наблюдайте, как она поворачивается. Сделайте вывод и запишите его.

3. Проверьте, обладает ли железный гвоздь заметными магнитными свойствами: притягивает ли он мелкие стальные предметы, налипают ли на него железные опилки.

4. Прижмите гвоздь одним концом к полюсу постоянного магнита и повторите опыты, описанные в п. 3. Сделайте вывод: как и почему изменились магнитные свойства железного гвоздя.

При проведении следующих опытов желательно, чтобы магнитная стрелка и лист с железными опилками находились примерно на одном уровне с осью катушки. Этого легко добиться, подкладывая книги под картон или катушку.

5. Положите проволочную катушку на стол и подключите её соединительными проводами к источнику тока.

6. Размещая магнитную стрелку в различных точках поблизости от проволочной катушки, зафиксируйте направления поворота стрелки. Сделайте в тетради схематический рисунок, на котором покажите проволочную катушку и направление поворота магнитной стрелки.

7. Изменив направление электрического тока на противоположное (для этого надо изменить подключение проводов к полюсам источника тока), наблюдайте изменение направления магнитного поля катушки. Сделайте вывод и запишите его.

8. Насыпьте на лист картона немного железных опилок и распределите их тонким слоем. Поднесите лист картона к проволочной катушке и слегка постучите по нему пальцем. Сделайте схематический рисунок, показывающий расположение железных опилок.

9. Соберите все опилки и высыпьте их в баночку.

8. НАБЛЮДЕНИЕ И ИЗУЧЕНИЕ ЯВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ ИНДУКЦИИ. ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ ТРАНСФОРМАТОРА

Цель работы: изучить, при каких условиях наблюдается явление электромагнитной индукции.

Оборудование: катушка-моток, источник тока, разборный школьный электромагнит, миллиамперметр¹, реостат, ключ, постоянные магниты, соединительные провода.

Ход работы

1. Помещая постоянный магнит (полосовой или дугообразный) в катушку-виток, а затем вынимая магнит из катушки, заметьте, когда в катушке возникает индукционный ток.

2. Ответьте с помощью опытов на следующие вопросы.

а) Есть ли ток в катушке, когда магнит и катушка неподвижны друг относительно друга?

б) Имеет ли значение для возникновения индукционного тока: движется магнит, а катушка неподвижна или движется катушка, а магнит — неподвижен?

в) Изменяется ли направление индукционного тока, когда магнит помещают внутрь катушки и когда его вынимают из катушки?

г) Зависит ли сила индукционного тока от относительной скорости движения магнита и катушки?

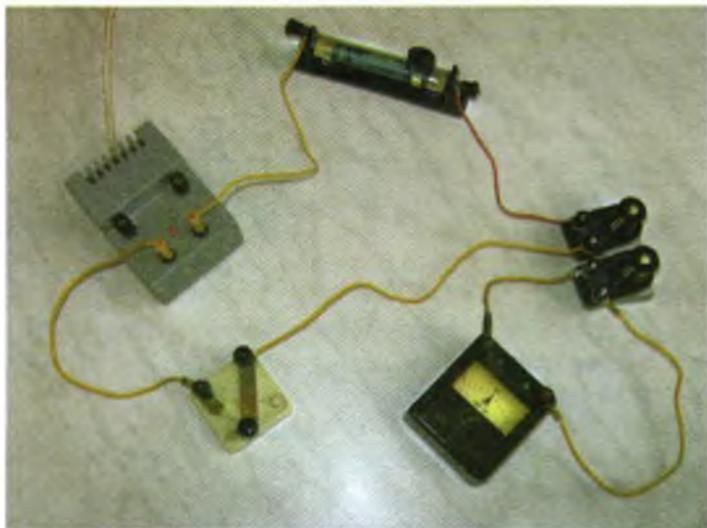
Запишите свои ответы.

3. Повторите описанные опыты, используя вместо постоянного магнита одну катушку разборного электромагнита, как показано на фотографии. Сделайте выводы и запишите их.



¹ При выполнении этой работы можно объединиться в группы по 4 человека.

4. Закрепите две катушки электромагнита с использованием сердечников на общем основании. Соедините одну катушку (через реостат) с источником постоянного тока, а другую — с миллиамперметром. Замыкая и размыкая ключ, наблюдайте за отклонениями стрелки миллиамперметра. В какие моменты во второй катушке возникает индукционный ток? Чем обусловлен этот ток? Запишите сделанный вами вывод.



5. Поочерёдно замыкайте и размыкайте ключ, наблюдая при этом за показаниями миллиамперметра. Объясните, почему этот опыт иллюстрирует принцип действия трансформатора. Ваши выводы запишите.

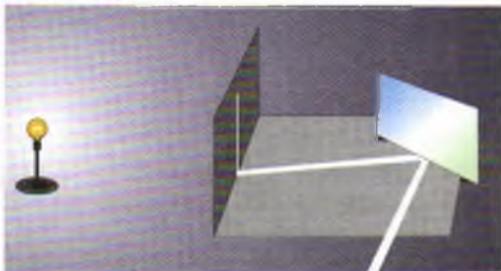
9. ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТИ УГЛА ОТРАЖЕНИЯ ОТ УГЛА ПАДЕНИЯ СВЕТА

Цель работы: проверить на опыте справедливость закона отражения света.

Оборудование: лампочка на подставке, источник питания, соединительные провода, экран со щелью, линейка, транспортир, лист бумаги, зеркало, плоскопараллельная пластина.

