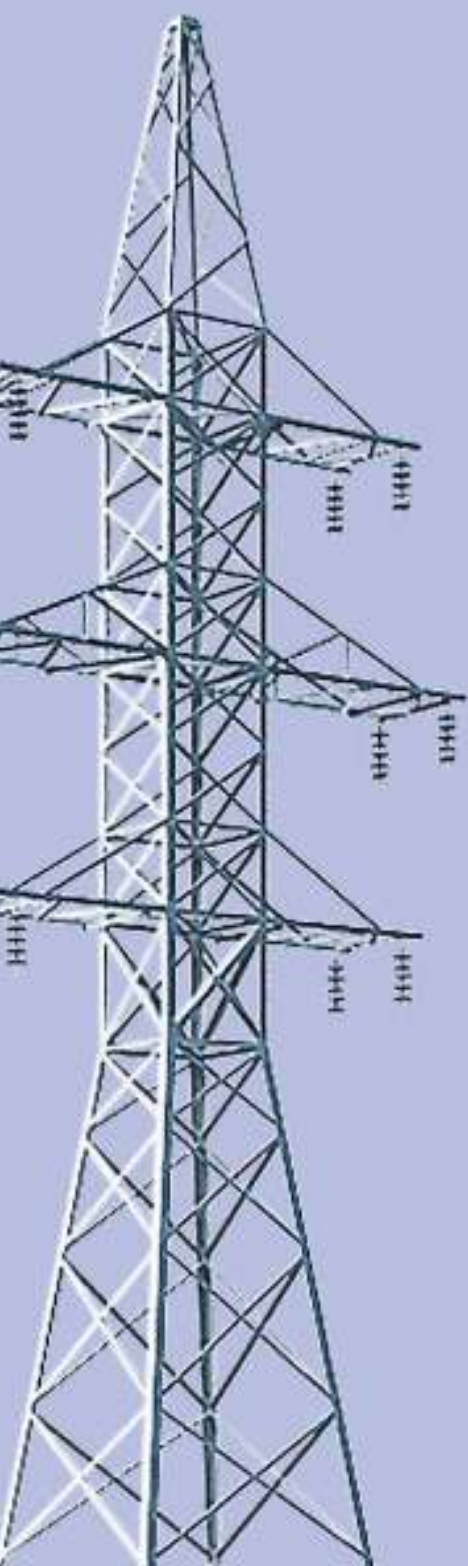


Л. А. Исаченкова Ю. Д. Лещинский В. В. Дорофейчик

ФИЗИКА



8



**ВОЛЬТА АЛЕССАНДРО**

(1745–1827)

Итальянский физик и физиолог. Изобрел первый источник постоянного тока и ряд электрических приборов: электрометр, конденсатор и др. Открыл взаимную электризацию разнородных металлов при их контакте. Проводя физиологические опыты, установил электрическую раздражимость органов зрения и вкуса у человека, нервов и мышц у животных. Эти опыты легли в основу методов физиологического эксперимента.

ФАРАДЕЙ МАЙКЛ

(1791–1867)

Английский физик, химик. Талантливый экспериментатор, основатель учения об электрическом поле. Исследовал связь между электрическими и магнитными явлениями. Изучал возможность «превратить магнетизм в электричество» и достиг успеха, открыв явление электромагнитной индукции, лежащее в основе генераторов тока. Доказал тождественность различных видов электричества.

**АМПЕР АНДРЕ МАРИ**

(1775–1836)

Французский физик и математик. К 14 годам прочитал все 20 томов «Энциклопедии» Д. Дидро и Ж.Л. Д'Аламбера и занялся естественными науками и математикой. Открыл взаимодействие электрических токов и установил закон для определения силы этого взаимодействия. Построил первую теорию магнетизма, основанную на гипотезе молекулярных токов.

ЛЕНЦ ЭМИЛИЙ ХРИСТИАНОВИЧ

(1804–1865)

Русский физик и электротехник. Дал методы расчета электромагнитов, установил обратимость электрических машин. Точными экспериментами обосновал закон теплового действия электрического тока. Исследовал зависимость сопротивления металлов от температуры.

**КУЛОН ШАРЛЬ ОГЮСТЕН**

(1736–1806)

Французский физик и военный инженер. Большой вклад внес в прикладную механику. Сформулировал законы трения, упругого кручения. Построил крутильные весы для определения силы. С их помощью установил закон взаимодействия точечных зарядов. Сконструировал магнитометр. Заложил основы электро- и магнитостатики.

ДЖОУЛЬ ДЖЕЙМС ПРЕСКОТТ

(1818–1889)

Английский физик. Внес большой вклад в исследование электричества, магнетизма, тепловых явлений, в создание физики низких температур, в обоснование закона сохранения энергии. Установил зависимость количества теплоты, выделившегося в проводнике, от его сопротивления и силы тока (закон Джоуля–Ленца). Определил механический эквивалент теплоты, теплоемкости некоторых газов и др.

**ОМ ГЕОРГ СИМОН**

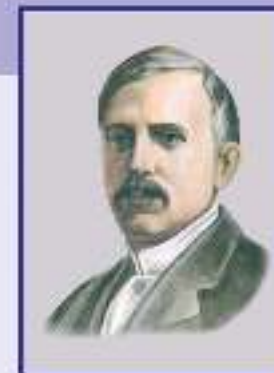
(1787–1854)

Немецкий физик. Основные труды посвящены электричеству, оптике, акустике. Установил основной закон электрической цепи (закон Ома) и дал его теоретическое обоснование.

РЕЗЕРФОРД ЭРНЕСТ

(1871–1937)

Английский физик. Лауреат Нобелевской премии (1908). Один из создателей учения о радиоактивности и строении атома. Предложил планетарную модель атома. Осуществил первую искусственную ядерную реакцию. Предсказал существование нейтрона.



Л. А. Исаченкова Ю. Д. Лещинский В. В. Дорофейчик

ФИЗИКА

Учебное пособие для 8 класса
учреждений общего среднего образования
с русским языком обучения

Под редакцией *Л. А. Исаченковой*

*Допущено
Министерством образования
Республики Беларусь*

Минск «Народная асвета» 2018

Правообладатель Народная асвета

УДК 53(075.3=161.1)
ББК 22.3я721
ИЗО

Рецензенты:

кафедра физики и методики преподавания физики учреждения образования
«Белорусский государственный педагогический университет имени Максима Танка»
(кандидат физико-математических наук, доцент *О. Н. Белая*);
учитель физики высшей квалификационной категории государственного
учреждения образования «Гимназия № 10 г. Минска» *Т. В. Олихвер*

ISBN 978-985-03-2933-2

© Исаченкова Л. А., Лещинский Ю. Д., Доро-
фейчик В. В., 2018
© Оформление. УП «Народная асвета», 2018

Правообладатель Народная асвета

СОДЕРЖАНИЕ

От авторов	4
------------------	---

Глава 1. Тепловые явления

§ 1. Внутренняя энергия	6
§ 2. Способы изменения внутренней энергии	8
§ 3. Теплопроводность	12
§ 4. Конвекция	16
§ 5. Излучение	18
§ 6. Расчет количества теплоты при нагревании и охлаждении. Удельная теплоемкость	22
§ 7. Горение. Удельная теплота сгорания топлива	28
§ 8. Плавление и кристаллизация ..	32
§ 9. Удельная теплота плавления и кристаллизации	36
§ 10. Испарение жидкостей. Факторы, влияющие на скорость испарения	40
§ 11. Кипение жидкостей. Удельная теплота парообразования	44

Глава 2. Электромагнитные явления

§ 12. Электризация тел. Взаимодействие зарядов	52
§ 13. Проводники и диэлектрики ..	56
§ 14. Электризация через влияние	60
§ 15. Электрический заряд. Элементарный заряд	64
§ 16. Строение атома. Ионы	67
§ 17. Электрическое поле. Электрическое напряжение	70
§ 18. Единица электрического напряжения. Расчет работы в электрическом поле	73
§ 19. Электрический ток. Источники тока	76
§ 20. Сила и направление электрического тока	79
§ 21. Электрическая цепь. Измерение силы тока и напряжения	81
§ 22. Связь силы тока и напряжения. Закон Ома для участка электрической цепи	85

§ 23. Единица сопротивления. Расчет сопротивления	88
§ 24. Последовательное соединение проводников. Реостат	94
§ 25. Параллельное соединение проводников	98
§ 26. Работа и мощность электрического тока. Закон Джоуля — Ленца	102
§ 27. Использование и экономия электроэнергии. Безопасность при работе с электроприборами (для дополнительного чтения)	106
§ 28. Постоянные магниты	110
§ 29. Магнитное поле	114
§ 30. Магнитное поле тока	117
§ 31. Магнитное поле прямого проводника и катушки с током. Электромагнит	119

Глава 3. Световые явления

§ 32. Источники света	124
§ 33. Скорость света. Прямолинейность распространения света	128
§ 34. Отражение света	132
§ 35. Зеркала. Изображение в плоском зеркале	136
§ 36. Преломление света	140
§ 37. Линзы. Оптическая сила линзы	144
§ 38. Построение изображений в тонких линзах	148
§ 39. Глаз как оптическая система	152
§ 40. Дефекты зрения. Очки	154

Глава 4. Лабораторный эксперимент

Лабораторная работа № 1	158
Лабораторная работа № 2	159
Лабораторная работа № 3	161
Лабораторная работа № 4	162
Лабораторная работа № 5	164
Лабораторная работа № 6	165
Лабораторная работа № 7	167
Ответы к упражнениям	169
Предметный указатель	171
Приложение	173

Дорогие восьмиклассники!

Материал данного пособия познакомит вас с новыми физическими явлениями, наиболее важными законами природы и их значением для науки, техники и практической жизни. Однако, чтобы решать практические задачи, объяснять происходящее в окружающем нас мире, необходимо понять физические явления, усвоить их суть, основные закономерности, которым они подчиняются. Чтобы работа с учебным пособием была более продуктивной, мы хотели бы дать вам несколько советов.

Прочитайте параграф сначала обзорно, а затем беритесь за его изучение основательно. Особое внимание уделите определениям величин, формулам, законам. Они в тексте выделены жирным шрифтом. Если формула имеет вывод, его надо самостоятельно воспроизвести в тетради.

В тексте параграфа могут встречаться вопросы. Если на какой-либо из вопросов вы не смогли ответить, внимательно прочитайте текст параграфа еще раз и снова попытайтесь ответить на вопрос.

Внимательно читайте описания опытов, приводимые в параграфе. Многие из них можно повторить дома. Серьезно относитесь к главным выводам. Их полезно записать в тетрадь и дополнить своими соображениями, которые у вас неизбежно возникнут.

В конце параграфа предусмотрены контрольные вопросы. Старайтесь дать ответ на каждый из них, даже если для этого потребуется использовать дополнительную литературу или Интернет.

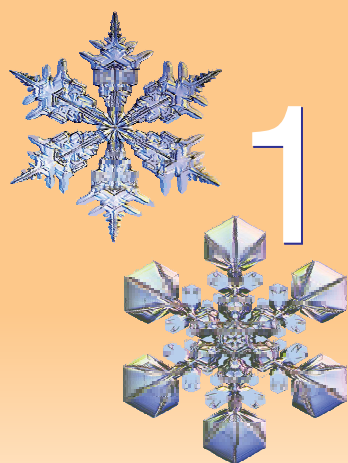
После изучения теоретического материала, ответов на контрольные вопросы следует решить задачи, предлагаемые в упражнениях. Задачи расположены по степени возрастания сложности. Наиболее сложные задачи и контрольные вопросы отмечены знаком . В некоторых параграфах содержится материал для любознательных. Он может быть изучен по желанию.

В конце большинства параграфов имеются домашние экспериментальные задания, а в конце глав даны перечни проектных заданий. Они выполняются по рекомендации учителя.

Рекомендации по «оживлению» опытов, обозначенных знаком , даны в Приложении.

В создании учебного пособия принимал участие большой коллектив специалистов. Цените труд и старания всех, кто работал над книгой, — берегите ее! Желаем вам творчества и успехов при изучении физики.

Авторы



Тепловые явления

- Как быстрее остудить горячий чай?
- Почему зимой дует от закрытого окна?
- Почему лед скользкий?
- Всегда ли кипящая вода горячая?





§ 1.

Внутренняя энергия

Вы знаете, что движущееся тело обладает кинетической энергией. А если оно еще и взаимодействует с другим телом, то обладает потенциальной энергией. Оба вида энергии представляют собой механическую энергию. Они взаимно превращаемы: кинетическая энергия может переходить в потенциальную и наоборот. Кроме того, вы знаете, что любое тело имеет дискретную структуру, т. е. состоит из частиц (атомов, молекул). Частицы находятся в непрерывном хаотическом движении. А частицы жидкости и твердого тела еще и взаимодействуют между собой. Следовательно, частицы обладают кинетической, а частицы жидкости и твердых тел — еще и потенциальной энергией. **Сумма кинетической и потенциальной энергий всех частиц тела называется внутренней энергией.** Внутренняя энергия измеряется в джоулях. Чем отличается внутренняя энергия от механической? В чем ее особенности? Может ли механическая энергия переходить во внутреннюю?



Рис. 1

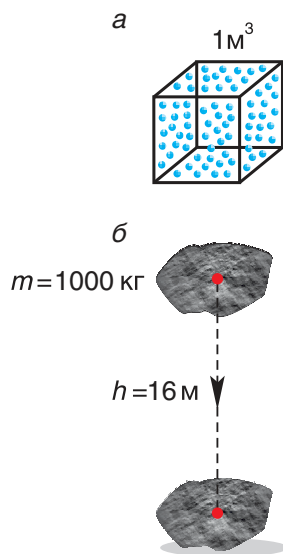


Рис. 2

Для ответа на эти вопросы рассмотрим пример. Шайба, двигавшаяся горизонтально по льду (рис. 1), остановилась. Как изменилась ее механическая энергия относительно льда? Кинетическая энергия шайбы уменьшилась до нуля. Положение шайбы над уровнем льда не изменилось, шайба не деформировалась. Значит, изменение потенциальной энергии равно нулю. Означает ли это, что ее механическая (кинетическая) энергия исчезла бесследно? Нет. Механическая энергия шайбы перешла во *внутреннюю энергию* шайбы и льда.

А может ли внутренняя энергия тела, как механическая, быть равной нулю? Движение частиц, из которых состоит тело, не прекращается даже при самых низких температурах. Значит, тело всегда (подчеркиваем, всегда) обладает некоторым запасом внутренней энергии. Его можно либо увеличить, либо уменьшить — и только!

Велико ли значение внутренней энергии тела? Энергия одной частицы, например кинетическая, в силу незначительности ее массы чрезвычайно мала. Расчеты для средней энергии поступательного движения молекулы кислорода показы-

вают, что ее значение при комнатной температуре $\langle K_0 \rangle \approx 6 \cdot 10^{-21}$ Дж. Конечно же, это очень малая величина. Теперь найдем кинетическую энергию всех молекул газообразного кислорода, содержащихся в объеме 1 м^3 (рис. 2, а). При нормальном атмосферном давлении в 1 м^3 число молекул $n \approx 2,7 \cdot 10^{25}$, тогда $K = \langle K_0 \rangle n = 6 \cdot 10^{-21} \text{ Дж} \cdot 2,7 \cdot 10^{25} \approx 0,16 \text{ МДж}$. Это значение энергии уже весьма велико. Оно, например, равно механической энергии камня массой $m = 1 \text{ т}$, поднятого на высоту $h = 16 \text{ м}$ (рис. 2, б).

■ Главные выводы

1. Независимо от того, есть у тела механическая энергия или нет, оно обладает внутренней энергией.
2. Внутренняя энергия тела равна сумме кинетической и потенциальной энергий частиц, из которых оно состоит.
3. Внутренняя энергия тела всегда не равна нулю.

? Контрольные вопросы

1. Что представляет собой внутренняя энергия тела?
2. В каких единицах в СИ измеряется внутренняя энергия?
3. Чем принципиально отличается внутренняя энергия тела, находящегося в твердом, жидком и газообразном состояниях?
4. Может ли механическая энергия превращаться во внутреннюю? Приведите примеры.

Упражнение 1

1. Может ли тело обладать внутренней энергией и не иметь при этом механической? А наоборот? Приведите примеры.

2. Одинаковы ли внутренние энергии данной массы золота, находящегося в твердом и расплавленном состояниях? Температуры обоих состояний одинаковы.



3. Равны ли внутренние энергии воздуха, заполняющего две одинаковые колбы 1 и 2 (рис. 3), опущенные в воду? Почему?

4. Из каких видов энергии состоит внутренняя энергия данной массы воздуха, если он находится: а) в комнате при нормальном атмосферном давлении; б) в баллоне в жидком состоянии?

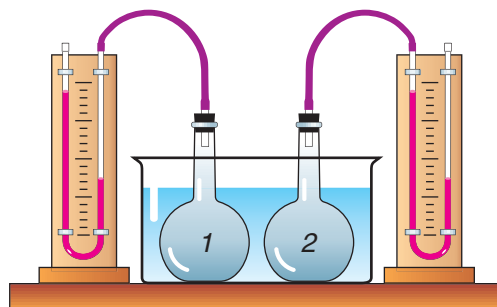


Рис. 3



§ 2.