Ход работы

1. Включите лампочку и расположите её так, чтобы полоска света на бумаге была отчётливой (см. рисунок).



2. Поставьте на пути светового пучка зеркало, чтобы пучок отразился от него.

3. Обозначьте карандашом на бумаге отрезок, обозначающий положение зеркала. Отметьте на бумаге точку падения луча на зеркало и по одной точке на падающем и отражённом лучах (желательно подальше от зеркала).

4. Уберите с листа бумаги зеркало и экран и постройте ход падающего и отражённого лучей с использованием поставленных вами точек.

5. С помощью угольника проведите перпендикуляр к отрезку, обозначающему положение зеркала в точке падения светового пучка.

6. Измерьте транспортиром углы падения и отражения света. Какой вывод можно сделать из этого опыта?

7. Повторите описанный опыт ещё для двух разных углов падения света. Подтверждается ли сделанный вами вывод?

8. Проверьте выполнение закона отражения света от прозрачной поверхности, как изображено на фотографии. Для этого поставьте один опыт. Чтобы отражённый луч был хорошо заметен, угол падения света должен быть достаточно большим.



10. ИССЛЕДОВАНИЕ ЯВЛЕНИЯ ПРЕЛОМЛЕНИЯ СВЕТА¹

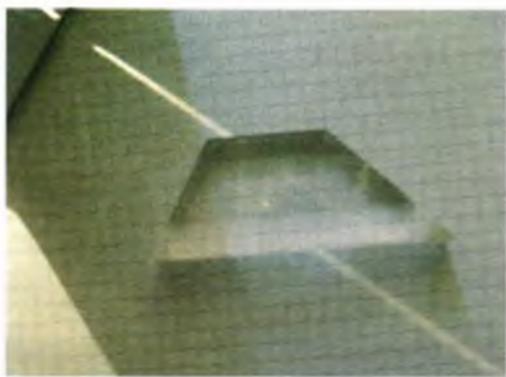
Цель работы: понаблюдать явление преломления света, сравнить углы падения и преломления света при переходе из воздуха в стекло и из стекла в воздух; убедиться, что после прохождения сквозь плоскостную параллельную пластинку выходящий луч параллелен падающему лучу.

Оборудование: лампочка на подставке, источник питания, соединительные провода, экран со щелью, плоскостная параллельная пластинка, лист бумаги, линейка, транспортир.

Ход работы

1. Включите лампочку и расположите её так, чтобы полоска света на бумаге была отчётливой.

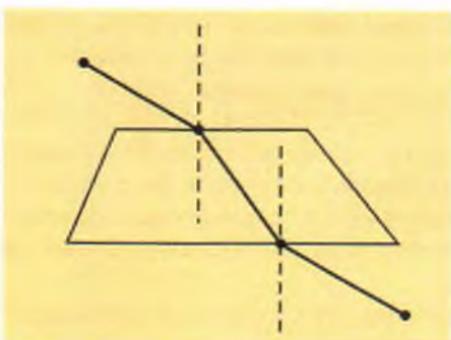
2. Положите на бумагу плоскостную параллельную пластинку так, чтобы луч света входил в неё через одну из двух параллельных граней и выходил через другую, как показано на фотографии.



3. Аккуратно обведите карандашом плоскостную параллельную пластинку. Отметьте на бумаге по две точки, лежащие на входящем и выходящем лучах (одна из этих точек должна быть у грани пластинки).

4. Выключите лампочку и сделайте построение хода луча при прохождении его сквозь плоскостную параллельную пластинку, как показано на рисунке.

¹ Желательно брать угол падения не менее 30° .



5. Обозначьте на вашем чертеже угол падения и угол преломления света при переходе света из воздуха в стекло. Измерьте эти углы с помощью транспортира, сравните их и сделайте вывод.

6. Обозначьте на вашем чертеже угол падения и угол преломления при переходе света из стекла в воздух. Измерьте эти углы с помощью транспортира, сравните их и сделайте вывод.

7. Проверьте, что после прохождения сквозь плоскопараллельную пластинку выходящий луч параллелен падающему лучу.

11. ИЗУЧЕНИЕ СВОЙСТВ СОБИРАЮЩЕЙ ЛИНЗЫ

Цель работы: научиться измерять фокусное расстояние собирающей линзы и изучить на опыте, какие изображения можно получить с помощью собирающей линзы.

Оборудование: собирающая линза на подставке, лампочка на подставке, экран, линейка, источник электрического тока, соединительные провода.

Ход работы

1. Лучи, падающие на линзу от достаточно удалённого источника света или предмета, можно считать приближённо параллельными, поэтому изображение будет находиться вблизи фокуса линзы. Исходя из этого, разместите линзу и экран так, чтобы на экране получилось чёткое изображение окна и предметов за окном¹.

¹ При недостаточном дневном освещении в качестве источника света можно использовать яркую лампу, расположенную достаточно высоко над демонстрационным столом.

2. Измерьте расстояние от линзы до экрана: оно приблизительно равно фокусному расстоянию линзы.

3. Зная фокусное расстояние линзы, разместите лампочку, линзу и экран так, чтобы линза давала чёткое изображение лампочки на экране, когда расстояние от лампочки до линзы:

а) больше двойного фокусного расстояния линзы;

б) равно двойному фокусному расстоянию линзы;

в) больше фокусного расстояния линзы, но меньше двойного фокусного.

Измерьте во всех этих случаях расстояние от линзы до изображения и сравните его с фокусным и двойным фокусным расстояниями линзы. Какие выводы вы можете сделать? Начертите ход лучей в линзе для этих случаев.

4. Проверьте, можно ли получить на экране изображение лампочки, если она находится от линзы на расстоянии, равном фокусному расстоянию линзы (или меньше). Какой вывод отсюда следует?

12. НАБЛЮДЕНИЕ ЯВЛЕНИЯ ДИСПЕРСИИ СВЕТА

Цель работы: наблюдать разложение пучка белого света в цветной спектр.

Оборудование: лампочка на подставке, плоскопараллельная пластинка со склоненными гранями, экран со щелью, источник питания, соединительные провода, экран.

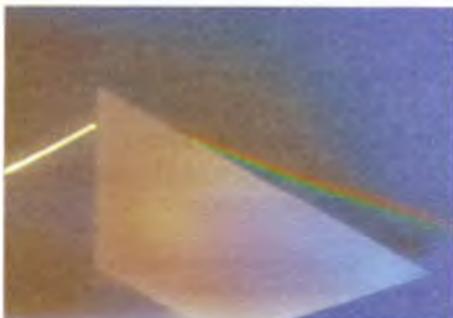
Ход работы

1. Включите лампочку и расположите её так, чтобы полоска света на бумаге была отчётливой.

2. Положите на пути светового пучка призму и поставьте белый экран так, чтобы после преломления в призме на экране наблюдался цветной спектр, как показано на фотографии.

3. Какие цвета спектра вы видите на экране и в каком порядке они расположены?

4. Лучи какого цвета преломляются в стекле сильнее других, а какие — слабее?



ПРИМЕРЫ ЗАДАНИЙ ДЛЯ ПРОЕКТНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

При работе над проектами используйте все доступные средства и технику (например, фото- и видеосъёмку, стробоскопическое освещение, лабораторное школьное оборудование и приборы).

1. Сконструируйте и изготовьте газовый термометр.
2. Изучите на опыте конвекцию в комнате при работе отопительных приборов (можно использовать, например, воздушный шарик, мыльные пузыри, листки бумаги).
3. Проведите опыты по сравнительному изучению плавления кристаллического тела и размягчения аморфного тела (например, стекла) при нагревании.
4. Сконструируйте и изготовьте модель теплового двигателя (у этого проектного задания может быть несколько вариантов).
5. Устройте в классе «суд» над тепловыми двигателями. Для этого разделитесь на «защитников» и «обвинителей» тепловых двигателей. Рассмотрите способы повышения КПД тепловых двигателей и уменьшения вредных для окружающей среды последствий их работы.
6. Изучите на опыте различные способы сообщения электрометру электрического заряда.
7. Устройте в классе «суд» над электризацией. Для этого разделитесь на «защитников» и «обвинителей» электризации. Рассмотрите способы усиления полезных её свойств и ослабления вредных.
8. Исследуйте (качественно), как зависит электроёмкость плоского конденсатора от площади его пластин и расстояния между ними.
9. Сконструируйте и изготовьте электрические схемы, соответствующие логическим схемам в компьютере: «нет» — когда лампа 1 загорается, лампа 2 гаснет, и наоборот; «или» — лампа 3 загорается, если загорается хотя бы одна из ламп 1 и 2; «и» — лампа 3 загорается, если загораются обе лампы 1 и 2.
10. Исследуйте на опыте зависимость сопротивления металлических проводников и электролитов от температуры (качественно).
11. Изучите на опыте вольт-амперную характеристику лампы накаливания и объясните основное её свойство.

12. Сконструируйте и изготовьте схему, позволяющую включать и выключать одну и ту же лампу переключателями, находящимися в различных местах.
13. Сконструируйте и изготовьте датчики температуры (используя термопару или термистор) и освещённости (используя фотоэлемент или фоторезистор).
14. Сконструируйте и изготовьте модель автоматического устройства для включения и выключения отопления в помещении.
15. Сконструируйте и изготовьте модель автоматического устройства для включения и выключения уличного освещения.
16. Сконструируйте и изготовьте модель электродвигателя.
17. Сконструируйте и изготовьте модель генератора электрического тока.
18. Изучите на опыте различные способы генерации электрического тока с использованием электромагнитной индукции.
19. Сконструируйте и изготовьте перископ, модель телескопа или подзорной трубы, модель микроскопа.
20. Сконструируйте и изготовьте калейдоскоп (используйте два зеркала, расположенные под углом 60°).
21. Сконструируйте и изготовьте камеру-обскуру.
22. Смоделируйте на опыте образование радуги (с помощью водяных брызг).

ОТВЕТЫ НА ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ

- § 3. 8. Нет. 10. 5 л. 11. 67 км.
§ 4. 10. 1,2 МДж. 13. 53 г.
§ 5. 12. 240 г. 13. 3,1 МДж.
§ 9. 7. Уменьшилась в 3 раза. Притяжение сменилось отталкиванием. 9. Миллиард.
§ 12. 6. 1800 Кл. 11. Параллельно. 12. 3 А. 13. И так, и так.
§ 13. 11. 1 Ом. 12. 500 м. 13. 0,5 мм².
§ 15. 10. 125 Дж. 11. 1 кДж. 14. 90 кВт · ч. 15. 360 м.
§ 16. 4. $I_1 = 3$ А, $I_2 = 1$ А, $I_3 = 2$ А. 5. 110 Вт, 40 Вт.
6. а) 900 Вт; б) 200 Вт.
§ 25. 8. 5°. 9. Нулю.