Способы изменения внутренней энергии

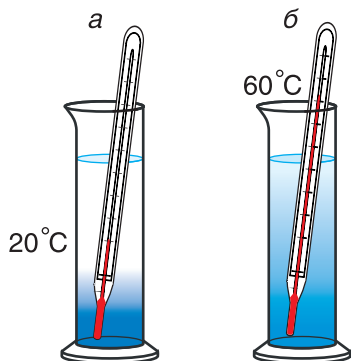


Рис. 4

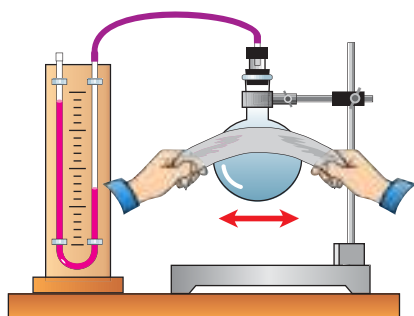


Рис. 5

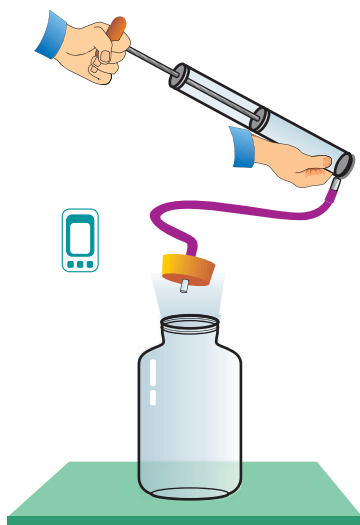


Рис. 6

Чтобы изменить механическую энергию тела, надо изменить скорость его движения, взаимодействие с другими телами или взаимодействие частей тела. Вы уже знаете, что это достигается совершением работы.

Как можно изменить (увеличить или уменьшить) внутреннюю энергию тела? Рассуждаем логически. Внутренняя энергия определяется как сумма кинетической и потенциальной энергий частиц. Значит, нужно изменить либо скорость движения частиц, либо их взаимодействие (изменить расстояния между ними). Очевидно, можно изменить и скорость, и расстояния между частицами одновременно. Изменить скорость частиц тела можно, увеличив или уменьшив его температуру. Действительно, наблюдения за диффузией показывают, что быстрота ее протекания увеличивается при нагревании (рис. 4, а, б). Значит, увеличивается средняя скорость движения частиц, а следовательно, их средняя кинетическая энергия. Отсюда следует важный вывод: **температура является мерой средней кинетической энергии частиц.**

Как изменить кинетическую энергию частиц тела? Существуют два способа. Рассмотрим их на опытах. Будем натирать колбу с воздухом полоской сукна (рис. 5). Через некоторое время уровень жидкости в правом колене манометра (см. рис. 5) опустится, т. е. давление воздуха в колбе увеличится. Это говорит о нагревании воздуха. Значит, увеличилась скорость движения и кинетическая энергия его молекул, а следовательно, и внутренняя энергия. Но за счет чего? Очевидно, за счет совершения механической работы при трении сукна о колбу. Нагрелась колба, а от нее — газ.

Проведем еще один опыт. В толстостенный стеклянный сосуд нальем немного воды (чайную

ложку) для увлажнения воздуха в нем. Насосом (рис. 6) будем накачивать в сосуд воздух. Через несколько качков пробка вылетит, а в сосуде образуется туман. Из наблюдений за окружающей средой мы знаем, что туман появляется тогда, когда после теплого дня наступает холодная ночь. Образование тумана в сосуде свидетельствует об охлаждении воздуха, т. е. об уменьшении его внутренней энергии. Но почему уменьшилась энергия? Потому что за ее счет совершена работа по выталкиванию пробки из сосуда.

Сравним результаты опытов. В обоих случаях изменилась внутренняя энергия газа, но в первом опыте она увеличилась, так как работа совершалась внешней силой (над колбой с газом), а во втором — уменьшилась, ибо работу совершала сила давления самого газа.

А можно ли, совершая работу, изменить потенциальную энергию взаимодействия молекул?

Опять обратимся к опыту. Два куска льда при $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ будем тереть друг о друга (рис. 7). Лед превращается в воду, при этом температура воды и льда остается постоянной, равной $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ (см. рис. 7). На что тратится механическая работа силы трения?

Конечно же, на изменение внутренней энергии! Но кинетическая энергия молекул не изменилась, так как температура не изменилась. Лед превратился в воду. При этом изменились силы взаимодействия молекул H_2O (напоминаем, что лед и вода состоят из одинаковых молекул), а следовательно, изменилась их потенциальная энергия.

Совершение механической работы — один из способов изменения внутренней энергии тела.

А есть ли возможность изменить внутреннюю энергию тела, не совершая механическую работу? Да, есть. Нагреть воздух в колбе (рис. 8), расплавить лед (рис. 9) можно с помощью спиртовки, передав и воздуху, и льду теплоту. В обоих случаях внутренняя энергия увеличивается.

При охлаждении тел (если колбы со льдом и воздухом поместить в морозильник) их внутренняя энергия уменьшается. Теплота от тел передается окружающей среде.

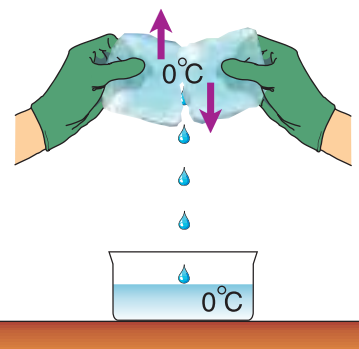


Рис. 7

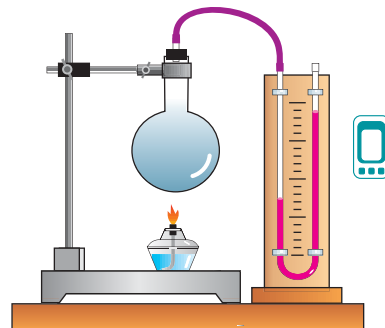


Рис. 8

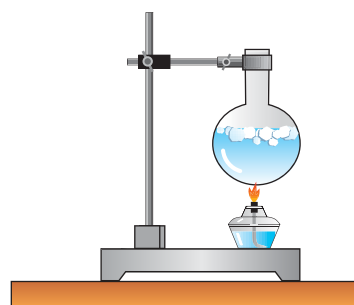


Рис. 9

Процесс изменения внутренней энергии тела, происходящий без совершения работы, называется теплопередачей (теплообменом).

Таким образом, совершение механической работы и теплопередача — два способа изменения внутренней энергии тела.

Величину, равную изменению внутренней энергии при теплопередаче, называют **количеством теплоты** (обозначается Q). Единицей количества теплоты, как работы и энергии, в СИ является **1 джоуль**.

▼ Для любознательных

Физики XVIII в. и первой половины XIX в. рассматривали теплоту не как изменение энергии, а как особое вещество — теплород — жидкость (флюид), которая может перетекать от одного тела к другому. Если тело нагревалось, то считалось, что в него вливался теплород, а если охлаждалось — то выливался. При нагревании тела расширяются. Это объяснялось тем, что теплород имеет объем. Но если теплород — вещество, то тела при нагревании должны увеличивать свою массу. Однако взвешивания показывали, что масса тела не менялась. Поэтому теплород считали невесомым. Теорию теплорода поддерживали многие ученые, в том числе и такой гениальный ученый, как Г. Галилей. Позже Дж. Джоуль на основании проведенных им опытов пришел к выводу, что теплород не существует и что теплота есть мера изменения кинетической и потенциальной энергий движущихся частиц тела.

В дальнейшем выражение «сообщить телу количество теплоты» мы будем понимать как «изменить внутреннюю энергию тела без совершения механической работы, т. е. путем теплообмена». А выражение «нагреть тело» будем понимать как «повысить его температуру» любым из двух способов.

■ Главные выводы

1. Внутреннюю энергию тела можно изменить путем совершения механической работы или теплопередачи (теплообмена).
2. Изменение внутренней энергии при нагревании или охлаждении тела при постоянном объеме связано с изменением средней кинетической энергии его частиц.
3. Изменение внутренней энергии тела при неизменной температуре связано с изменением потенциальной энергии его частиц.



Контрольные вопросы

1. Какими способами можно изменить внутреннюю энергию тела?
2. Как изменяется внутренняя энергия тела, если его: а) нагревать; б) охлаждать?
3. Можно ли изменить внутреннюю энергию тела, не изменяя его температуру? Приведите примеры.
4. Какое явление называется теплопередачей (теплообменом)?
5. Что такое количество теплоты и в чем оно измеряется?



Домашнее задание

Возьмите кусок алюминиевой проволоки и быстро согните ее несколько раз. После этого коснитесь пальцем места сгиба. Объясните, как и почему изменилась внутренняя энергия проволоки.

Упражнение 2

1. Как и каким способом изменяется внутренняя энергия: а) сверла при сверлении отверстия в бетонной стене; б) пакета молока, помещенного в холодильник?

2. Если тело нагрелось, то его внутренняя энергия увеличилась. Верно ли будет обратное утверждение: если внутренняя энергия тела увеличилась, то оно нагрелось? Приведите примеры, подтверждающие ответ.

3. Один металлический цилиндр натерли куском сукна, совершив работу $A_1 = 1$ Дж, а другой такой же цилиндр подняли вверх, совершив работу $A_2 = 1$ Дж. Одинаково ли изменилась их внутренняя энергия? Почему?



4. График зависимости температуры наружного воздуха от времени суток представлен на рисунке 10. В какие промежутки времени внутренняя энергия забытых на улице коньков изменялась наиболее сильно?

5. Изменилась ли внутренняя энергия эспандера, когда его растянули (рис. 11)?

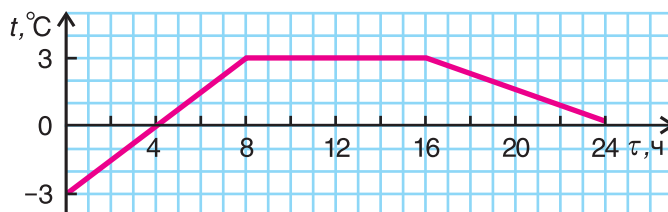


Рис. 10



Рис. 11



§ 3.

Теплопроводность

В предыдущем параграфе мы условились говорить о количестве теплоты только в том случае, если внутренняя энергия тела изменяется без совершения работы, т. е. путем теплопередачи (теплообмена). Какие виды теплопередачи существуют в природе?

Всем нам известно, что теплота может «путешествовать» с одного места в другое. При размещивании углей металлическим стержнем (рис. 12) нагревается и тот его конец, который не находится в пламени.



Рис. 12

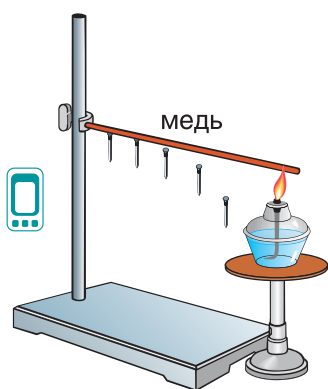


Рис. 13

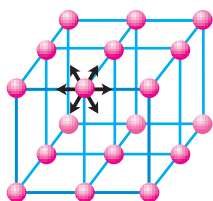


Рис. 14

Верхняя часть ложки, частично погруженной в горячий чай, нагревается, хотя непосредственно в чае не находится. В обоих случаях происходит перенос энергии от более нагретых частей тела к менее нагретым.

Приведите сами примеры подобного переноса. Как происходит перенос энергии?

Проведем опыт. К медному стержню пластилином прикрепим несколько одинаковых гвоздиков (можно палочек) (рис. 13). Свободный конец стержня будем нагревать в пламени спиртовки. Мы заметим, что сначала отпадут гвоздики, находящиеся ближе к пламени, а затем поочередно все остальные. Почему так происходит?

В твердом теле (металле) частицы взаимодействуют: притягиваются или отталкиваются. При этом они совершают колебательные движения (рис. 14). В пламени спиртовки температура свободного конца медного стержня повышается. А это значит, увеличивается средняя кинетическая энергия колебательного движения его частиц. Так как частицы взаимодействуют, то усиливаются колебания и соседних частиц, а от них — следующих и так далее по всему стержню. Заметим, что в этом виде теплопередачи перенос самого вещества не происходит.

Процесс переноса теплоты (энергии) от более нагретых тел или частей тела к более холодным в результате теплового движения и взаимодействия частиц называется теплопроводностью.

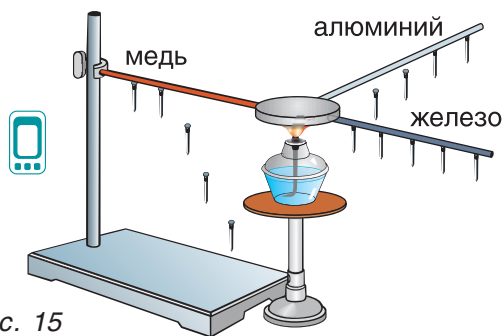


Рис. 15



Рис. 16

Перенос энергии идет до тех пор, пока температура не станет одинаковой по всему телу.

У разных веществ теплопроводность неодинаковая (рис. 15). Теплопроводность меди больше, чем теплопроводность алюминия и железа. Малую теплопроводность имеют пластмасса, древесина, стекло. Именно поэтому деревянные дома хорошо сохраняют теплоту. Ручки кастрюль делают из пластмассы, а паяльников — из дерева (рис. 16). Пластмасса, дерево и другие слабо проводящие теплоту материалы называются *теплоизоляторами*.

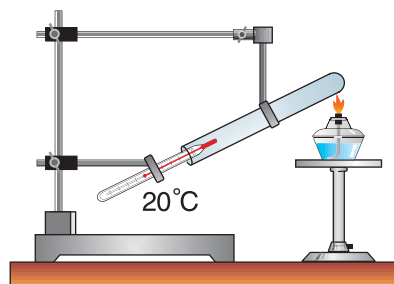


Рис. 17

А могут ли проводить теплоту газы? Проведем опыт: поместим в открытый конец пробирки термометр (рис. 17) и будем нагревать пробирку с противоположного конца. Нагревание воздуха идет очень медленно, что подтверждается малым повышением температуры. Чем объясняется слабая теплопроводность газов? Вспомните, что силы взаимодействия молекул газов при нормальном давлении практически равны нулю. Значит, энергия переносится только за счет хаотического движения молекул и столкновений между ними. Теплопроводность воздуха почти в 10 000 раз меньше теплопроводности меди. Теперь вы можете объяснить, почему для утепления квартир, построек для скота используют пористые, содержащие воздух вещества: пенопласт, войлок.

Вата, шерсть, пух, мех и подобные им материалы содержат между волокнами воздух и поэтому являются хорошими защитниками от холода для животных, человека и птиц (рис. 18).



Рис. 18

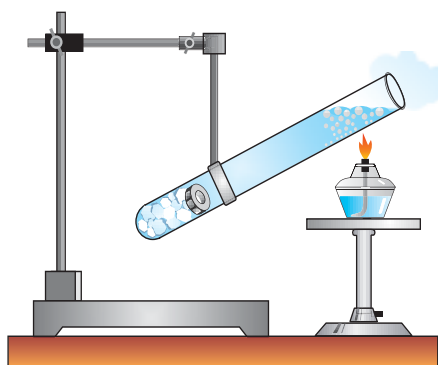


Рис. 19

А какова теплопроводность жидкостей? Возьмем пробирку с кусочками льда и водой и будем ее нагревать (рис. 19). Когда вода в верхней части пробирки закипит, в нижней — все еще будет лед. Это говорит о малой теплопроводности воды, хотя она больше, чем воздуха. Действительно, теплопроводность воды примерно в 25 раз выше, чем воздуха, но приблизительно в 330 раз меньше теплопроводности меди. Металлы в жидком состоянии (ртуть, олово и др.) обладают большой теплопроводностью.

■ Главные выводы

1. Теплопроводность обусловлена хаотическим движением и взаимодействием частиц.
2. При теплопроводности нет переноса вещества.
3. Перенос энергии идет от более нагретых тел или частей тела к менее нагретым. Процесс продолжается до тех пор, пока температура не станет одинаковой по всему телу.

? Контрольные вопросы

1. Что называется теплопроводностью?
2. Чем отличаются механизмы переноса теплоты путем теплопроводности в твердых телах и газах?
3. Будет ли изменяться теплопроводность воздуха при его расширении? Сжатии? Почему?
4. Как долго продолжается процесс переноса тепла (энергии) при контакте двух тел, имеющих разные начальные температуры?
5. Возможна ли теплопроводность в сильно разреженных газах?



➔ Домашнее задание

Возьмите две примерно одинаковые по массе спицы: пластмассовую и металлическую — и опустите их одним концом в стакан с горячей водой. Через минуту коснитесь свободных концов спиц. Объясните результат опыта.

Упражнение 3

1. Почему посуда для приготовления пищи (рис. 20) изготавливается из хорошо проводящих теплоту материалов (стали, чугуна)?



Рис. 20

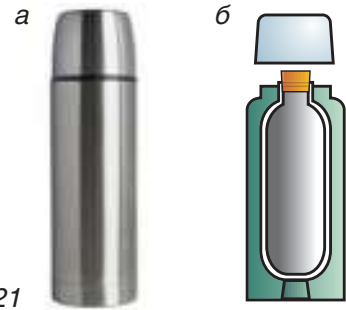


Рис. 21

2. Сегодня в наших домах устанавливают окна с двухкамерными стеклопакетами, а в Якутии — с трех- и даже пятикамерными. Почему?

3. Проанализируйте выражение: «Шуба греет человека». Кто кого греет?

4. Почему при измерении температуры тела медицинский ртутный термометр надо держать в контакте с телом не менее 5—7 мин?

5. Почему стальные ножницы на ощупь кажутся более холодными, чем деревянный карандаш, находящийся в той же комнате? Одинакова ли их температура?

6. Плотность одного куска пенопласта $\rho_1 = 20 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$, а другого — $\rho_2 = 50 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$. Одинакова ли теплопроводность кусков пенопласта?