РАССКАЗЫ ОБ УЧЁНЫХ

МАЙКЛ ФАРАДЕЙ (1791–1867)

Майкл Фарадей родился в лондонском предместье. Семья жила бедно, и в 13 лет Майклу пришлось уйти из школы, чтобы зарабатывать на жизнь.

Работал он учеником переплётчика в лондонском книжном магазине. Здесь Майкл пристрастился к книгам: они всегда были у него под рукой в буквальном смысле слова.

«Когда я был учеником переплётчика, я любил читать попадавшиеся мне под руку научные книги, — рассказывал он. — Особенно нравились мне “Беседы по химии” мисс Марсе и статьи по электричеству в Британской энциклопедии». Благодарность к писательнице Фарадей сохранил на всю жизнь. Он писал: «...она открыла моему молодому и пытливому уму явления и законы необъятного мира естественно-научных знаний». Когда Фарадей стал известным учёным, он подарил Марсе свои научные труды с благодарственной надписью.

Фарадей до конца жизни гордился тем, что овладел ремеслом переплётчика. Полученные им впоследствии дипломы многих университетов и академий разных стран он переплёл в огромный том. Показывая его своим друзьям, он обращал их внимание прежде всего на качество переплёта.

Мастерство переплётчика помогло Фарадею и войти в мир науки. Один из посетителей магазина, в котором работал Майкл, как-то поинтересовался: что это с таким вниманием читает девятнадцатилетний переплётчик? Каково же было удивление посетителя, когда он обнаружил, что «необразованный» юноша изучает последний номер научного журнала «Химическое обозрение»! К счастью, этот посетитель оказался учёным. Он посоветовал Майклу посещать лекции профессора Дэви в Королевском институте.

Лекции Дэви произвели такое впечатление на молодого Фарадея, что он тщательно записал их, красиво переплёл и отправил профессору, добавив, что он, Майкл Фарадей, готов на любую работу у Дэви. Дэви был тронут таким вниманием к своим лекциям, но вынужден был отказать Фарадею, потому что в его лаборатории не было свободной должности. Однако вскоре, проводя опыт, Дэви повредил глаз и пригласил Майкла на временную работу в качестве секретаря. Дэви так понравились чёткость и качество работы Майкла, что при первой же возможности он взял его лаборантом.

Наконец-то Майкл получил доступ к столь любимым им научным приборам! Мало того: вскоре Дэви решает отправиться в длительное научное путешествие по Европе и берёт с собой Майкла в качестве ассистента. Начинают они с Франции. Удивительно, что это происходило во время наполеоновских войн, когда Англия и Франция были злейшими врагами! Однако в те времена это не мешало общению между учёными.

Мог ли мечтать юноша, только-только начавший входить в мир науки, о том, чтобы познакомиться с крупнейшими учёными Европы, побывать в знаменитых научных лабораториях и университетах!

«Сегодня начинается новая эпоха в моей жизни, — отметил Фарадей в записной книжке в день отъезда из Лондона. — До сих пор я не уезжал от Лондона дальше, чем на двадцать миль».

Во время путешествия Майкл встречается с самыми известными европейскими учёными, которые отмечают эрудицию и личное обаяние молодого человека. «Дэви мы восхищались, — вспоминал позднее один из французских учёных, — Фарадея же мы полюбили». Эти слова означают, в числе прочего, что двадцатилетний Фарадей уже говорил на иностранных языках, а ведь он не закончил даже обычной школы!

Вот как увлечённо описывает сам Фарадей один из опытов, поставленных им совместно с Дэви в Италии. «Сегодня мы выполнили великий эксперимент, заставив гореть алмаз... Горящий алмаз светился багровым светом, переходящим в пурпурный...» Именно в этом опыте была окончательно доказана единая природа алмаза и графита.

По возвращении в Лондон Фарадей начинает самостоятельную научную работу. Всего за несколько лет самоучка Фарадей опубликовал десятки научных статей! Все дни недели, и даже вечера, у него были расписаны по часам: в понедельник и четверг — самообразование, по средам — научный кружок, членами которого были близкие друзья, суббота — с мамой, вторник и пятница — встречи с друзьями. Фарадей никогда не забывал о близких, и они отвечали ему тем же: он всегда был окружён любовью и заботой.

Брак Фарадея был на редкость счастливым. Его близкий друг писал: «Никогда не было более мужественной, более чистой и более постоянной любви. Подобно сверкающему алмазу, она в течение сорока шести лет (до конца жизни Фарадея) излучала свой ясный и чистый свет. Более, чем всё другое, она способствовала счастью и состоянию духа Фарадея».

В 1820 году Дэви получает статью Эрстеда, в которой описывался поворот магнитной стрелки вблизи проводника с током (см. § 18. *Магнитные взаимодействия*).

Дэви и Фарадей тут же с успехом повторили эксперимент Эрстеда и поняли его значение: рушилась стена между электричеством и магнетизмом, которые до той поры учёные никак не связывали друг с другом!

Открытие Эрстеда произвело столь сильное впечатление на Фарадея, что главной своей задачей он поставил «получить электричество из магнетизма» (так он отметил в записной книжке). Майкл даже носил в кармане маленький магнит, который должен был постоянно напоминать ему об этой задаче.