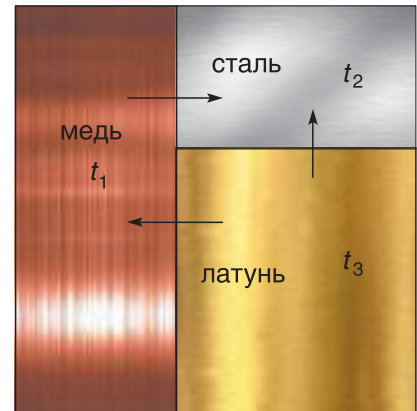


Рис. 22



7. Почему в термосе (рис. 21, а) долго сохраняются горячий чай, кофе? Зачем откачивают воздух из пространства между двойными стенками термоса (рис. 21, б)?

8. Латунный, медный и стальной бруски с разными начальными температурами привели в соприкосновение. На рисунке 22 стрелками показано направление теплопередачи между ними. Сравните начальные температуры брусков.



Рис. 23

9. Зимой куропатки, спасаясь от морозов, зарываются в снег (рис. 23). Почему снег предохраняет куропаток от замерзания?



§ 4.

Конвекция

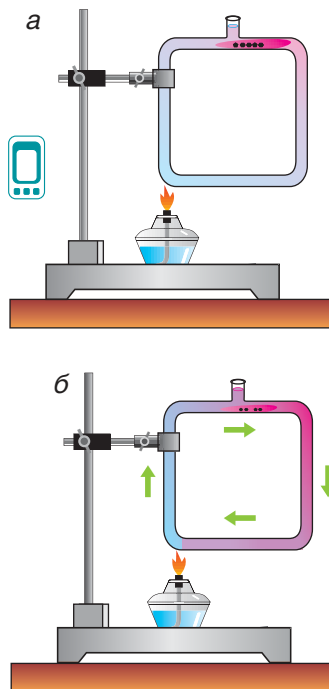


Рис. 24



Рис. 25



Рис. 26

Обратите внимание на место нагревательного элемента в электрочайнике. Он расположен внизу у дна. Тем не менее вода нагревается по всему объему. Как это происходит? Как нагревается воздух по всему объему комнаты, если отопительные батареи стоят внизу у пола? Это происходит за счет конвекции. Что же такое конвекция?

Обратимся к опыту. В трубку с холодной водой опустим несколько кристалликов марганцовки. Будем нагревать трубку снизу (рис. 24). Мы увидим, как нагретые нижние слои воды поднимаются вверх. Верхние слои, как более холодные, а значит, более плотные, опускаются вниз, нагреваются и устремляются вверх. Через некоторое время вода нагреется по всему объему трубки. Так идет перенос теплоты (энергии) в жидкостях.

Наблюдать перенос теплоты (энергии) в газах, например в воздухе, можно, проделав такой опыт. Зажжем свечу. Нагретый над пламенем свечи воздух перемещается вверх (рис. 25). Поставив на пути пластмассовую пластинку, можно изменить направление потока, что видно на экране.

Объем жидкостей и газов при нагревании увеличивается, а плотность уменьшается. Они становятся легче, поднимаются вверх, перенося с собой энергию, что приводит к выравниванию температуры по всему объему жидкости или газа.

Перенос энергии в жидкостях и газах потоками вещества называется конвекцией.

А возможна ли конвекция в твердых телах?

Очевидно, нет, так как в твердом теле вещество не может перемещаться по объему. Вспомните жесткую структуру алмаза (рис. 26).

Благодаря конвекции создается необходимая для полного сжигания топлива тяга. Она чрезвычайно важна для хорошей работы домашних печей и каминов. Для создания тяги даже неболь-

шие котельные имеют трубы высотой в несколько десятков метров. Трубы одной из крупнейших в Европе Новолукомльской теплоэлектростанции имеют высоту 250 м каждая (рис. 27).



Рис. 27

Примером использования конвекции является система водяного отопления (рис. 28). Нагретая (в котельных или теплоэлектроцентралях — ТЭЦ) вода по трубопроводам поступает в здание. По вертикальной трубе (стояку) горячая вода поднимается вверх, попадает в отопительные батареи (радиаторы). Батареи отдают энергию воздуху в помещении, вода в них остывает. Остывшая вода из батарей по второй трубе возвращается обратно. Отопительные батареи стоят внизу (под окнами) и путем конвекции нагревают воздух по всему объему помещения. Благодаря конвекции нагревается вода в кастрюле на электрической или газовой плите.

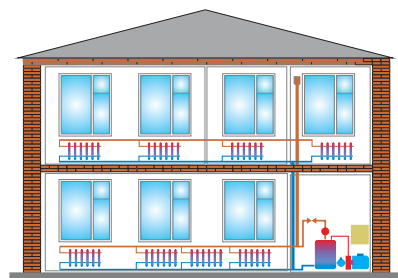


Рис. 28

▼ Для любознательных

Конвекцией объясняются ночные и дневные бризы — ветры, возникающие на берегах морей и океанов. В солнечный летний день воздух над сушей, более теплый, чем над водой, устремляется вверх. Это вызывает понижение давления над сушей, куда с моря перемещается холодный воздух. Это — *дневной бриз*. Самостоятельно определите направление и причины *ночного бриза*.

■ Главные выводы

1. Конвекция — способ передачи тепловой энергии потоками газа или жидкости.
2. При конвекции происходит перемещение вещества — жидкости или газа.
3. Конвекция невозможна в твердых телах.

? Контрольные вопросы

1. Что представляет собой конвекция?
2. Почему конвекция невозможна в твердых телах?
3. Можно ли сказать, что охлаждение комнаты с помощью открытой форточки вызвано конвекцией?
4. Что общего и различного у явлений конвекции и теплопроводности?



§ 5.

Излучение



Рис. 29



Рис. 30

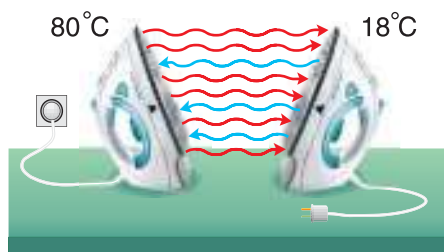


Рис. 31

В холодном помещении мы растапливаем камин (рис. 29) и, устроившись напротив, получаем удовольствие от тепла, идущего от него. Но как в данном случае передается к нам тепловая энергия? Ни теплопроводность, ни конвекция не могут быть причиной такой передачи энергии. Теплопроводность у воздуха очень мала. Конвекционные потоки движутся вверх.

Существует еще один способ теплопередачи — излучение, который возможен и там, где нет среды (например, в космосе). Излучением к Земле переносится теплота от такого мощного источника, как Солнце. Костер (рис. 30), натопленная печь, камин и др. — все это примеры источников, которые наряду с конвекцией и теплопроводностью передают энергию более холодным телам посредством излучения.

Любое тело излучает и поглощает энергию. В результате теплообмена перенос энергии (теплоты) идет от более нагретого тела к менее нагретому. «Холодное» тело тоже излучает энергию, но меньше, чем поглощает (рис. 31). «Горячее» же тело, наоборот, излучает энергии больше, чем поглощает. В итоге «горячее» тело охлаждается, а «холодное» — нагревается.

Механизм излучения сложен. С ним вы познакомитесь в 11-м классе. Здесь подчеркнем то, что при излучении происходит перенос энергии не частицами вещества, а электромагнитными волнами. Именно поэтому для излучения не требуется среда.

От чего зависит, насколько эффективно будет идти излучение? Проведем опыт. Два теплоприемника соединим с коленами манометра (рис. 32). Поднесем их черными сторонами к сосуду с горячей водой, одна половина которого зачернена, а другая — белая. Уровень жидкости в колене 1

манометра стал ниже, чем в колене 2. Значит, давление в теплоприемнике I выше, чем в теплоприемнике II. А это говорит о том, что воздух в теплоприемнике, обращенном к зачерненной поверхности сосуда, нагрелся сильнее. Следовательно, тела с темной поверхностью излучают больше энергии (теплоты), чем тела со светлой поверхностью. Поэтому тела с темной поверхностью остывают быстрее, чем со светлой.

А есть ли различие в поглощении энергии этими телами? Видоизменим опыт. К сосуду с горячей водой, вся поверхность которого зачернена, повернем теплоприемники разными сторонами: I — черной, II — белой (рис. 33). Уровень жидкости в колене 1 манометра стал ниже. Значит, воздух в теплоприемнике, обращенном к сосуду черной стороной, поглотил больше энергии и нагрелся сильнее. Таким образом, тела с темной поверхностью поглощают больше энергии, чем тела со светлой поверхностью, а поэтому и нагреваются быстрее.

Тело, которое больше поглощает энергии, больше и излучает.

Этот факт учитывается в технике и быту. Самолеты, скафандры космонавтов (рис. 34), холодильники, морозильные камеры окрашивают в серебристый или светлые цвета, чтобы они меньше нагревались. В жару носят светлую одежду. Бак для душа на дачном участке красят в черный цвет, чтобы использовать солнечную энергию для нагревания воды.

Достаточно сильно излучают энергию тела человека и животных. Современные приборы (тепловизоры) позволяют не только зафиксировать излучение, но и показать различие излучений участков тела, имеющих разную температуру. На снимке (рис. 35) представлен «тепловой портрет» кота.

В северных районах иногда лед на реках окрашивают с самолета в черный цвет еще до наступления паводка, чтобы избежать бурного ледохода.

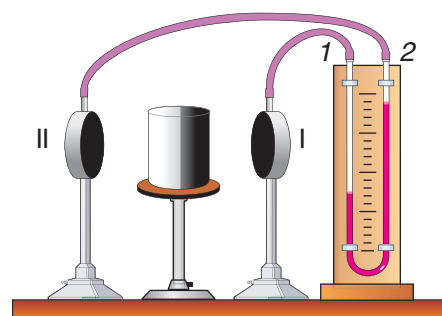


Рис. 32

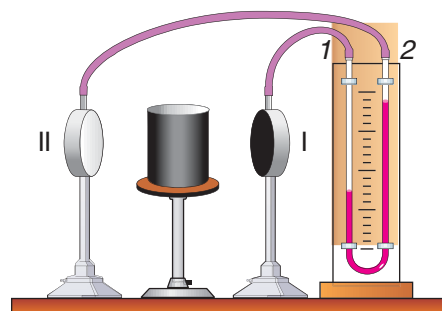


Рис. 33



Рис. 34

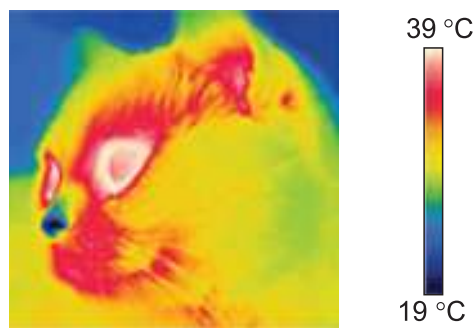


Рис. 35

▼ Для любознательных

Отметим важную роль площади излучающей (или поглощающей) поверхности. Так как тепловое излучение происходит с каждой единицы площади поверхности, то чем больше поверхность, тем больше излучается (поглощается) теплоты. Поэтому, например, радиаторы водяного отопления (рис. 36) имеют сложную ребристую поверхность, хотя при производстве проще и дешевле было бы изготавливать радиаторы более простых форм (прямоугольной, цилиндрической). Большая площадь нагретого тела увеличивает теплопередачу и другими способами — теплопроводностью и конвекцией.



Рис. 36

■ Главные выводы

1. Перенос энергии от более нагретых тел к более холодным может осуществляться излучением.
2. Излучение — единственный способ теплопередачи, не требующий наличия среды.
3. Все нагретые тела не только излучают, но и поглощают энергию.
4. Тела, окрашенные в темные цвета, больше поглощают и больше излучают энергии, чем тела, имеющие светлую окраску.

? Контрольные вопросы

1. Как изменяется температура тела при излучении энергии? При поглощении телом энергии?
2. Если изменение температуры тела прекратилось, значит ли это, что тело больше не излучает?
3. Закончите фразу: «Если тело больше поглощает энергии, то оно...».
4. Чем отличается передача теплоты излучением от других видов теплопередачи?

➔ Домашнее задание

Измерьте температуру воздуха в вашей квартире у пола и потолка. Совпадают ли показания термометра? Почему?

Упражнение 4

1. Почему форточки делают в верхней части окна?

2. Как поступить, чтобы быстрее охладить бутылку минеральной воды: поставить ее на лед или обложить льдом сверху?

3. Подвал — самое холодное место в доме. Почему?

4. В каком из кофейников (рис. 37) одинакового объема вода закипит раньше? Остынет раньше?

5. Укажите причины, по которым снег в городе тает раньше, чем в деревне.

6. Лед, имеющий температуру $t_1 = -5\text{ }^{\circ}\text{C}$, поместили в морозильную камеру. Как будет изменяться его температура, если температура в камере: а) $t_2 = -10\text{ }^{\circ}\text{C}$; б) $t_3 = -5\text{ }^{\circ}\text{C}$; в) $t_4 = -1\text{ }^{\circ}\text{C}$? Почему?

7. Вагоны-рефрижераторы для перевозки скоропортящихся продуктов (мясо, рыба, фрукты) имеют двойные стенки. Пространство между стенками заполняют пенопластом, а наружные поверхности окрашивают в белый или желтый цвет. Какие физические явления учтены в конструкции вагона-рефрижератора?

8. Маша доказывает, что в жару в белой одежде прохладнее, чем в черной, поскольку она меньше поглощает солнечной энергии. Дима считает, что лучше носить черную одежду, так как она больше излучает. Кто из ребят прав? Почему?



9. Почему поверхность цилиндров двигателя мотоцикла делают ребристой (рис. 38)?

10. При горении верхняя часть широкой парафиновой свечи размягчается и плавится (рис. 39). Какие виды теплопередачи играют основную роль при передаче энергии от пламени к парафину?

11. Каким видом теплопередачи осуществляется: а) прогрев нижних слоев воды в озере в летний солнечный день; б) остывание воды в озере в летнюю прохладную ночь?



Рис. 37



Рис. 38



Рис. 39



§ 6.

Расчет количества теплоты при нагревании и охлаждении. Удельная теплоемкость

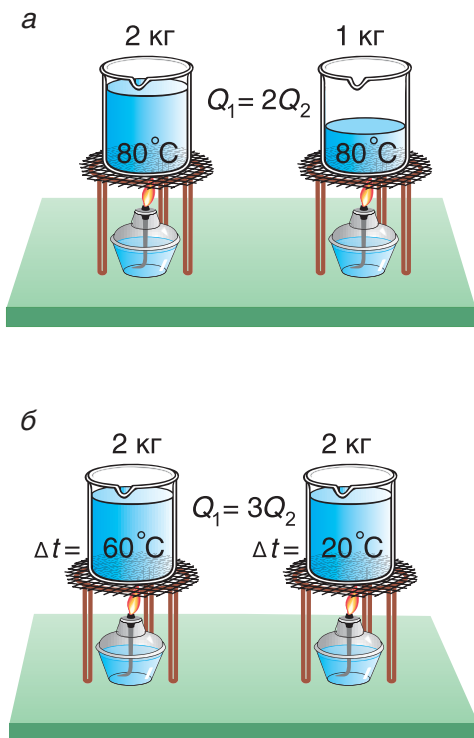


Рис. 40

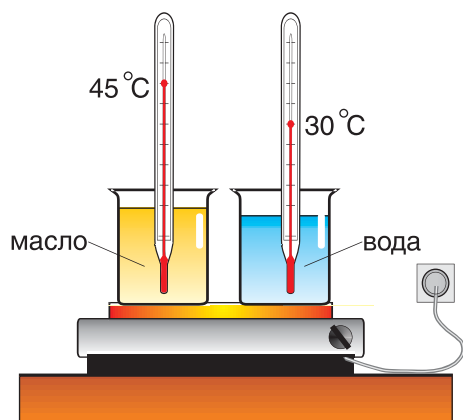


Рис. 41

Вы уже знаете, что изменить внутреннюю энергию тела можно передачей ему количества теплоты. Как связано изменение внутренней энергии тела, т. е. количество теплоты, с характеристиками самого тела?

Внутренняя энергия тела есть суммарная энергия всех его частиц. Значит, если массу данного тела увеличить в два или три раза, то и количество теплоты, необходимое для его нагревания на одно и то же число градусов, увеличится в два или три раза. Например, на нагревание двух килограммов воды от 20°C до 80°C потребуется в два раза больше теплоты, чем на нагревание одного килограмма воды (рис. 40, а).

Очевидно также, что для нагревания воды на $\Delta t = 60^\circ\text{C}$ надо передать ей в 3 раза большее количество теплоты, чем для нагревания на $\Delta t = 20^\circ\text{C}$ (рис. 40, б).

Из этих рассуждений следует подтвержденный опытами вывод. **Количество теплоты, необходимое для нагревания тела, прямо пропорционально его массе и изменению температуры.**

А зависит ли количество теплоты, идущее на нагревание, от рода вещества, которое нагревается?

Для ответа на этот вопрос проведем опыт. В два одинаковых стакана нальем по 150 г подсолнечного масла и воды. Поместим в них термометры и поставим на нагреватель (рис. 41). Получив за одинаковое время от нагревателя равное с водой количество теплоты, масло нагрелось больше, чем вода. Значит, для изменения температуры масла на одну и ту же величину требуется меньше теплоты, чем для изменения температуры такой же массы воды.

Поэтому для всех веществ вводят специальную величину — удельную теплоемкость вещества. Эту величину обозначают буквой c (от лат.

capacity — емкость, вместимость). Теперь мы можем записать строгую формулу для количества теплоты, необходимого для нагревания:

$$Q = cm(t_2 - t_1).$$

Выразим из этой формулы c :

$$c = \frac{Q}{m(t_2 - t_1)}.$$

Удельная теплоемкость есть физическая величина, численно равная количеству теплоты, которое необходимо передать 1 кг данного вещества, чтобы изменить его температуру на 1 °С. Удельная теплоемкость измеряется в джоулях на килограмм-градус Цельсия $\left(\frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{С}}\right)$.

▼ Для любознательных

Часто формулу $Q = cm(t_2 - t_1)$ записывают в виде $Q = C(t_2 - t_1)$. Здесь величина $C = cm$ называется **теплоемкостью тела** (обратите внимание — не вещества). Она численно равна количеству теплоты, необходимому для нагревания всей массы тела на 1 °С. Измеряется теплоемкость тела в джоулях на градус Цельсия $\left(\frac{\text{Дж}}{^\circ\text{С}}\right)$.

В таблице 1 представлены значения удельной теплоемкости различных веществ (в различных состояниях). Как следует из этой таблицы, среди жидкостей максимальное значение удельной теплоемкости имеет вода: для нагревания 1 кг воды на 1 °С требуется 4200 Дж теплоты — это почти в 2,5 раза больше, чем для нагревания 1 кг подсолнечного масла, и в 35 раз больше, чем для нагревания 1 кг ртути.

Формула $Q = cm(t_2 - t_1)$ дает возможность найти и выделяемую при охлаждении тела теплоту. Так как конечная температура t_2 остывшего тела меньше начальной t_1 , то изменение температуры оказывается отрицательным числом. Значит, и выделяемое телом количество теплоты выражается отрицательным числом, что обозначает не рост, а убыль внутренней энергии тела.

В заключение заметим, что при теплообмене двух или нескольких тел абсолютное значение количества теплоты, которое отдано более нагретым телом (телами), равно количеству теплоты, которое получено более холодным телом (телами):

$$|Q_{\text{отд}}| = Q_{\text{получ}}.$$

Это равенство называется *уравнением теплового баланса* и выражает, по сути, закон сохранения энергии. Оно справедливо при отсутствии потерь теплоты.

Таблица 1. Удельная теплоемкость некоторых веществ

Вещество	$c, \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}}$	Вещество	$c, \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}}$
Твердые тела			
Алюминий	$920 = 9,2 \cdot 10^2$	Олово	$250 = 2,5 \cdot 10^2$
Бетон	$880 = 8,8 \cdot 10^2$	Парафин	$3200 = 3,2 \cdot 10^3$
Дерево	$2700 = 2,7 \cdot 10^3$	Песок	$970 = 9,7 \cdot 10^2$
Железо, сталь	$460 = 4,6 \cdot 10^2$	Платина	$130 = 1,3 \cdot 10^2$
Золото	$130 = 1,3 \cdot 10^2$	Свинец	$120 = 1,2 \cdot 10^2$
Кирпич	$750 = 7,5 \cdot 10^2$	Серебро	$250 = 2,5 \cdot 10^2$
Латунь	$380 = 3,8 \cdot 10^2$	Стекло	$840 = 8,4 \cdot 10^2$
Лед	$2100 = 2,1 \cdot 10^3$	Цемент	$800 = 8,0 \cdot 10^2$
Медь	$380 = 3,8 \cdot 10^2$	Цинк	$400 = 4,0 \cdot 10^2$
Никель	$460 = 4,6 \cdot 10^2$	Чугун	$550 = 5,5 \cdot 10^2$
Жидкости			
Ацетон	$2200 = 2,2 \cdot 10^3$	Керосин	$2140 = 2,14 \cdot 10^3$
Вода	$4200 = 4,2 \cdot 10^3$	Масло подсолнечное	$1700 = 1,7 \cdot 10^3$
Глицерин	$2400 = 2,4 \cdot 10^3$	Ртуть	$120 = 1,2 \cdot 10^2$
Железо	$830 = 8,3 \cdot 10^2$	Спирт этиловый	$2400 = 2,4 \cdot 10^3$
Газы (при постоянном давлении)			
Азот	$1000 = 1,0 \cdot 10^3$	Воздух	$1000 = 1,0 \cdot 10^3$
Водород	$14\,300 = 1,43 \cdot 10^4$	Кислород	$920 = 9,2 \cdot 10^2$
Водяной пар	$2200 = 2,2 \cdot 10^3$	Углекислый газ	$830 = 8,3 \cdot 10^2$

■ Главные выводы

1. Количество теплоты, необходимое для нагревания тела (выделившееся при охлаждении), прямо пропорционально его массе, изменению температуры тела и зависит от вещества тела.
2. Удельная теплоемкость вещества численно равна количеству теплоты, которое надо передать 1 кг данного вещества, чтобы изменить его температуру на 1 °С.
3. При теплообмене количество теплоты, отданное более горячим телом, равно по модулю количеству теплоты, полученному более холодным телом, если нет потерь теплоты.

? Контрольные вопросы

1. Какая физическая величина определяет количество теплоты, которое выделяется при охлаждении на $\Delta t = 1\text{ °С}$ тела массой $m = 1\text{ кг}$? А тела массой m ?
2. В каких единицах выражается удельная теплоемкость вещества? Как это доказать?
3. Удельная теплоемкость воды $c = 4200 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{°С}}$. Что это означает?
4. Почему по формуле $Q = cm\Delta t$ можно рассчитывать значение как количества теплоты, необходимого для нагревания, так и количества теплоты, выделяемого при охлаждении тела?
5. Что называется уравнением теплового баланса? Какую закономерность оно отражает?

➔ Домашнее задание

Налейте в литровую банку до половины объема холодной воды ($t_1 = 15\text{—}20\text{ °С}$), добавьте горячей воды ($t_2 = 60\text{—}70\text{ °С}$), заполнив объем банки полностью. Измерьте температуру воды в банке. Сделайте вывод.



Пример решения задачи

Для купания ребенка в ванночку влили холодную воду массой $m_1 = 20\text{ кг}$ при температуре $t_1 = 12\text{ °С}$. Какую массу горячей воды при температуре $t_2 = 80\text{ °С}$ нужно добавить в ванночку, чтобы окончательная температура воды стала $t_3 = 37\text{ °С}$? Удельная теплоемкость воды $c = 4200 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{°С}}$.

Дано:

$$m_1 = 20 \text{ кг}$$

$$t_1 = 12 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$t_2 = 80 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$t_3 = 37 \text{ }^\circ\text{C}$$

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

$$m_2 = ?$$

Решение

По закону сохранения энергии $|Q_{\text{отд}}| = Q_{\text{получ}}$.
Отдавала теплоту горячая вода, изменяя свою температуру от $t_2 = 80 \text{ }^\circ\text{C}$ до $t_3 = 37 \text{ }^\circ\text{C}$:

$$|Q_{\text{отд}}| = |cm_2(t_3 - t_2)|.$$

Холодная вода получила эту теплоту и нагрелась от $t_1 = 12 \text{ }^\circ\text{C}$ до $t_3 = 37 \text{ }^\circ\text{C}$:

$$Q_{\text{получ}} = cm_1(t_3 - t_1).$$

Так как нас интересует только модуль $Q_{\text{отд}}$, то можно записать:

$$Q_{\text{отд}} = cm_2(t_2 - t_3).$$

Тогда $cm_2(t_2 - t_3) = cm_1(t_3 - t_1)$, или $m_2(t_2 - t_3) = m_1(t_3 - t_1)$;

$$m_2 = \frac{m_1(t_3 - t_1)}{t_2 - t_3} = \frac{20 \text{ кг} \cdot (37 \text{ }^\circ\text{C} - 12 \text{ }^\circ\text{C})}{80 \text{ }^\circ\text{C} - 37 \text{ }^\circ\text{C}} \approx 12 \text{ кг}.$$

При решении мы пренебрегали потерями теплоты на нагревание ванночки, окружающего воздуха и т. д.

Возможен и другой вариант решения.

Рассчитаем сначала количество теплоты, которое было получено холодной водой:

$$\begin{aligned} Q_{\text{получ}} &= cm_1(t_3 - t_1) = 4200 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}} \cdot 20 \text{ кг} \cdot (37 \text{ }^\circ\text{C} - 12 \text{ }^\circ\text{C}) = \\ &= 2\,100\,000 \text{ Дж} = 2,1 \text{ МДж}. \end{aligned}$$

Полагая, что эта теплота отдана горячей водой, запишем:
 $Q_{\text{отд}} = cm_2(t_3 - t_2)$. Выразим искомую массу:

$$m_2 = \frac{Q_{\text{отд}}}{c(t_3 - t_2)} = \frac{-2\,100\,000 \text{ Дж}}{4200 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}} (37 \text{ }^\circ\text{C} - 80 \text{ }^\circ\text{C})} \approx 12 \text{ кг}.$$

Ответ: $m_2 \approx 12 \text{ кг}$.

Упражнение 5

1. Чайная ложка, получив количество теплоты $Q_1 = 690 \text{ Дж}$, нагрелась на $\Delta t = 75 \text{ }^\circ\text{C}$. Какое количество теплоты выделится при остывании этой ложки на $|\Delta t| = 75 \text{ }^\circ\text{C}$?

2. Какое количество теплоты потребуется, чтобы нагреть до кипения воду объемом $V = 1,0 \text{ л}$ и температурой $t = 15 \text{ }^\circ\text{C}$? Температуру кипения примите равной $t_k = 100 \text{ }^\circ\text{C}$.

3. Из какого вещества изготовлена статуэтка массой $m = 200$ г, если на ее нагревание от температуры $t_1 = 20$ °С до температуры $t_2 = 30$ °С потребовалось количество теплоты $Q = 500$ Дж?

4. Цыплят поят теплой водой, температура которой $t = 33$ °С. Определите объем горячей воды при температуре $t_1 = 81$ °С, который необходимо смешать с холодной водой объемом $V_2 = 160$ мл при температуре $t_2 = 18$ °С, чтобы приготовить воду для питья цыплятам. Потерями теплоты пренебречь.

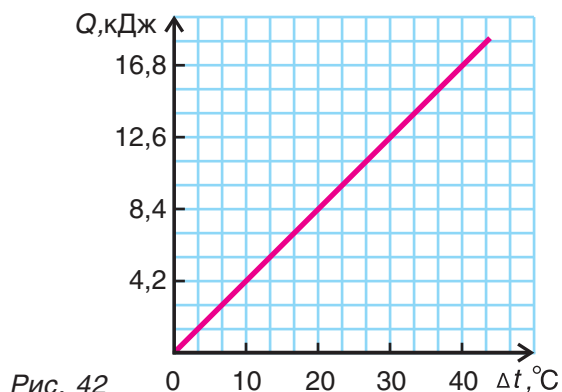


Рис. 42

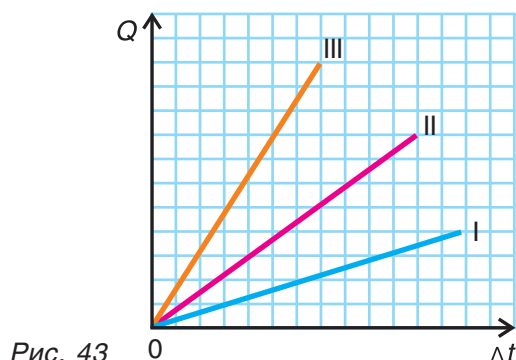


Рис. 43

5. Какой физический процесс происходит с веществом массой $m = 0,1$ кг? График процесса представлен на рисунке 42. Какое это вещество?

6. На рисунке 43 изображены зависимости количества теплоты от изменения температуры для тел I, II и III одинаковой массы, но изготовленных из разных веществ. Сравните удельные теплоемкости веществ этих тел.

7. В металлическую кастрюлю при температуре $t_0 = 10$ °С наливают один литр горячей воды, имеющей температуру $t = 90$ °С. После установления теплового равновесия температура воды оказалась равной $t_1 = 70$ °С. Затем в эту же кастрюлю доливают еще два литра горячей воды, температура которой $t = 90$ °С. Какая температура установится в кастрюле? Потерями теплоты пренебречь.



8. В алюминиевый сосуд массой $m_1 = 200$ г, содержащий воду массой $m_2 = 0,92$ кг при температуре $t_2 = 10$ °С, погрузили чугунный цилиндр при температуре $t_3 = 50$ °С. В результате теплообмена установилась температура $t_4 = 30$ °С. Какова масса цилиндра, если потери энергии составили 8,0 %?



§ 7.

Горение. Удельная теплота сгорания топлива



Рис. 44

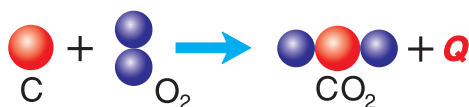


Рис. 45



Рис. 46

Каждый из вас неоднократно зажигал газовую горелку или растапливал печь, чтобы вскипятить воду, сварить суп, т. е. получить энергию от сгорания газа, дров и передать ее приготовляемой пище.

Чтобы печь, камин «грели», надо сжечь дрова (рис. 44), уголь или торф. Энергия, выделившаяся при их сгорании, поглощается печью, ее внутренняя энергия увеличивается, печь нагревается. Газ, уголь, торф, дрова и др. называют **топливом**.

Величина, численно равная количеству энергии, которое выделяется при полном сгорании 1 кг топлива, называется удельной теплотой сгорания топлива.

Обозначается удельная теплота сгорания буквой q . При полном сгорании 2 кг топлива выделится энергии (теплоты) в два раза больше, а при полном сгорании m кг — в m раз больше, т. е.

$$Q = qm, \quad \text{откуда} \quad q = \frac{Q}{m}.$$

Удельная теплота сгорания измеряется в **джоулях на килограмм** $\left(\frac{\text{Дж}}{\text{кг}}\right)$.

Почему при горении выделяется энергия? Вы уже знаете, что молекулы состоят из атомов. Молекула — достаточно устойчивая конструкция. Чтобы ее разрушить, т. е. разделить на атомы, надо затратить энергию. Зато при образовании молекулы из атомов энергия выделяется. В процессе горения образуются молекулы. Например, углерод, входящий в состав топлива, соединяется с двумя атомами кислорода воздуха. Образуется молекула углекислого газа CO_2 (рис. 45). При этом выделяется энергия (теплота Q).

В таблице 2 представлены значения удельной теплоты сгорания q для различных видов топлива. Проанализируйте данные таблицы 2. Из нее

следует, что наибольшее количество теплоты выделяется при сгорании 1 м^3 газообразного водорода: $q = 120\,000\,000 \frac{\text{Дж}}{\text{м}^3} = 1,2 \cdot 10^8 \frac{\text{Дж}}{\text{м}^3}$.

▼ Для любознательных

Водород — один из высокоэнергетических видов топлива. Кроме того, продуктом сгорания водорода является обычная вода. Это делает водород экологически наиболее чистым топливом, что для нас очень важно. Однако газообразный водород взрывоопасен. К тому же, он имеет самую малую плотность в сравнении с другими газами при равной температуре и давлении, что создает сложности со сжижением водорода и его транспортировкой. Тем не менее водород представляет собой перспективный вид топлива.

При сгорании других видов топлива (например, торфа, мазута, природного газа) в атмосферу выбрасываются вредные для здоровья человека и всего живого вещества (рис. 46): углекислый и угарный газы, зола и топочные шлаки, загрязняющие воздух, почву и воду. Именно в связи с загрязнением атмосферы вредными продуктами сгорания проблема социальных мероприятий по охране окружающей среды, поиска экологически чистого топлива является особенно актуальной.

Таблица 2. Удельная теплота сгорания разных видов топлива

Вещество	$q, \frac{\text{МДж}}{\text{кг}}$	Вещество	$q, \frac{\text{МДж}}{\text{кг}}$
Твердое			
Бурый уголь	9,3	Каменный уголь марки А-I марки А-II	20,5 30,3
Древесные чурки	15,0	Кокс	30,3
Древесный уголь	29,7	Порох	3,0
Дрова сухие	8,3	Торф	15,0
Жидкое			
Бензин	46,0	Мазут	40,0
Дизельное топливо	42,0	Нефть	44,0
Керосин	43,0	Спирт этиловый	27,0
Газообразное, $\frac{\text{МДж}}{\text{м}^3}$ (для 1 м^3 при нормальных условиях)			
Водород	120,0	Природный газ	35,5

■ Главные выводы

1. Горение — процесс соединения атомов различных веществ с кислородом в результате химической реакции, сопровождающийся выделением энергии.
2. Удельная теплота сгорания определяет количество энергии (теплоты), выделяющееся при полном сгорании 1 кг топлива.
3. Сгорание топлива вызывает загрязнение окружающей среды.

? Контрольные вопросы

1. Удельная теплота сгорания торфа почти в два раза выше удельной теплоты сгорания сухих дров. Что это значит?
2. Какой из видов твердого топлива, представленных в таблице 2, наилучший? Наихудший? Почему?
3. Верно ли утверждение: «Удельная теплота сгорания прямо пропорциональна количеству выделившейся теплоты и обратно пропорциональна массе сгоревшего топлива»? Почему?
4. Какие пути снижения степени загрязнения атмосферы при использовании топлива вам известны?



Пример решения задачи

Определите массу торфа, которую надо сжечь, чтобы довести до кипения ($t_k = 100^\circ\text{C}$) воду массой $m_b = 10$ кг, имеющую температуру $t_1 = 20^\circ\text{C}$. На нагревание воды идет одна пятая часть теплоты от сгорания торфа.

Дано:

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

$$t_1 = 20^\circ\text{C}$$

$$m_b = 10 \text{ кг}$$

$$Q_b = 0,2Q_t$$

$$c_b = 4,2 \cdot 10^3 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}}$$

$$q = 1,5 \cdot 10^7 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$$

$$m_t = ?$$

Решение

Количество теплоты, необходимое для нагревания воды, $Q_b = c_b m_b (t_k - t_1)$. Торф при сгорании выделяет энергию $Q_t = q m_t$. По условию вода получит $\frac{1}{5} Q_t$: $Q_b = \frac{1}{5} q m_t = 0,2 q m_t$. Следовательно, $c_b m_b (t_k - t_1) = 0,2 q m_t$. Откуда

$$m_t = \frac{c_b m_b (t_k - t_1)}{0,2 q};$$

$$m_t = \frac{4,2 \cdot 10^3 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}} \cdot 10 \text{ кг} \cdot 80^\circ\text{C}}{0,2 \cdot 1,5 \cdot 10^7 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}} = 1,1 \text{ кг}.$$

Ответ: $m_t = 1,1$ кг.