В сохранившихся записных книжках Фарадея можно найти описания его многочисленных опытов. Но в течение долгих десяти лет все они заканчиваются выводом «результата нет».

Упорство учёного было вознаграждено 29 августа 1831 года. Фарадей намотал две катушки провода на общий сердечник, и вдруг заметил, что в моменты включения или выключения тока в одной из катушек возникал ток и в другой катушке. Так было открыто явление электромагнитной индукции (см. § 20. *Электромагнитная индукция*). Сорокалетний учёный танцевал от радости на лабораторном столе...



С помощью этих катушек провода, намотанных на общий сердечник, Фарадей открыл явление электромагнитной индукции

Закон электромагнитной индукции называют сегодня законом Фарадея. Но это не единственный закон природы, носящий его имя. Он открыл, в частности, и законы электролиза — их также называют законами Фарадея.

Как-то лабораторию Королевского института посетили некоторые важные гости. Один из них, рассматривая приборы Фарадея, произнёс: «Какая может быть польза от этих игрушек?»

Фарадей ответил вопросом: «А какая польза от новорожденного?»

Но, наверное, даже сам Фарадей не мог представить себе тогда, каким могучим великаном станет его «новорожденный»: ведь именно благодаря открытиям Фарадея следующий, двадцатый, век назовут веком электричества.

В 1835 году у Фарадея обнаружили признаки сильного переутомления. Ему пришлось постепенно отказываться от многих видов деятельности. Сначала он отказался от заседаний в Совете Королевского института, потом от исследований. Затем ему пришлось отказаться от подготовки к изданию своих книг и практически от всех контактов с людьми. Последнее, от чего он долго не хотел отказываться, были знаменитые научно-популярные лекции для детей и юношества, названные впоследствии Фарадеевскими.

Лекции Фарадея очень тщательно готовились, и каждая лекция превращалась в праздник знаний. К сожалению, до нас дошёл только один курс его лекций — «История свечи». Он переведён на многие языки (в том числе и на русский).



Лекция Фарадея

Фарадей любил своих юных слушателей и говорил: «Я не встречал мальчика или девочки, которые не понимали бы моих объяснений». Он писал: «Изучение естественных наук — отличная школа для ума. Нет школы для ума лучше той, где даётся понятие о замечательном единстве и неуничтожимости материи и сил природы».

В 1845 году к Фарадею возвращается прежняя работоспособность. И за один год он делает сразу два важных открытия (о них будет рассказано в курсе физики старших классов).

В 1851 году Фарадей представляет Королевскому обществу очередные две работы своей знаменитой серии «Опытные исследования по электричеству». В этих работах Фарадей вводит одно из важнейших понятий во всей истории науки — понятие поля. Оно имело огромное значение для всего последующего развития физики.

АЛЕКСАНДР СТЕПАНОВИЧ ПОПОВ (1859—1906)

Александр Степанович Попов родился на Урале. Уже в детстве его начали интересовать различные приборы и механизмы, которые он видел в доме управляющего медными рудниками: гальваническая батарея элементов, электрический звонок, швейная машинка. Мальчик даже сам смастерили электрический будильник!

Александра отдали учиться в духовное училище, потому что он был сыном священника. Но там преподавали и математику, а также естественные науки. Товарищи прозвали Сашу «математиком»: он собирался продолжить обучение в университете.

Успешно сдав экзамены, Попов стал студентом физико-математического факультета Петербургского университета. Через год после окончания университета он занял место преподавателя физики и электротехники в Минном офицерском классе в Кронштадте (это город-порт на острове Котлин вблизи Петербурга). Работая в Минном классе, он прочёл работу немецкого физика Генриха Герца об экспериментальном подтверждении существования электромагнитных волн, предсказанных Максвеллом (см. § 22. Электромагнитные волны). Попов успешно повторил опыты Герца.

В лекции для морских офицеров А. С. Попов сказал: «Человеческий организм не имеет такого органа чувств, который замечал бы электромагнитные волны: если бы изобрести такой прибор, который бы заменил нам электромагнитные чувства, то его можно было бы применять к передаче сигналов на расстояние». Эти слова Попова стали предсказанием открытия радио.

Учёный занялся усовершенствованием не только источника электромагнитных волн, но и приёмника таких волн. Одним из важнейших результатов работы А. С. Попова стало изобретение антенны, благодаря чему удалось значитель-

но увеличить дальность радиосвязи. Созданный им прибор учёный продемонстрировал на заседании Русского физико-химического общества 25 апреля (7 мая) 1895 года в здании физического кабинета Петербургского университета. Свой доклад учёный закончил словами: «В заключение могу выразить надежду, что мой прибор, при дальнейшем усовершенствовании его, может быть применён к передаче сигналов на расстояние при помощи быстрых электрических колебаний, как только будет найден источник таких колебаний, обладающий достаточной энергией». День 7 мая ежегодно отмечают в России как День радио.