Упражнение 6

1. Сколько теплоты выделяется при полном сгорании каменного угля марки А-I массой $m = 10,0$ кг?

2. Одинаково ли нагреется печь, если в ней сжечь сухие дрова массой $m_1 = 14,5$ кг или торф массой $m_2 = 8,0$ кг? Время и условия сгорания считайте одинаковыми.

3. При сгорании топлива массой $m = 50$ кг выделилось $Q = 750$ МДж теплоты. Какое это топливо?

4. Одна литровая бутылка заполнена бензином, а другая — керосином. Одинаковое ли количество теплоты выделится при полном сгорании содержимого каждой из бутылок?

5. Графики зависимости количества теплоты, выделившегося при сгорании топлива I и топлива II, от их массы изображены на рисунке 47. Чему равна удельная теплота сгорания каждого вида топлива? Во сколько раз количество теплоты, выделившееся при сгорании топлива II, больше количества теплоты, выделившегося при сгорании топлива I, если их массы $m_1 = m_2 = 0,3$ кг? Определите виды топлива.

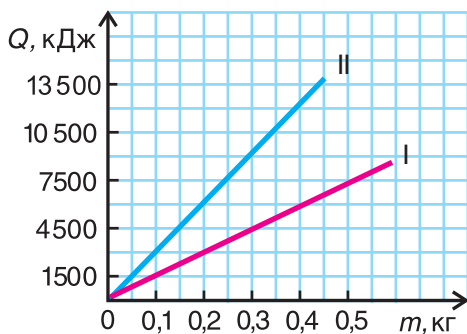


Рис. 47

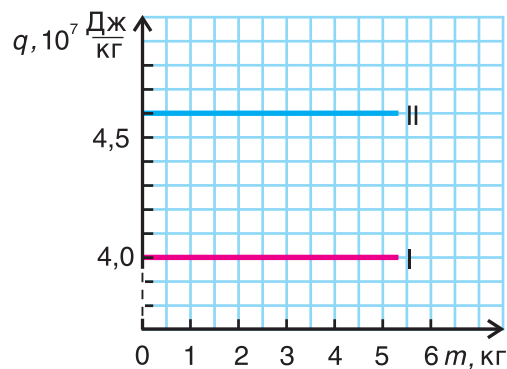


Рис. 48

6. Используя графики зависимости удельной теплоты сгорания топлива I и II от их массы (рис. 48), определите суммарное количество теплоты, выделившееся при сгорании топлива I массой $m_1 = 2,0$ кг и топлива II массой $m_2 = 3,0$ кг. Определите виды топлива.



7. Какая масса пороха должна быть сожжена для получения энергии, равной энергии пули массой $m = 10$ г, летящей со скоростью $v = 600 \frac{\text{м}}{\text{с}}$? Будет ли реально пуля иметь такую скорость, если в ее патроне сгорит порох рассчитанной массы?



8. Какую массу сухих дров нужно сжечь, чтобы нагреть воду массой $m_1 = 500$ г от температуры $t_1 = 10$ °C до кипения ($t_2 = 100$ °C)? Вода получает 15 % теплоты, выделяющейся при сгорании дров.



§ 8.

Плавление и кристаллизация

При теплопередаче внутренняя энергия тела изменяется. Чаще всего это выражается в изменении его температуры. При этом агрегатное состояние вещества остается прежним. Однако существуют процессы, при которых внутренняя энергия вещества при получении теплоты увеличивается, а температура остается постоянной.

К таким процессам относятся плавление и кристаллизация (отвердевание). Изучим эти процессы с помощью опыта. В стакан поместим кусочки льда из морозильной камеры, охлажденные до температуры, например, -10°C . Вставим в стакан термометр и начнем нагревать (рис. 49). Температура льда повышается. Он нагревается. Внутренняя энергия льда увеличивается за счет кинетической энергии его молекул. Изменение температуры вещества в стакане с течением времени будем изображать на графике (рис. 50). Участок AB соответствует нагреванию льда от -10°C до 0°C . При дальнейшей передаче льду теплоты его температура остается постоянной, равной 0°C (участок BC). На что же уходит получаемая льдом теплота? Наблюдения показывают, что кристаллический лед превращается в воду.

Процесс перехода вещества из твердого состояния в жидкое называется плавлением.

Получаемая от плитки теплота по-прежнему превращается во внутреннюю энергию вещества, увеличивая ее. Это увеличение связано с изменением потенциальной энергии взаимодействия частиц при разрушении кристалла. Кинетическая же энергия не изменяется, так как температура постоянна. Аналогично идет процесс плавления других кристаллических веществ: железа, меди, стали и т. д.

Температура, при которой вещество переходит из твердого состояния в жидкое, т. е. плавится, называется температурой плавления.

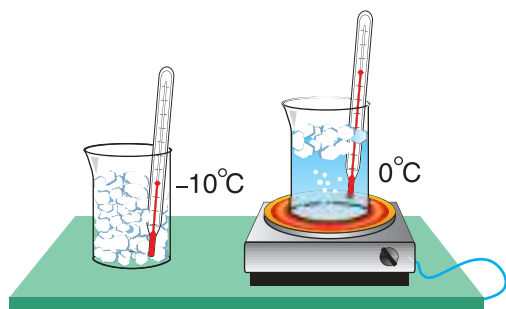


Рис. 49

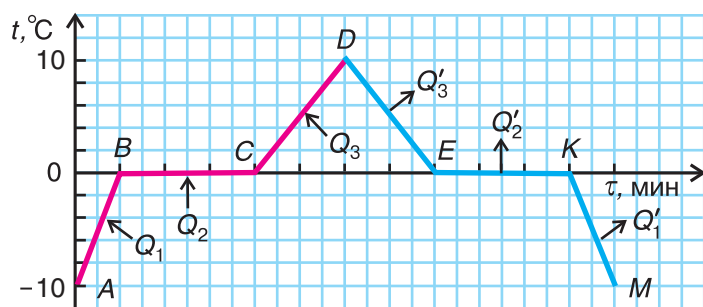


Рис. 50

Температура плавления у разных кристаллических веществ неодинакова (табл. 3). Она очень высокая у вольфрама и очень низкая у водорода.

Таблица 3. Температура плавления и удельная теплота плавления некоторых веществ (при нормальном атмосферном давлении)

Вещество	Температура плавления t , °C	Удельная теплота плавления λ , $\frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$	Вещество	Температура плавления t , °C	Удельная теплота плавления λ , $\frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$
Вольфрам	3387	$184\,000 = 1,84 \cdot 10^5$	Свинец	327	$24\,700 = 2,47 \cdot 10^4$
Платина	1772	$113\,000 = 1,13 \cdot 10^5$	Олово	232	$60\,300 = 6,03 \cdot 10^4$
Железо	1539	$270\,000 = 2,70 \cdot 10^5$	Лед	0	$333\,000 = 3,33 \cdot 10^5$
Сталь	1500	$84\,000 = 8,4 \cdot 10^4$	Спирт	-114	$11\,000 = 1,10 \cdot 10^4$
Медь	1085	$210\,000 = 2,10 \cdot 10^5$	Ртуть	-39	$11\,800 = 1,18 \cdot 10^4$
Золото	1064	$67\,000 = 6,70 \cdot 10^4$	Азот	-210	$25\,500 = 2,55 \cdot 10^4$
Серебро	962	$87\,000 = 8,70 \cdot 10^4$	Кислород	-219	$14\,000 = 1,40 \cdot 10^4$
Алюминий	660	$390\,000 = 3,90 \cdot 10^5$	Водород	-259	$58\,200 = 5,82 \cdot 10^4$

Продолжим опыт. Как только весь лед расплавится, температура воды в стакане начнет возрастать (участок CD , см. рис. 50). На всех рассмотренных участках теплота веществом (льдом, водой) поглощалась.

А теперь снимем стакан с плитки, поставим в морозильную камеру и будем периодически наблюдать за показаниями термометра и состоянием вещества. Вода сначала охлаждается до $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ (участок DE). Ее внутренняя энергия уменьшается, теплота Q'_3 выделяется, причем $|Q'_3| = Q_3$. Затем идет процесс кристаллизации (участок EK), температура остается постоянной, ее значение равно $0\text{ }^{\circ}\text{C}$. Вода превращается в лед. Теплота Q'_2 выделяется, $|Q'_2| = Q_2$. Участок KM (см. рис. 50) соответствует охлаждению льда до температуры в камере.

Процесс перехода вещества из жидкого состояния в твердое называется кристаллизацией.

Обратите внимание, что **температура плавления и температура кристаллизации одинаковы**. Например, если олово плавится при температуре $232\text{ }^{\circ}\text{C}$ (см. табл. 3), то и отвердевать оно будет при температуре $232\text{ }^{\circ}\text{C}$.

▼ Для любознательных

В таблице 3 даны температуры плавления веществ при нормальном атмосферном давлении. И это не случайно. Для большинства веществ с увеличением давления температура плавления увеличивается. Но для льда — наоборот: при повышении давления лед может плавиться, например, при температуре $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Понятия «температура плавления» и «температура кристаллизации» применимы не ко всем веществам. Согрев рукой кусок холодного твердого пластилина, мы ощутим постепенное уменьшение его твердости. Нагревая пластилин далее, можно перевести его в состояние вязкой жидкости. Но мы не обнаружим определенной температуры плавления. То же самое происходит при нагревании стекла: наблюдается непрерывное уменьшение его твердости (рис. 51) и увеличение текучести. Причина такого поведения указанных веществ (их называют аморфными) в отсутствии в их строении упорядоченного расположения частиц.

Понятия «температура плавления» и «температура кристаллизации» применимы лишь к веществам, имеющим кристаллическое строение.



Рис. 51



Рис. 52

Температуру плавления приходится учитывать при создании бытовой и промышленной техники. Спирали лампочек, нагревательных элементов (рис. 52) делают из тугоплавких материалов. В самолетостроении, в ракетной и космической промышленности используют материалы с высокой температурой плавления. Объясните причину этого.

Температуру плавления одних веществ можно изменить, смешивая их с другими. Так, добавляя поваренную соль ко льду, можно получить смесь с температурой плавления $-21\text{ }^{\circ}\text{C}$. Это свойство активно используют дорожные службы, посыпая зимой улицы смесью песка и соли.

■ Главные выводы

1. Для перехода кристаллического вещества из твердого состояния в жидкое его необходимо нагреть до температуры плавления.
2. В процессах плавления и кристаллизации температура вещества не изменяется.
3. Температуры плавления и кристаллизации для данного вещества одинаковы.
4. При плавлении вещество поглощает энергию, при кристаллизации столько же энергии выделяется.

? Контрольные вопросы

1. Какой процесс называется плавлением? Кристаллизацией?
2. К каким веществам применимы термины «плавление» и «кристаллизация»?
3. Как объяснить постоянство температуры при плавлении вещества? На что расходуется подводимая при этом энергия?
4. Как изменяется внутренняя энергия при переходах «твердое вещество — жидкость» и «жидкость — твердое вещество»? Равны ли изменения внутренней энергии при этих переходах?
5. Можно ли железный гвоздь расплавить в оловянной чашке? Почему?
6. В каком состоянии при нормальном атмосферном давлении находятся свинец и азот, если их температуры равны соответственно $t_{\text{св}} = +330\text{ }^{\circ}\text{C}$ и $t_{\text{азота}} = -215\text{ }^{\circ}\text{C}$? Почему?
7. Кусок льда принесли с улицы, где температура была $t_1 = -5\text{ }^{\circ}\text{C}$, в сарай, температура в котором $t_2 = 0\text{ }^{\circ}\text{C}$. Будет ли таять лед? Почему?
8. Замерзнет ли вода в какой-либо из пробирок, изображенных на рисунке 53? Почему?

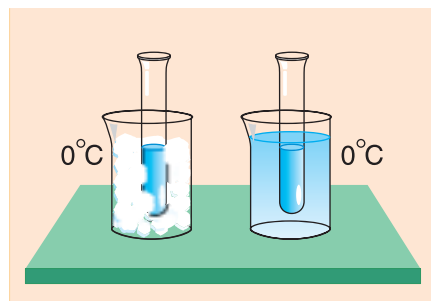


Рис. 53

➔ Домашнее задание

Зажгите свечу и наблюдайте переход воска из твердого состояния в жидкое. Объясните результаты наблюдения.



§ 9.

Удельная теплота плавления и кристаллизации

Как определить количество теплоты, которое должно поглотить твердое кристаллическое тело массой m , чтобы перейти в жидкое состояние, т. е. расплавиться? Еще раз обращаем ваше внимание на то, что температура во время плавления не изменяется (см. рис. 50, участок BC), но теплота телу сообщается. Значит, она идет на разрушение кристаллической упорядоченной структуры вещества тела.

Физическая величина, численно равная количеству теплоты, которое необходимо передать твердому телу массой 1 кг при температуре плавления для перехода в жидкое состояние, называется удельной теплотой плавления.

Удельная теплота плавления обозначается греческой буквой λ (лямбда).

Чтобы расплавить твердое тело массой 2 кг, ему надо передать энергии (теплоты) Q в 2 раза больше. А если масса тела равна m ? Очевидно, для перехода в жидкое состояние тело должно получить теплоты Q в m раз больше, т. е.

$$Q = \lambda m.$$

Из этой формулы следует, что удельная теплота плавления определяется как

$$\lambda = \frac{Q}{m}.$$

В СИ единицей удельной теплоты плавления является **1 джоуль на килограмм** $\left(\frac{\text{Дж}}{\text{кг}}\right)$.

У различных веществ удельная теплота плавления λ неодинакова. В таблице 3 приведены ее значения для разных веществ. Как следует из таблицы, λ для ртути равна $11800 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$. Это значит, что для перехода ртути массой $m = 1$ кг, имеющей температуру $t = -39^\circ\text{C}$, из твердого состояния в жидкое ей надо передать $Q = 11\,800$ Дж энергии. Больше всего теплоты для плавления массы $m = 1$ кг требуется льду — $\lambda = 333\,000 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$ (рис. 54, а). Но при замерзании при температуре $t = 0^\circ\text{C}$ столько же теплоты выделяет каждый килограмм воды (рис. 54, б).

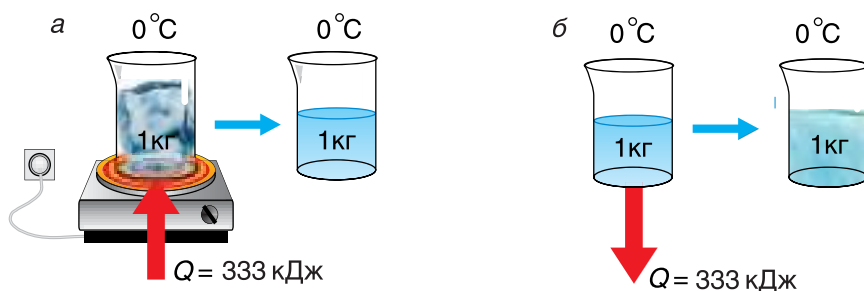


Рис. 54

Большая удельная теплота плавления объясняет затяжное таяние льда озер, рек и других водоемов. А так как теплоту лед поглощает из окружающей среды, то погода в это время, как правило, прохладная. И наоборот, при замерзании озер, рек и других водоемов (рис. 55) выделяется большое количество энергии, что делает более теплой позднюю осеннюю погоду, а климат вблизи морей и океанов более умеренным.



Рис. 55

■ Главные выводы

1. При переходе 1 кг вещества из твердого состояния в жидкое поглощается количество теплоты, численно равное удельной теплоте плавления, и ровно столько же теплоты выделяется при его переходе из жидкого состояния в твердое.
2. Температуры плавления и кристаллизации для данного вещества одинаковы.
3. Удельная теплота плавления у разных веществ различная.

? Контрольные вопросы

1. От чего зависит количество теплоты, необходимое для перехода твердого тела в жидкое состояние?
2. Что называется удельной теплотой плавления? В чем она измеряется?
3. Что означает выражение: «Удельная теплота плавления олова равна $\lambda = 60\,300 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$ »?
4. Удельная теплота плавления вещества равна $\lambda = 58\,200 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$. Какое это вещество? Какая у него температура плавления?
5. Верно ли утверждение: «Удельная теплота плавления прямо пропорциональна количеству теплоты и обратно пропорциональна массе тела?» Почему?



Пример решения задачи

В горячую воду температурой $t_1 = 90^\circ\text{C}$ опустили кубик льда массой $m_2 = 0,20$ кг, имеющий температуру $t_2 = -10^\circ\text{C}$. Окончательная температура воды стала $t = 20^\circ\text{C}$. Определите массу горячей воды. Потерями теплоты пренебречь.

Дано:

$$m_2 = 0,20 \text{ кг}$$

$$t_1 = 90^\circ\text{C}$$

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

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

$$c_v = 4,2 \cdot 10^3 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}}$$

$$c_l = 2,1 \cdot 10^3 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}}$$

$$\lambda = 3,33 \cdot 10^5 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$$

$$m_1 = ?$$

Решение

Составим уравнение теплового баланса: $|Q_{\text{отд}}| = Q_{\text{получ}}$. Отдавала теплоту горячая вода, охлаждаясь от температуры t_1 до температуры t : $Q_{\text{отд}} = c_v m_1 (t_1 - t)$. Лед получал теплоту, за счет которой он нагрелся от t_2 до $t_{\text{пл}}$, превратился в воду, затем полученная вода нагрелась от температуры $t_{\text{пл}}$ до температуры t :

$$Q_{\text{получ}} = Q_{\text{нагрев. льда}} + Q_{\text{пл}} + Q_{\text{нагрев. воды}}.$$

$$Q_{\text{получ}} = c_l m_2 (t_{\text{пл}} - t_2) + \lambda m_2 + c_v m_2 (t - t_{\text{пл}}).$$

$$\text{Тогда } c_v m_1 (t_1 - t) = -c_l m_2 t_2 + \lambda m_2 + c_v m_2 t,$$

$$\text{откуда } m_1 = \frac{-c_l m_2 t_2 + \lambda m_2 + c_v m_2 t}{c_v (t_1 - t)}.$$

Ответ: $m_1 = 0,3$ кг.

Упражнение 7

1. Во сколько раз отличаются количества теплоты, выделившиеся при кристаллизации 1 кг меди и 1 кг железа?

2. На сколько увеличится при плавлении внутренняя энергия серебра массой $m = 2,00$ кг?

3. Какое количество теплоты надо передать золоту объемом $V = 60 \text{ см}^3$, взятому при температуре плавления, чтобы полностью расплавить его?

4. Зависимости количества поглощенной теплоты от массы для двух веществ при их плавлении показаны на рисунке 56. Определите удельную теплоту плавления обоих веществ. Что это

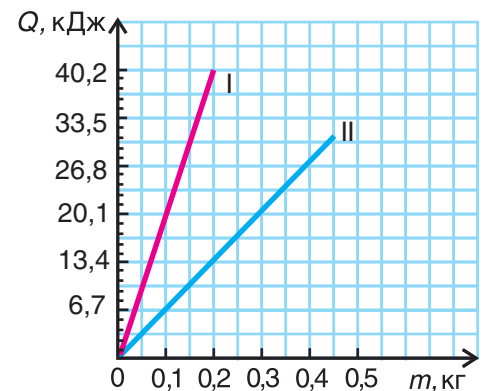


Рис. 56

за вещества? Сколько теплоты выделится при кристаллизации вещества II массой $m = 2,00$ кг?

5. Сколько теплоты потребуется, чтобы расплавить лед массой $m = 3,0$ кг, находящийся при температуре $t = -10$ °С? Постройте график зависимости количества подводимой для этого теплоты Q от температуры t вещества.

6. До какой наименьшей температуры надо нагреть железный куб, чтобы он, помещенный на лед при температуре $t = 0,0$ °С, полностью в него погрузился? Считайте, что вся теплота, отданная кубом при охлаждении, идет на плавление льда.

7. В воду массой $m_1 = 20$ кг вливают олово при температуре плавления $t_{\text{пл}} = 232$ °С. В результате теплообмена установилась температура $t = 23$ °С. Найдите массу олова. Начальная температура воды $t_1 = 20$ °С.

8. В теплоизолированном сосуде находится вода массой $m_1 = 5$ кг при температуре $t_1 = 15$ °С. В воду опустили кусок льда при температуре $t_2 = -25$ °С. Определите массу льда, если в сосуде вся вода замерзла и установилась температура $t_0 = 0$ °С. Теплоемкостью сосуда пренебречь.

9. В алюминиевом калориметре массой $m_1 = 100$ г находится свинец массой $m_2 = 0,50$ кг при температуре $t_1 = 77$ °С. Определите массу мазута, который надо сжечь, чтобы расплавить свинец. Потерями энергии пренебречь.

10. Для плавления стали, имеющей начальную температуру $t_1 = 20$ °С, был сожжен каменный уголь марки А-I массой $m = 20$ кг. Какая масса стали расплавилась, если на плавление затрачено 50 % теплоты, полученной от сгорания угля?



11. При температуре воздуха $t = -10$ °С каждый квадратный метр поверхности пруда выделяет $Q = 180$ кДж теплоты в час. Какой толщины образуется лед за время $\Delta t = 2$ ч, если температура воды у поверхности пруда $t = 0$ °С? Почему теплота выделяется?



12. В алюминиевом сосуде массой $m_1 = 100$ г находится лед массой $m_2 = 500$ г при температуре $t_1 = -10$ °С. Какую массу мазута надо сжечь, чтобы расплавить лед и нагреть воду до температуры $t_2 = 100$ °С, если окружающей среде передается 80 % энергии, выделяемой при его сгорании?



13. Сосуд, содержащий смесь воды со льдом массой $m = 3,7$ кг, поставили на электрическую плиту и сразу же начали измерять температуру содержимого сосуда. График зависимости температуры от времени представлен на рисунке 57. Определите массу льда в смеси. Полезную мощность нагревателя электроплиты считать постоянной.

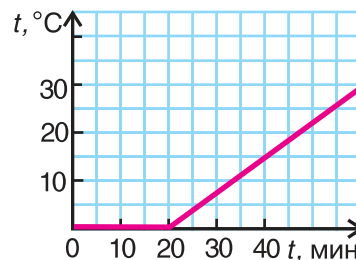


Рис. 57



§ 10.

Испарение жидкостей. Факторы, влияющие на скорость испарения

Задумывались ли вы над вопросом: почему сохнет мокрая одежда? Почему в ветреную погоду она высыхает значительно быстрее, чем в безветренную? Попробуем ответить на эти и некоторые другие вопросы.

Вспомним, что частицы вещества в любом его состоянии находятся в непрерывном движении. Модули и направления скорости меняются самым случайным образом. Молекула жидкости может получить большую скорость, соответственно большую кинетическую энергию. Такая молекула может преодолеть силы притяжения к другим молекулам и покинуть жидкость (рис. 58).

Так как молекулы с большой энергией в жидкости есть всегда, то со временем ее количество будет уменьшаться, а над жидкостью будет образовываться пар (газ).

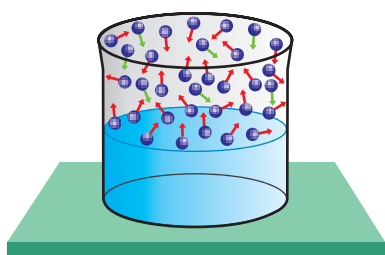


Рис. 58

Процесс перехода вещества из жидкого состояния в газообразное называется парообразованием. Различают два вида парообразования: *испарение* и *кипение*.

Испарение — это парообразование, идущее со свободной поверхности жидкости.

При испарении жидкость покидают молекулы с большей энергией. Энергия жидкости уменьшается. Значит, и ее температура уменьшается. Проверьте это на опыте. Капните на ладонь каплю ацетона или эфира. Вы ощутите холод. Это происходит потому, что при испарении ацетон (эфир) охлаждается и забирает у ладони теплоту.

От чего зависит скорость испарения?

Проведем опыт. На стекло нанесем тампоном влажные пятна одинаковых размеров в такой последовательности: подсолнечное масло, вода, ацетон (эфир) (рис. 59, а).

Первым исчезнет пятно ацетона (рис. 59, б), затем воды. Масляное пятно сохраняется долго. Отсюда следует вывод, что **скорость испарения у разных жидкостей неодинакова**. Это и понятно: у разных жидкостей силы взаимодействия молекул неодинаковые. Продолжим опыт. Одну стеклянную пластинку возьмем холодной, а дру-

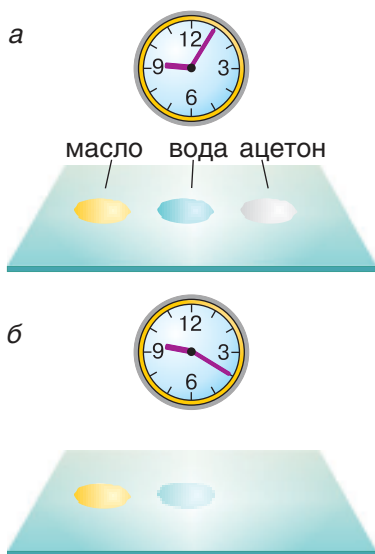


Рис. 59

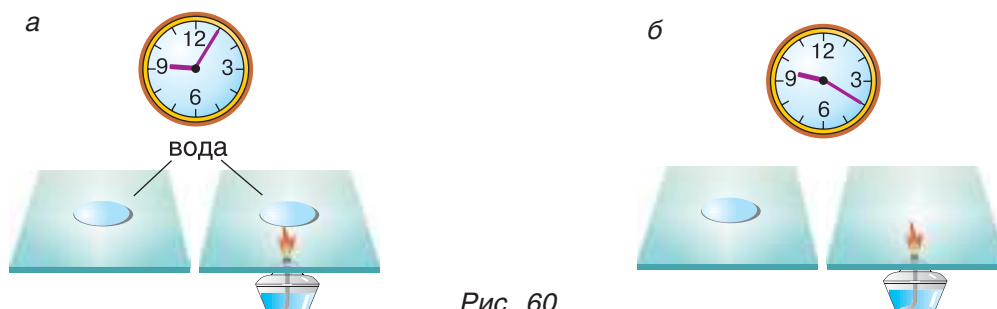


Рис. 60

гую нагреем. Нанесем на них две одинаковые капли ацетона или воды (рис. 60, а). С нагретого стекла капля исчезнет быстрее, чем с холодного (рис. 60, б). **Чем выше температура жидкости, тем больше скорость испарения.**

А теперь капнем на стекло две капли ацетона. Размажем одну каплю так, чтобы образовалось пятно (рис. 61, а). Пятно ацетона испарится быстрее (рис. 61, б). Значит, **чем больше площадь свободной поверхности жидкости, тем больше скорость испарения.**

Наконец, на два стекла нанесем по капле ацетона, но одно стекло будем обмахивать картонным веером. Капля с этого стекла испарится быстрее. Почему? При испарении молекулы не только покидают поверхность жидкости, но и возвращаются обратно. Ветер же уносит вылетевшие молекулы. На этом основана, например, сушка волос феном (рис. 62).

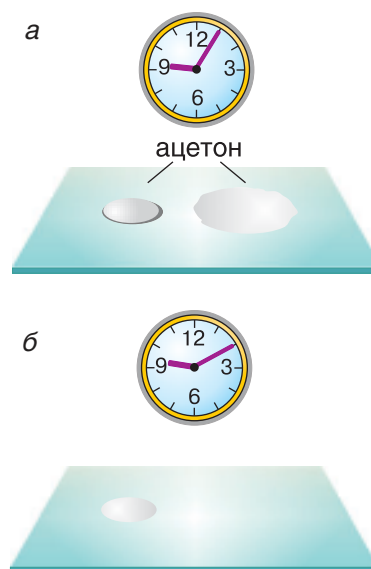


Рис. 61

▼ Для любознательных

Процесс испарения находит практическое применение в технике. Именно благодаря испарению охлаждаются продукты в наших домашних холодильниках, холодильниках магазинов и вагонов-рефрижераторов. О механизме охлаждения вы узнаете в 10-м классе.

В космонавтике испарение вещества, которым покрывают спускаемый аппарат, охлаждает его и спасает от перегрева при попадании в плотные слои атмосферы.



Рис. 62

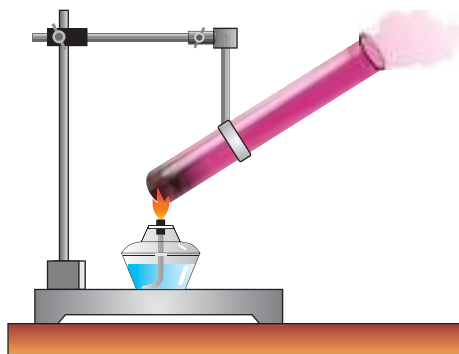


Рис. 63

А испаряются ли твердые вещества? Проведем следующий опыт. В пробирку, закрепленную на штативе, поместим кристаллики йода и будем нагревать ее в пламени спиртовки (рис. 63).

Через некоторое время кристаллики йода испарятся. Значит, твердые тела тоже испаряются.

Исчезает иней на деревьях (рис. 64). Белье высыхает даже при сильном морозе.



Рис. 64

■ Главные выводы

1. Испарение вызывает охлаждение жидкостей.
2. Испарение жидкостей происходит при любой температуре.
3. Скорость испарения зависит от рода жидкости, ее температуры, площади свободной поверхности и от притока воздуха (наличия ветра).

? Контрольные вопросы

1. Какой процесс называют испарением?
2. Почему при испарении жидкость охлаждается?
3. Какая составляющая внутренней энергии жидкости (кинетическая или потенциальная) изменяется при испарении жидкости без подачи теплоты извне? Почему?
4. Почему скорость испарения разных жидкостей неодинакова?
5. Помещение, в котором пролили ртуть, опасно для проживания долгие годы, если специальная служба его не очистила. Почему?

Упражнение 8

1. В каком флаконе — с узким или широким горлышком (рис. 65) — духи сохранятся дольше? Почему?

2. Почему при одной и той же температуре в безветренную погоду белье сохнет медленнее, чем при сильном ветре?

3. Чтобы в жаркую погоду сохранить воду холодной, сосуд с водой оборачивают мокрой тряпкой. Почему?

4. Будет ли вода испаряться из открытого сосуда, если его перенести из теплой комнаты ($t_1 = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$) на улицу ($t_2 = 2\text{ }^{\circ}\text{C}$)?

5. На весах уравновешены открытые бутылки с ацетоном и водой (рис. 66). Нарушится ли равновесие весов через некоторое время? Почему?

6. Почему, выйдя из воды, купальщик ощущает холод?

7. Почему вспотевшему человеку вредно выходить на холодный воздух?

8. Какое значение для жизнедеятельности человека имеет потоотделение?

9. При высокой температуре тело больного иногда протирают раствором спирта. Зачем это делают?

10. Для чего яблоки или груши перед сушкой разрезают на дольки?

11. Объясните действие «воздушного полотенца» (струя теплого воздуха), применяемого для сушки мокрых рук (рис. 67).

12. Если в сосуд налить немного воды, а сверху — эфира, а затем насосом откачивать из него пары эфира, то вода в сосуде замерзает. Объясните это явление.



Рис. 65



Рис. 66



Рис. 67





§ 11.

Кипение жидкостей. Удельная теплота парообразования

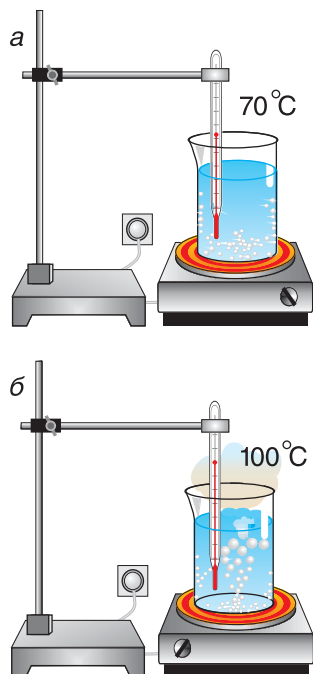


Рис. 68



Рис. 69



Рис. 70

Вы уже знаете, что испарение жидкости без притока теплоты при любой температуре приводит к ее охлаждению. А как будет идти испарение, если жидкости непрерывно передавать энергию (теплоту)?

Проведем опыт. Поставим на электроплитку стакан с водой (рис. 68, а). По термометру будем следить за изменением температуры воды в стакане. Температура воды сначала растет. На дне стакана появляется множество маленьких пузырьков. Их размеры постепенно увеличиваются, так как вода испаряется внутрь пузырьков и давление пара в пузырьках при нагревании повышается. Пузырьки отрываются ото дна и стенок и движутся вверх. А что дальше? Если давление пара внутри пузырька больше, чем над жидкостью, то у поверхности он разрывается, и пар выходит наружу. При этом температура воды близка к 100°C и практически не меняется. А все большее число пузырьков поднимается и лопается у поверхности, выбрасывая пар в атмосферу. Вода кипит (рис. 68, б).

Кипение — это процесс парообразования, идущий при постоянной температуре по всему объему жидкости. Действительно, любой пузырек можно рассматривать как сосуд с паром внутри жидкости (рис. 69). С поверхности его стенок идет испарение и обратный процесс — возврат молекул в жидкость, т. е. *конденсация*.

При кипении температура жидкости не меняется. Но ведь энергия (от нагретой плитки) жидкостью поглощается. На что же она расходуется? Энергия, полученная жидкостью, идет на превращение ее в пар (газ), т. е. на преодоление сил притяжения между молекулами жидкости.

При обратном процессе — **переходе пара в жидкость** (рис. 70), или **конденсации**, это же количество энергии выделяется.

Температура, при которой происходит кипение жидкости, называется температурой кипения.

Температура кипения у разных жидкостей неодинакова. Это и понятно, ведь энергия взаимодействия их молекул тоже разная.

В таблице 4 приведены температуры кипения жидкостей при нормальном атмосферном давлении.

А случайно ли мы, говоря о температуре кипения жидкости, указываем давление? Нет, не случайно. Пузырьки кипящей жидкости лопаются при условии, что давление пара в них не меньше, чем давление снаружи. Значит, **чем меньше внешнее давление, тем при более низкой температуре закипит жидкость.**

Подтвердим это опытом. Нальем в колбу теплой воды, температура которой $t = 50\text{--}60\text{ }^{\circ}\text{C}$. Закроем колбу пробкой, подсоединенной к откачивающему насосу (рис. 71). Откачаем газ из колбы. Вода закипит, хотя ее температура меньше $100\text{ }^{\circ}\text{C}$. Но это не значит, что в такой воде можно сварить яйцо. Яйцо варится не потому, что вода кипит, а потому, что она горячая.

А если в специальных условиях создать высокое давление над поверхностью воды, то в ней можно будет расплавить олово, но вода так и не будет кипеть. Объясните почему.

Зависимость температуры кипения от внешнего давления используется в практических целях. Например, для стерилизации медицинских инструментов их помещают в герметически закрытые камеры-автоклав (рис. 72), вода в которых кипит при температуре значительно выше $100\text{ }^{\circ}\text{C}$. В быту используются кастрюли-скороварки (рис. 73), в которых температура кипения воды может повышаться до $120\text{ }^{\circ}\text{C}$. Поэтому пища в скороварках готовится гораздо быстрее, чем в обычных кастрюлях.