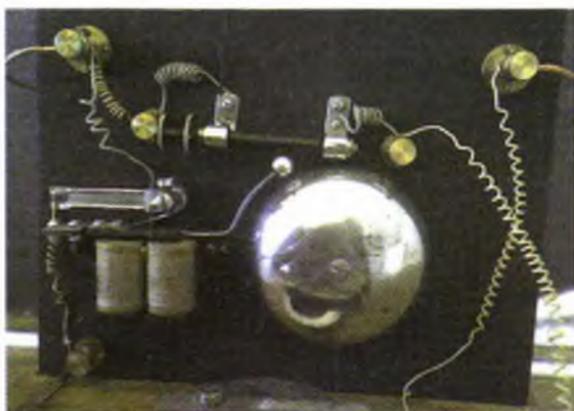
Ранней весной 1896 года Попов начал первые опыты по передаче сигналов на расстояние с более совершенным прибором. И 12 (24) марта 1896 года была передана первая в мире радиограмма: «Генрих Герц». Это вызвало восторг присутствовавших и овации. Расстояние между приёмником и передатчиком составляло тогда всего 250 м, но в 1897 году расстояние приёма увеличилось до 5 км, а в 1899 году — до 50 км.

Летом 1896 года появились сообщения об изобретении в этой же области итальянца Маркони, правда, никаких сведений о методах передачи или аппаратах не приводилось. Александр Степанович заинтересовался этими работами и догадался, что Маркони повторил его работы. Но А. С. Попов признавал заслуги Маркони. Он писал: «Маркони имел смелость стать на практическую почву и достиг в своих опытах больших расстояний усовершенствованием действующих приборов и усилением энергии источников электрических колебаний». Маркони, в свою очередь, признавал, что Попов первым осуществил передачу радиосигналов на расстояние. Однако Попов, в отличие от более практического Маркони, не оформил патент на своё изобретение, поэтому во многих европейских странах изобретателем радио считают Маркони.

А. С. Попов продолжал работу над усовершенствованием своего изобретения. Помогало ему только Морское министерство (кстати, работу Маркони поддержало тоже морское ведомство — британское адмиралтейство). В помощь Александру Степановичу для работы в мастерской дали нескольких офицеров и матросов, полных энтузиазма, но мало подготовленных. Тем не менее работы продвигались успешно и скоро вышли из стадии опытов.

В 1897 году А. С. Попов принял отражённые радиоволны и указал на возможность практического применения этого явления. Впоследствии это открытие легло в основу радиолокации.

С помощью радио в 1899 году удалось спасти 50 рыбаков, оставшихся на отколовшейся льдине: на ледокол «Ермак» была передана радиограмма, и ледокол спас рыбаков.



Радиоприёмник А. С. Попова

В 1900 году на Всемирной выставке в Париже Александр Степанович получил за своё изобретение большую золотую медаль и диплом. В 1901 году он стал председателем Русского электротехнического общества и был назначен профессором физики в Электротехнический институт.

Работа А. С. Попова в Электротехническом институте длилась всего четыре года. В 1905 году совет института избирает А. С. Попова ректором. Но положение ректора оказалось смертельно опасным для ранимой души учёного. 31 декабря 1905 года (13 января 1906 года) его в очередной раз вызвали к министру внутренних дел Дурново, в ведении которого находился Электротехнический институт. После бурного объяснения с министром учёный скончался от кровоизлияния в мозг.

Именем А. С. Попова названы малая планета, Центральный музей связи России, спутник связи, учебные заведения, институты, предприятия, улицы, теплоход, премии, медали, дипломы. Ему воздвигнуты памятники в Санкт-Петербурге, Москве, Кронштадте и других городах.

ПРЕДМЕТНО-ИМЕННОЙ УКАЗАТЕЛЬ

- А**ккомодация 225
Алфёров Ж. И. 124
Ампер (единица силы тока) 88
Ампер А. 133
Амперметр 89
Архимед 191
Атом 59
Влажность воздуха 38
Внутренняя энергия 7
Вольт (единица напряжения) 75
Вольта А. 75, 81
Гальванический элемент 82
Гельмгольц Г. 10
Генератор переменного тока 154
— электромагнитных колебаний 165
Геометрическая оптика 182
Герц Г. 163
Гигрометр 38
Двигатель внутреннего сгорания 43
— тепловой 40
— реактивный 41
Демодуляция 164
Джоуль (единица работы и энергии) 9
Джоуль Дж. 10, 111
Диопtrия 221
Дисперсия света 234
Диффузное отражение 190
Дизлектрик 62
Дырка (носитель заряда) 125
Закон Джоуля — Ленца 111
— Кулона 70
— Ома для участка цепи 97
— отражения света 187, 189
— преломления света 204
— сохранения электрического заряда 69
— — энергии 10
Затмение солнечное 183
Излучение 17
Изображение действительное 195, 216
— мнимое 194, 218
Индукционный ток 150
Источники света естественные 175
— — искусственные 175
— — протяжённые 177, 182
— — тепловые 174
— — точечные 177, 182
— — холодные 175
Ион 60
Иоффе А. Ф. 71
Испарение 34
Калориметр 23
Карно С. 10, 45
Кипение 35
Колебательный контур 165
Количество теплоты 9
Коллектор 145
Конвекция 15
Конденсатор 75
Конденсация 33
Короткое замыкание 114
КПД 46
Кристаллизация 30
Кулон (единица электрического заряда) 69, 136
Кулон Ш. 69
Ленц Э. Х. 111, 150
Линза 208
— рассеивающая 211, 220
— собирающая 210, 219
— тонкая 210
Линии магнитной индукции 140
Лодыгин А. Н. 84
Ломоносов М. В. 9, 18
Луч света 182
Магнитное поле 140
Майер Р. 10
Максвелл Дж. 162
Микроскоп 227
Микросхема интегральная 124