Вернемся к парообразованию. Чтобы превратить в пар 1 кг жидкости при температуре кипения, необходимо передать ей определенное

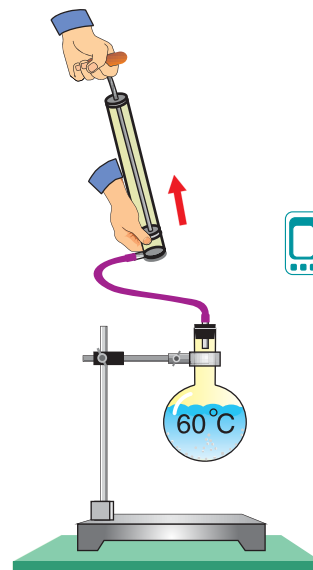


Рис. 71



Рис. 72



Рис. 73

количество теплоты. А если масса жидкости будет 2 кг? Значит, теплоты понадобится в 2 раза больше. А при превращении в пар m кг жидкости количество теплоты увеличится в m раз, т. е. количество теплоты, необходимое для парообразования, прямо пропорционально массе жидкости:

$$Q = Lm.$$

В этой формуле коэффициент L называется удельной теплотой парообразования:

$$L = \frac{Q}{m}.$$

Как следует из формулы, единицей удельной теплоты парообразования в СИ является 1 джоуль на килограмм $\left(\frac{\text{Дж}}{\text{кг}}\right)$.

Удельная теплота парообразования есть физическая величина, численно равная количеству теплоты, поглощенному 1 кг жидкости при переходе ее в пар при температуре кипения.

Таблица 4. Температура кипения и удельная теплота парообразования некоторых жидкостей (при нормальном атмосферном давлении)

Вещество	Температура кипения t , °C	Удельная теплота парообразования L , $\frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$
Воздух	-192	210 000 = $2,1 \cdot 10^5$
Аммиак	-33,4	1 370 000 = $1,37 \cdot 10^6$
Эфир	35	352 000 = $3,52 \cdot 10^5$
Ацетон	56,2	520 000 = $5,2 \cdot 10^5$
Спирт	78	857 000 = $8,57 \cdot 10^5$
Вода	100	2 260 000 = $2,26 \cdot 10^6$
Ртуть	357	285 000 = $2,85 \cdot 10^5$
Железо	3050	58 000 = $5,8 \cdot 10^4$

Удельная теплота парообразования различных жидкостей дана в таблице 4. Что значит $L = 2,26 \cdot 10^6 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$ для воды? А это значит, что

1 кг воды при температуре $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ должен поглотить $2,26 \cdot 10^6$ Дж энергии (теплоты), чтобы перейти в газ (пар) с этой же температурой.

Можно сказать и иначе: $L = 2,26 \cdot 10^6 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$ — это количество теплоты, которое выделится при конденсации 1 кг пара при температуре кипения ($100\text{ }^{\circ}\text{C}$).

■ Главные выводы

1. Превращение жидкости в газ (пар) при постоянной температуре во всем объеме жидкости называют кипением.
2. Температура кипения зависит от рода жидкости и внешнего давления.
3. Чем выше давление над поверхностью жидкости, тем выше температура кипения.
4. При кипении жидкость поглощает энергию, при конденсации пара выделяется равное количество энергии.
5. Количество поглощенной при кипении тепловой энергии зависит от рода жидкости и ее массы.

? Контрольные вопросы

1. Что представляет собой процесс кипения жидкости?
2. Почему температура жидкости в процессе кипения не изменяется?
3. Какой физический смысл имеет удельная теплота парообразования?
4. Исходя из формулы $L = \frac{Q}{m}$, поясните, будет ли верным утверждение: «Удельная теплота парообразования прямо пропорциональна количеству поглощенной теплоты и обратно пропорциональна массе жидкости».
5. Почему с увеличением внешнего давления температура кипения жидкости повышается, а с уменьшением — понижается?



Пример решения задачи

На рисунке 74 представлен график зависимости количества теплоты, идущего на парообразование некоторой жидкости, от ее массы. Какую массу олова можно расплавить, используя теплоту конденсации пара данной жидкости массой $m_1 = 0,01$ кг, взятого при температуре кипения? Температура олова $t = 32\text{ }^{\circ}\text{C}$.

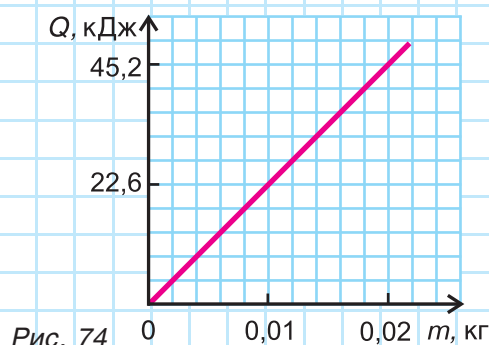


Рис. 74

Дано:

$m_1 = 0,01 \text{ кг}$

$t = 32 \text{ }^\circ\text{C}$

$t_{\text{пл}} = 232 \text{ }^\circ\text{C}$

$c_{\text{ол}} = 250 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}}$

$\lambda = 6,03 \cdot 10^4 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$

 $m = ?$

Решение

Из графика найдем модуль количества теплоты, которое выделится при конденсации пара массой $m_1 = 0,01 \text{ кг}$:

$$|Q_{\text{кон}}| = Q_{\text{пар}} = 22,6 \text{ кДж} = 22\,600 \text{ Дж.}$$

Для нагревания до температуры плавления $t_{\text{пл}}$ и плавления массы m олова необходимо количество теплоты

$$Q = c_{\text{ол}} m (t_{\text{пл}} - t) + \lambda m.$$

$$|Q_{\text{кон}}| = Q.$$

$$\text{Откуда } m = \frac{Q}{c_{\text{ол}} (t_{\text{пл}} - t) + \lambda}.$$

$$t_{\text{пл}} - t = 232 \text{ }^\circ\text{C} - 32 \text{ }^\circ\text{C} = 200 \text{ }^\circ\text{C}.$$

$$\text{Тогда } m = \frac{22\,600 \text{ Дж}}{250 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}} \cdot 200 \text{ }^\circ\text{C} + 6,03 \cdot 10^4 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}} = 0,2 \text{ кг.}$$

Ответ: $m = 0,2 \text{ кг}$.

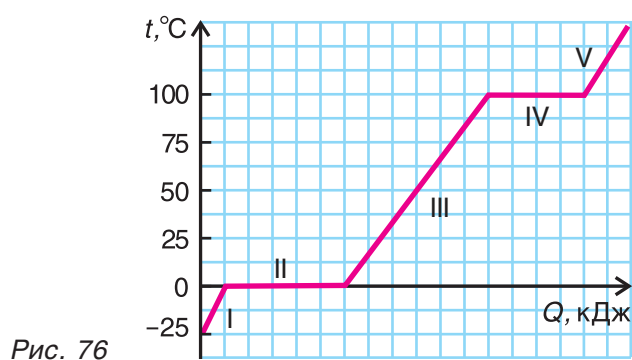
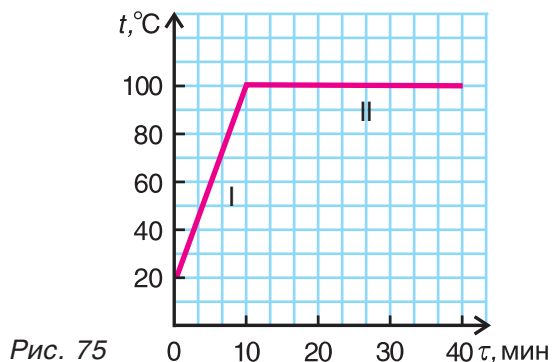
Упражнение 9

1. Как можно разделить смесь жидкостей на отдельные компоненты?

2. Где кусок мяса сварился бы на одной и той же горелке быстрее — у подножия горы Эверест или на ее вершине? Почему?

3. Какой участок графика (рис. 75) соответствует процессу кипения воды? Какова начальная температура воды? Конечная?

4. Опишите процессы, протекающие в веществе, анализируя участки I—V графика (рис. 76). Что это за вещество?



5. Почему ожоги кожи водяным стоградусным паром более сильные, чем ожоги кипящей водой?

6. Что обладает большей энергией: эфир массой $m = 100$ г при температуре $t = 35$ °С или пары эфира той же массы при той же температуре?

7. При конденсации пара некоторой жидкости массой $m = 200$ г при температуре кипения выделилось $Q = 7,04 \cdot 10^4$ Дж теплоты. Чему равна удельная теплота парообразования этой жидкости? Какая жидкость образовалась при конденсации?

8. Сколько энергии необходимо для превращения в пар воды массой $m = 2,0$ кг, взятой при температуре: а) $t_1 = 100$ °С; б) $t_2 = 20$ °С?

9. Используя график зависимости количества теплоты, необходимого для превращения жидкости в пар (газ), от массы жидкости (рис. 77), определите удельную теплоту парообразования. Какая это жидкость? Сколько теплоты выделится при конденсации пара данной жидкости массой $m = 3,00$ кг?

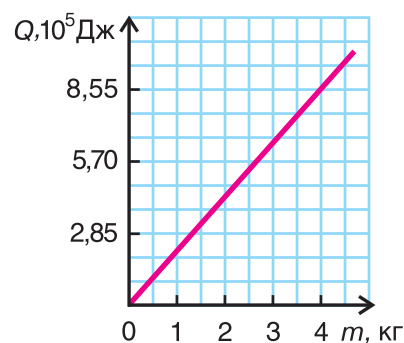


Рис. 77

10. Сколько льда, взятого при температуре $t_1 = -10$ °С, можно полностью расплавить, если передать ему энергию, выделившуюся при конденсации водяного пара массой $m = 25$ г при температуре $t_2 = 100$ °С?



11. В кастрюле с водой плавает пробирка, наполненная водой. При нагревании вода в кастрюле закипает. Закипит ли вода в пробирке?



12. Колбу, содержащую воду массой $m_1 = 300$ г при температуре $t = 40$ °С, нагревают на спиртовке. Какая масса воды превратится в пар, если в спиртовке сгорела масса $m_2 = 20$ г спирта? Коэффициент полезного действия спиртовки $\eta = 20$ %, теплоемкость колбы $C = 200 \frac{\text{Дж}}{^\circ\text{С}}$.

13. В калориметре находится $m_1 = 272$ г льда при температуре $t_1 = 0$ °С. Какую массу водяного пара надо впустить в калориметр, чтобы расплавить весь лед? Температура пара $t = 100$ °С. Теплоемкостью калориметра и потерями энергии пренебречь.



14. Смесь, состоящую из воды массой $m_1 = 7,5$ кг и льда массой $m_2 = 2,5$ кг, находящуюся при температуре $t_1 = 0$ °С, необходимо нагреть до температуры $t_2 = 50$ °С путем пропускания водяного пара, температура которого $t_3 = 100$ °С. Определите массу пара. Потерями энергии пренебречь.



Темы проектных заданий по главе «Тепловые явления»

1. Автомобиль, экология и человек. Их комфортное взаимодействие.
2. Вода: ее обычные и необычные свойства.
3. Каким должен быть термос, чтобы скорость изменения температуры его содержимого была минимальной?
4. Исследование зависимости скорости остывания воды в чайнике от его формы, размеров и цвета.
5. Исследование зависимости скорости перехода в жидкое состояние шоколада от его состава и пористости.
6. Тепловые явления на службе у дачников и жителей села.

2



Электромагнитные явления



- Что общего у мобильного телефона и молнии?
- Почему светит электрическая лампа?
- Можно ли отделить друг от друга полюса магнита?



Трудно и даже невозможно представить сегодняшнюю жизнь без электричества. Каждый день мы почти автоматически нажимаем кнопки и включаем самые разнообразные приборы и технические устройства, делающие нашу жизнь комфортной. Электролампы освещают квартиры и улицы, электроплита греет, а холодильник охлаждает. Станки, компьютеры, радиоприемники, телевизоры, телефоны и др. — все эти устройства используют электричество. Электричество связано с магнетизмом. С этими интересными и очень важными электромагнитными явлениями мы познакомимся в этой главе.



§ 12.

Электризация тел. Взаимодействие зарядов

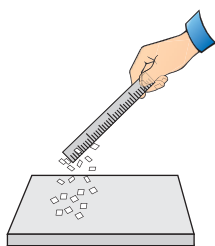


Рис. 78

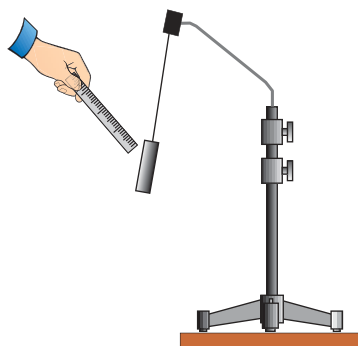


Рис. 79

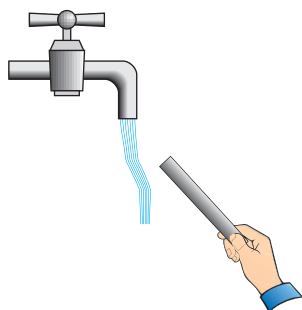


Рис. 80

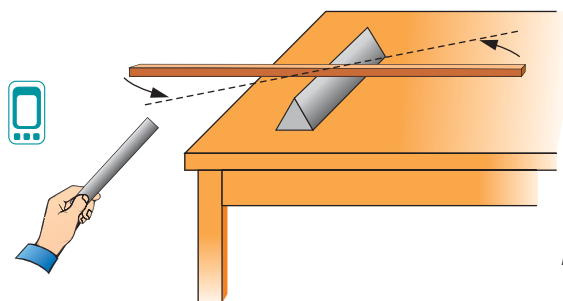


Рис. 81

С электричеством связана не только работа современных приборов и технических устройств. Оно играет гораздо более важную роль. Электрические силы взаимодействия атомов и молекул ответственны за обмен веществ в человеческом организме. Что же представляют собой электрические явления?

Слово «электричество» происходит от греческого названия янтаря (*electron* — янтарь). Еще древние греки заметили, что янтарь, потертый о ткань, притягивает легкие тела.

Проведем опыт. Потрем о сухую бумагу пластмассовое тело (линейку, расческу). Оно начнет притягивать другие тела: крошки пенопласта, мелко нарезанную бумагу (рис. 78), пух, станиолевую гильзу (рис. 79).

Говорят, что тело (из пластмассы, стекла, фарфора и т. д.) при трении электризуется, или приобретает электрический заряд.

В ряде случаев действие наэлектризованных тел может быть весьма значительным. Например, при поднесении наэлектризованной палочки искривляется струя воды (рис. 80), поворачивается деревянная рейка (линейка) (рис. 81).

В XVIII в. были установлены два важных свойства электризации.

1. При трении **электризуются**, или приобретают электрический заряд, **оба тела** (янтари и ткань, пластмассовая линейка и бумага). Само трение малосущественно, оно лишь увеличивает площадь соприкосновения тел.

Подтвердим сказанное опытом. Потрем друг о друга чистые и сухие кусок резинового шланга *A* и стеклянную палочку *B* (рис. 82, *a*). И шланг, и палочка после этого притягивают к себе легкую гильзу (рис. 82, *б, в*). Значит, электрические заряды появились у обоих тел.

2. Появляющиеся на телах **заряды** принципиально отличаются друг от друга. Они **разноименны**.

В том, что эти заряды неодинаковы, легко убедиться на опыте. Подвесим на шелковой нити наэлектризованную стеклянную палочку *B*. Поднесем к ней наэлектризованный кусок шланга *A*. Стеклянная палочка *B* к нему притягивается (рис. 83, *a*). Но если поднести к стеклянной палочке *B* потертую о резину стеклянную палочку *C*, то палочка *B* уже отталкивается (рис. 83, *б*). Значит, электрические заряды, возникающие на стекле и резине, **разноименны**, и они **притягиваются**. А заряды, возникающие на стеклянных палочках, **одноименны**, и они **отталкиваются**.