- Милликен Р.** 71
Модуляция 164
Молниеотвод 57
Мощность тока 112
Направление тока 80
Насыщенный пар 38
Нейтрон 59
Обратимость хода световых лучей
 190, 213
Объектив 224, 228, 229
Окуляр 228, 229
Ом (единица сопротивления) 95
Ом Г. 95, 97
Оптическая сила линзы 221
Парообразование 33
Переменный ток 154
Плавление 28
Ползунов И. И. 40
Полупроводник 122
Попов А. С. 163, 262
Предохранитель 115
Психометр 38
Правило правой руки 134, 141
Проводник 61
Протон 59
Работа тока 111
Резистор 94
Ремер О. 178
Реостат 106
Ротор 146, 156
Свет 163, 172
Сила Ампера 143
 — Лоренца 146
 — тока 88
Статор 146, 156
Телескоп 229
Температура 12
 — кипения 35
 — плавления 28
Тепловое равновесие 13
Теплопередача 9
Теплопроводность 13
Термометр 13
Терморезистор 124
Точка росы 38
Транзистор 124
Трансформатор 159
Уатт Дж. 40
Удельная теплоёмкость 21
 — теплота парообразования 36
 — — плавления 30
 — — сгорания топлива 26
Удельное сопротивление 96
Уравнение теплового баланса 23
Фарадей М. 72, 149, 162, 258
Физо А. 178
Фокус линзы 211, 212
Фокусное расстояние линзы 211
Формула тонкой линзы 221
Фотореаистор 124
Франклайн Б. 57
Фуко Ж. 178
Циолковский К. Э. 42
Шкала Цельсия 13
Эдисон Т. 84
Электризация 54
Электрическая дуга 83
 — цепь 82
Электрический заряд 54
 — ток 80
Электрическое взаимодействие 53
 — напряжение 75
 — поле 72
 — сопротивление 95
Электроёмкость 75
Электролиз 85
Электролит 61
Электромагнит 135
Электромагнитная волна 162
Электромагнитное реле 137
Электромагнитные колебания 166
Электрометр 66
Электрон 59
Электростатическая индукция 62
Элементарный электрический
 заряд 71
Энергия электрического поля 74
Эрстед Х. 132
Яблочкив П. Н. 84
Явление самоиндукции 152
 — электромагнитной индукции
 150
Ядро атома 59
Якоби Б. С. 145

ОГЛАВЛЕНИЕ

Об этом учебнике	3
Глава 1. ТЕПЛОВЫЕ ЯВЛЕНИЯ	
§ 1. Внутренняя энергия. Количество теплоты	6
1. Тепловые явления	6
2. Внутренняя энергия	6
3. Способы изменения внутренней энергии	8
4. Закон сохранения энергии	9
§ 2. Температура. Виды теплопередачи	12
1. Температура	12
2. Виды теплопередачи	13
○ 3. Почему днём ветер дует с моря?	17
○ 4. Существует ли самая высокая и самая низкая температура?	18
§ 3. Удельная теплоёмкость	21
1. Удельная теплоёмкость	21
2. Уравнение теплового баланса	22
§ 4. Энергия топлива. Плавление и кристаллизация	26
1. Удельная теплота сгорания	26
2. Плавление	28
3. Кристаллизация	30
§ 5. Парообразование и конденсация	33
1. Парообразование и конденсация	33
2. Испарение	34
3. Кипение	35
4. Удельная теплота парообразования	36
○ 5. Может ли вода кипеть при комнатной температуре?	37
○ 6. Насыщенный пар и влажность	38
§ 6. Тепловые двигатели	40
1. Паровая турбина	40
2. Реактивный двигатель	41
3. Тепловые двигатели и защита окружающей среды	43
○ 4. Двигатель внутреннего сгорания	43
○ 5. Преобразования энергии при работе теплового двигателя ..	45
○ 6. Коэффициент полезного действия теплового двигателя ..	46

Глава 2. ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ ЯВЛЕНИЯ

§7. Электризация тел	52
1. Электрические взаимодействия.....	52
2. Два рода электрических зарядов	54
○ 3. Полезна или вредна электризация тел?	55
○ 4. Отчего бывают грозы?	56
§8. Носители электрического заряда.	
Проводники и диэлектрики	59
1. Строение атома и носители электрического заряда	59
2. Проводники.....	61
3. Диэлектрики	62
○ 4. Электростатическая индукция	62
○ 5. Почему незаряженные тела притягиваются к заряженным?	63
§9. Закон сохранения электрического заряда.	
Элементарный электрический заряд	66
1. Электрометр	66
2. Закон сохранения электрического заряда.....	68
○ 3. Закон Кулона.....	69
○ 4. Заряд электрона и элементарный электрический заряд	70
§10. Электрическое поле	72
1. Электрическое поле	72
2. «Картины» электрического поля.....	73
3. Энергия электрического поля	74
4. Конденсаторы	74
5. Напряжение	75
○ 6. Можно ли почувствовать электрическое поле?	76
§11. Электрический ток. Действия электрического тока	80
1. Электрический ток и условия его существования	80
2. Источники тока	81
3. Электрическая цепь.....	82
4. Действия электрического тока	83
§12. Сила тока и напряжение.....	88
1. Сила тока	88
2. Напряжение на участке цепи	89
3. Сила тока и напряжение при последовательном соединении проводников	90
4. Сила тока и напряжение при параллельном соединении проводников	91
§13. Сопротивление. Закон Ома для участка цепи	94
1. Электрическое сопротивление проводника	94
2. Удельное сопротивление вещества.....	96

3. Закон Ома для участка цепи.....	97
○ 4. Как зависит удельное сопротивление проводников от температуры?	98
○ 5. Примеры решения более трудных задач	99
§ 14. Последовательное и параллельное соединения проводников..	102
1. Последовательное соединение	102
2. Параллельное соединение.....	104
3. Реостаты	106
○ 4. Задачи на последовательное и параллельное соединения проводников	106
○ 5. Почему сопротивление провода прямо пропорционально его длине и обратно пропорционально площади поперечного сечения?	107
§ 15. Работа и мощность электрического тока.....	111
1. Закон Джоуля — Ленца и работа тока.....	111
2. Мощность тока	112
3. Киловатт-час	113
4. Короткое замыкание и предохранители	114
○ 5. Мощность тока в последовательно и параллельно соединённых проводниках	115
§ 16. Примеры расчёта электрических цепей.....	118
1. Электрические цепи с последовательным и параллельным соединениями проводников.....	118
2. Мощность тока в цепи с последовательным и параллельным соединениями проводников.....	120
§ 17. Полупроводники и полупроводниковые приборы.....	122
1. Полупроводники	122
2. Полупроводниковые приборы	124
○ 3. Носители зарядов в полупроводниках	125
§ 18. Магнитные взаимодействия	130
1. Взаимодействие постоянных магнитов.....	130
2. Взаимодействие между проводниками с токами и магнитами	132
3. Электромагниты.....	135
○ 4. Как определяют единицы силы тока и заряда?	136
○ 5. «Молекулярные токи» Ампера.....	137
○ 6. Электромагнитные реле.....	137
§ 19. Магнитное поле	140
1. Магнитное поле.....	140
2. Действие магнитного поля на проводник с током.....	143
3. Действие магнитного поля на рамку с током.....	143
○ 4. Электроизмерительные приборы. Электродвигатель.....	144

○ 5. Действие магнитного поля на движущиеся заряженные частицы	146
§ 20. Электромагнитная индукция	149
1. Явление электромагнитной индукции	149
2. Правило Ленца	150
○ 3. Самоиндукция	152
§ 21. Производство и передача электроэнергии	154
1. Генератор переменного тока	154
2. Типы электростанций и их воздействие на окружающую среду	157
○ 3. Почему электроэнергию передают под высоким напряжением?	158
○ 4. Как повышают и понижают напряжение?	159
○ 5. Альтернативные источники электроэнергии	160
§ 22. Электромагнитные волны	162
1. Теория Максвелла и электромагнитные волны	162
2. Принципы радиосвязи	163
○ 3. Генератор электромагнитных колебаний	165
○ 4. Как работает мобильный телефон?	166

Глава 3. ОПТИЧЕСКИЕ ЯВЛЕНИЯ

§ 23. Действия света. Источники света	172
1. Что для нас значит солнечный свет?	172
2. Действия света	173
3. Источники света	174
○ 4. Как впервые измерили скорость света?	178
○ 5. Свечение живых организмов	178
§ 24. Тень и полутень	180
1. Световые пучки и световые лучи	180
2. Тень и полутень	182
3. Солнечные и лунные затмения	183
○ 4. При каком освещении нет теней?	184
○ 5. Некоторые затмения в прошлом	184
§ 25. Отражение света	187
1. Почему мы видим предметы?	187
2. Зеркальное отражение	187
3. Диффузное (рассеянное) отражение	190
○ 4. Как Архимед сжёг корабли римлян	191
§ 26. Изображение в зеркале	192
1. Где находится изображение предмета в зеркале?	192
2. Как возникает изображение в зеркале?	193
3. Где и как применяют зеркала?	196

○ 4. Что зеркало меняет местами?	197
○ 5. Сколько изображений могут дать два зеркала?	198
§ 27. Преломление света.....	201
1. Наблюдения и простые опыты	201
2. Законы преломления света.....	203
○ 3. Прохождение света сквозь плоскопараллельную пластинку	205
○ 4. Прохождение света сквозь одну и две призмы	205
§ 28. Линзы.....	208
1. Типы линз и элементы линзы.....	208
2. Фокусы линз	210
3. Как измерить фокусное расстояние собирающей линзы? ...	212
4. Ход луча, идущего через оптический центр линзы.....	213
○ 5. Обратимость хода лучей в применении к линзам	213
§ 29. Изображения, даваемые линзами	215
1. Изображения, даваемые собирающей линзой.....	215
2. Изображения, даваемые рассеивающей линзой	220
3. Оптическая сила линзы	220
○ 4. Формула тонкой линзы	221
§ 30. Глаз и оптические приборы.....	223
1. Фотоаппарат и видеокамера	223
2. Глаз	224
3. Киноаппарат и проектор	226
○ 4. Как устроен микроскоп?	227
○ 5. Как устроен телескоп?	229
○ 6. Как мы определяем на глаз расстояния до предметов?	231
§ 31. Цвет	233
1. Дисперсия света	233
2. Почему лист зелёный, а роза красная?	234
○ 3. Как возникает радуга?	235
○ 4. Как глаз различает цвета?.....	237
○ 5. Сколько цветов на экране телевизора?	237
Лабораторные работы.....	243
Примеры заданий для проектной деятельности	257
Ответы на вопросы и задания.....	258
Рассказы об учёных.....	259
Предметно-именной указатель	266