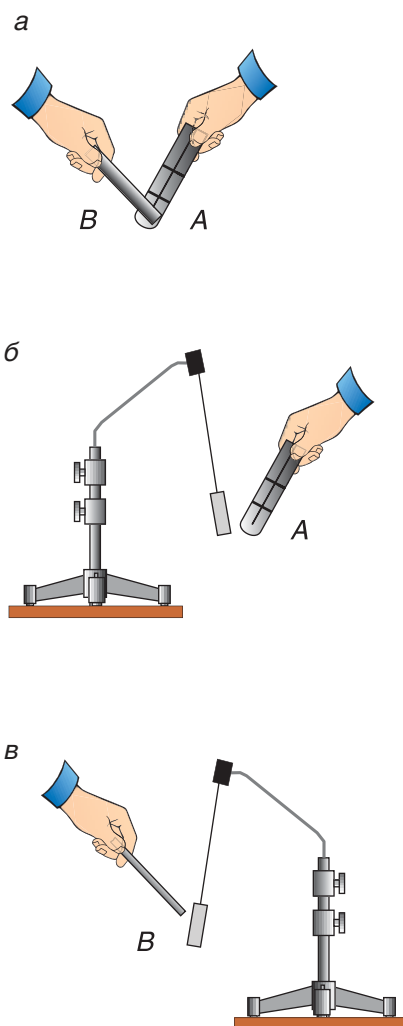


Рис. 82

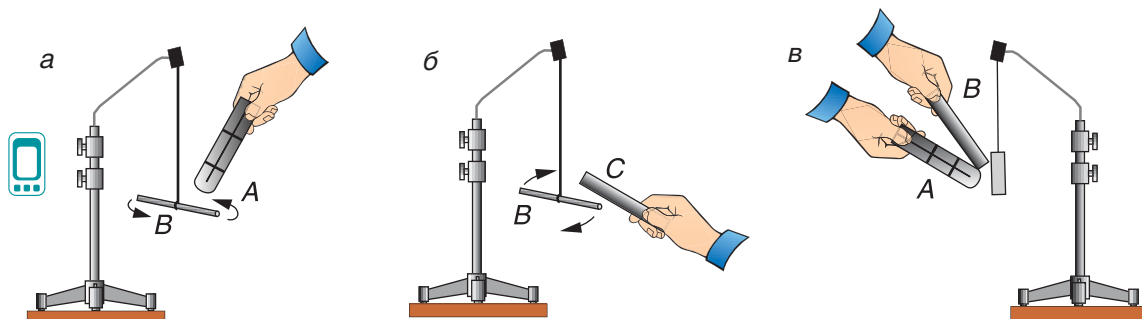


Рис. 83

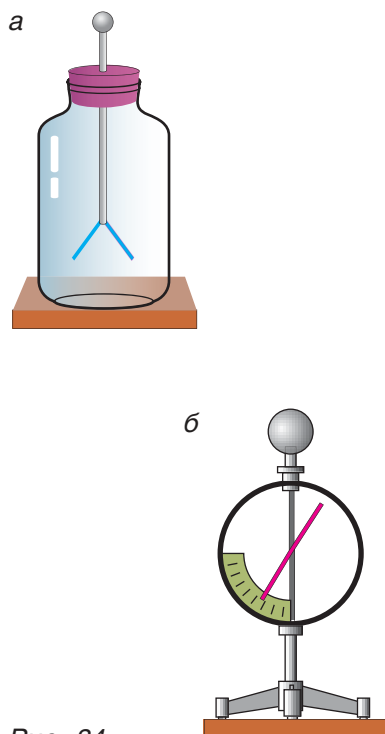


Рис. 84

Продолжим опыт. Сложим вместе потертые друг о друга кусок шланга и стеклянную палочку и поднесем их к подвешенной гильзе (рис. 83, в). Действия нет! Хотя заряды были на обоих телах (шланге и палочке), при соприкосновении они нейтрализовали друг друга. Именно этим объясняются названия электрических зарядов: **положительный** (у стекла) и **отрицательный** (у резины). Вспомните математику: результат сложения двух равных по модулю чисел противоположных знаков равен нулю ($-5 + 5 = 0$).

Итак, **электрическое взаимодействие** — это **притяжение разноименно заряженных тел и отталкивание одноименно заряженных тел**.

Отталкивание одноименно заряженных тел лежит в основе устройства прибора для оценки и сравнения величины *электрического заряда* (количества электричества) — *электроскопа* (рис. 84, а). Он представляет собой стеклянный баллон, внутри которого сквозь пробку вставлен металлический стержень. К концу стержня прикреплены легкие бумажные листочки. Снаружи к стержню прикреплен металлический шарик. При передаче шарiku электроскопа, например, отрицательного заряда мы заряжаем этим зарядом листочки электроскопа. Одноименно заряженные листочки расходятся на некоторый угол, тем больший, чем больше переданный электроскопу заряд.

Более совершенным прибором является *электрометр* (рис. 84, б). Сообщенный шарiku, а через него стержню и стрелке заряд вызывает отталкивание стрелки от заряженного стержня. Нижний конец стрелки перемещается при этом по шкале с делениями.

■ Главные выводы

1. При контакте двух различных тел оба тела заряжаются и приобретают способность к электрическому взаимодействию.
2. Возникающие на телах заряды называются положительными и отрицательными.
3. Одноименно заряженные тела отталкиваются, а разноименно заряженные — притягиваются.

? Контрольные вопросы

1. Что такое электризация трением? Какова роль трения при такой электризации?
2. Почему заряды получили название положительных и отрицательных?
3. Для чего служит электроскоп? Как он работает?
4. Каков знак заряда шарика, подвешенного на шелковой нити и расположенного вблизи заряженной палочки (рис. 85)?

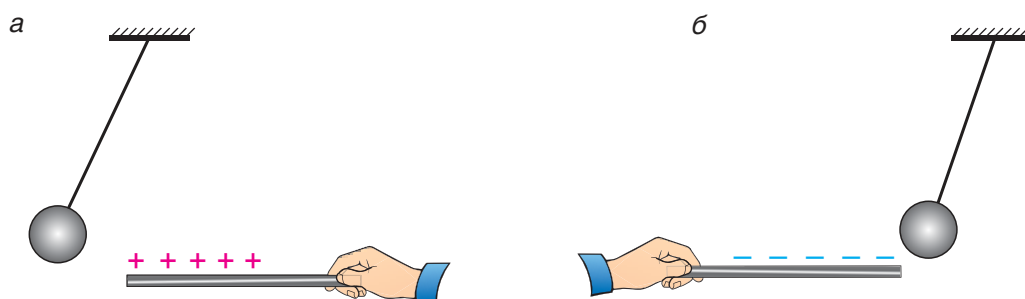


Рис. 85

→ Домашнее задание

1. Изготовьте электроскоп. К концу медной проволоки прикрепите ниткой согнутую пополам полоску тонкой бумаги. Другим концом проволоки проткните крышку бутылки. Вставьте конец проволоки с полоской бумаги в бутылку так, чтобы бумага не касалась стенок и дна. Закрутите крышку. Проверьте работу электроскопа. Опишите результаты.

2. На рисунке 86 представлены электроскоп и три палочки, одна из которых заряжена положительно, другая — отрицательно, третья не имеет заряда. Предложите способы определения:

- а) какие палочки имеют заряд;
- б) одинаковы ли абсолютные величины зарядов палочек.

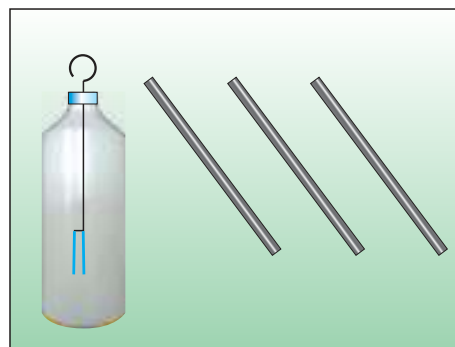


Рис. 86



§ 13.

Проводники и диэлектрики

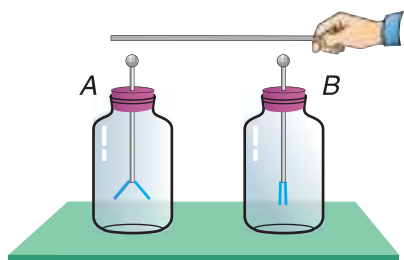


Рис. 87

Можно ли имеющийся на наэлектризованном теле заряд передать другому телу? Перейдет ли, например, заряд от заряженного электрометра *A* к незаряженному электрометру *B* (рис. 87), если их соединить перемычкой?

Проверим это на опыте, используя для соединения заряженного *A* и незаряженного *B* электрометров перемычки из разных веществ. Опыт показывает, что через перемычку из таких веществ, как стекло, резина, различные пластмассы, заряд с заряженного электрометра *A* на незаряженный *B* не переходит (рис. 88, *a*). Эти вещества являются **диэлектриками** (их часто называют **изоляторами**). Именно из таких веществ изготовлены оболочки проводов, розетки, выключатели, ручки отверток (рис. 89) и т. д. Диэлектриком является и сухой воздух.

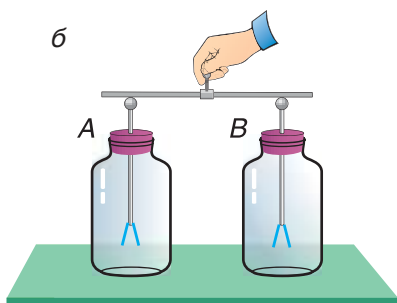
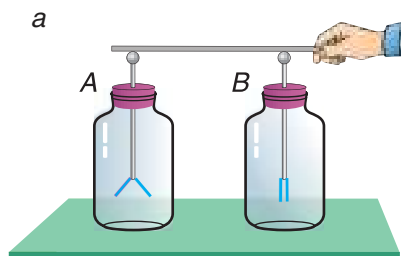


Рис. 88

Если же соединить электрометры *A* и *B* перемычкой из любого металла, часть электрического заряда переходит к электрометру *B* (рис. 88, *б*). Это значит, что металлы (и в твердом, и в жидком состояниях) — типичные представители **проводников**. К проводникам относится также большинство жидкостей: растворы кислот, солей, включая обычную питьевую воду. Проводником является и тело человека, состоящее более чем на две трети из жидкости.

Очень важно понимать, что идеальных диэлектриков нет. У любого диэлектрика можно обнару-



Рис. 89

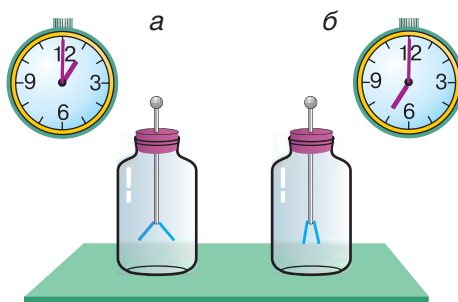


Рис. 90



Рис. 91

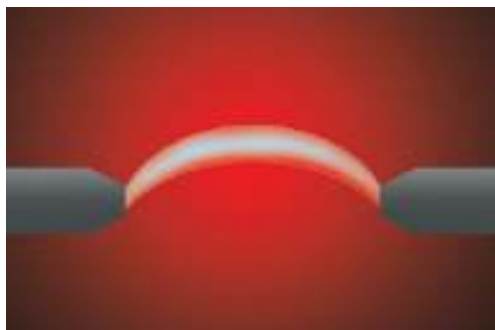


Рис. 92

жить хотя бы малую проводимость. Так, если оставить на несколько часов заряженный электроскоп (рис. 90, а, б), то его заряд уменьшится, что говорит о наличии некоторой проводимости у воздуха.

Все вы неоднократно наблюдали молнию (рис. 91). Молния, электрическая дуга при сварке металлов (рис. 92) свидетельствуют о том, что воздух при определенных условиях становится очень хорошим проводником.

Даже такие отличные диэлектрики, как фарфор и стекло, могут превратиться в проводники. Именно поэтому в линиях электропередач применяются целые гирлянды изоляторов (рис. 93).



Рис. 93

▼ Для любознательных

Существует еще одна группа веществ — полупроводники. У этих веществ (например, германия Ge, кремния Si) способность проводить заряд (проводимость) во много раз хуже, чем у проводников (металлов). Очень важно, что проводимость полупроводников можно значительно увеличивать различными воздействиями: нагреванием, освещением, радиационным облучением. Это связано с особенностью строения веществ этой группы. Именно полупроводники позволили создать сложнейшие устройства: солнечные батареи для спутников, компьютер, калькулятор, мобильный телефон (рис. 94) и многое другое. С этой группой веществ вы познакомитесь подробнее при изучении физики в 10-м классе.



Рис. 94

■ Главные выводы

1. Электрический заряд может перемещаться внутри тела или от одного тела к другому.
2. Вещества, в которых возможно перемещение заряда, называются проводниками.
3. Вещества, в которых перемещение заряда затруднено, называются диэлектриками (изоляторами).

? Контрольные вопросы

1. В чем отличие проводников от диэлектриков?
2. Как можно установить, является данное вещество проводником или диэлектриком?
3. Какими опытами можно подтвердить диэлектрические свойства воздуха?
4. Если коснуться пальцем шарика заряженного электроскопа (электрометра), то заряд на приборе исчезнет. Какие выводы можно сделать из этого?
5. Почему во влажном помещении опыты по электризации «не получаются»?
6. Что такое идеальный диэлектрик? Существует ли он?

➔ Домашнее задание

Возьмите две узкие сухие полоски газетной бумаги и проведите по ним пальцами сухих рук (рис. 95). Объясните поведение полосок. Действие какого прибора иллюстрирует этот опыт?

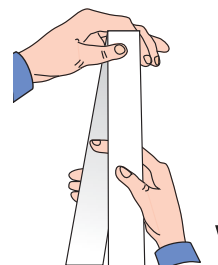


Рис. 95

Упражнение 10

1. Почему при надевании свитера он прилипает к рубашке? Почему спустя некоторое время прилипание исчезает?

2. На рисунке 96 изображена часть установки, примененной русским ученым Г. В. Рихманом для изучения электрических явлений. При передаче металлическому стержню AB заряда хлопчатая нить CD отклонялась и ее конец перемещался по шкале F . Что измерял этот прибор?

3. Каким простым способом можно разрядить электроскоп, т. е. убрать с прибора ранее полученный им заряд?

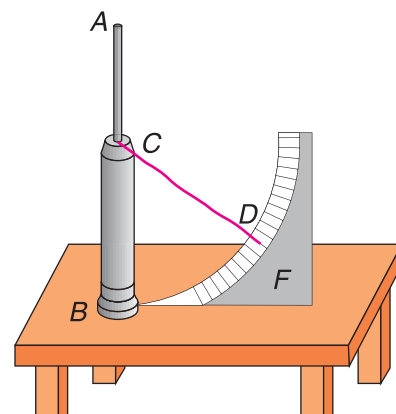


Рис. 96

4. Два заряженных проводящих шара соединили проводником. Как распределится между ними заряд, если шары одинакового размера и изготовлены из одного и того же металла?

5. Как можно уменьшить электрический заряд на проводящем теле (металлическом шарике) ровно вдвое? В четыре раза?

6. Почти до конца XVIII в. считали, что металлические и влажные тела не электризуются при трении. На чем было основано это неверное мнение?

7. Почему на некоторых производствах (прядельных, полиграфических) искусственно поддерживают высокую влажность воздуха?



8. Проводящим шарикам *A* и *B* сообщили равные разноименные заряды, а затем, предварительно разрядив шарики, — такие же одноименные заряды. Будут ли силы притяжения шариков в первом случае равны силам отталкивания шариков во втором?

9. Можно ли наэлектризовать металлическую ложку? Как?

10. На рисунке изображен заряженный электроскоп (рис. 97, *a*) и его состояние после того, как его шарика коснулись: а) положительно заряженной палочкой (рис. 97, *б*); б) отрицательно заряженной палочкой (рис. 97, *в*). Какого знака заряд был на электроскопе изначально?

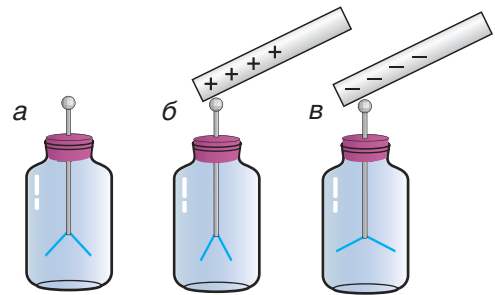


Рис. 97

11. Два висящих на нитях шарика, несущие заряд, сначала притянулись (рис. 98, *a*), а затем разошлись на некоторый угол (рис. 98, *б*). Как можно объяснить данное явление?

12. При движении автомобиля в сухую погоду вследствие трения шин об асфальт накапливается большой электрический заряд. Какую роль в автомобиле, перевозящем огнеопасные жидкости, играет прикрепленная металлическая цепь, волочащаяся по асфальту?

13. Как, используя эбонитовую палочку, кусок меха и два электрометра, экспериментально определить, проводником или диэлектриком является кожаный ремень?

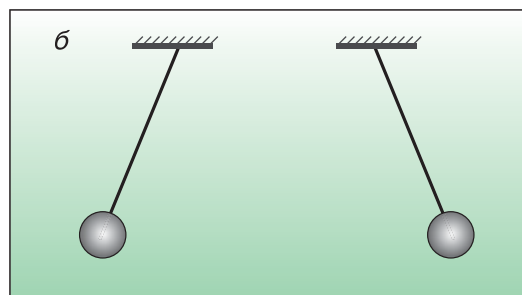
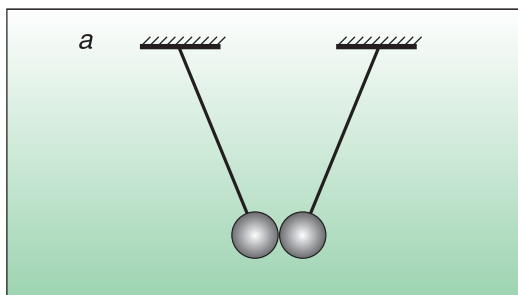


Рис. 98



§ 14.

Электризация через влияние

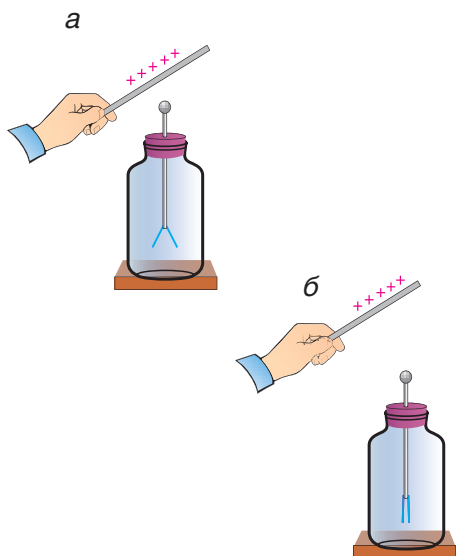


Рис. 99

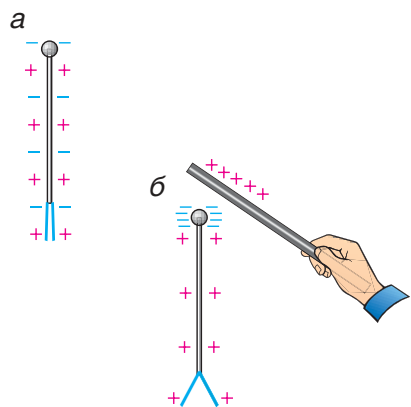


Рис. 100

Мы уже знаем, что заряженное тело притягивает к себе другое заряженное тело, если их заряды разноименны. Но почему к заряженному телу притягиваются незаряженные тела (пух, кусочки бумаги, струя воды, подвешенная гильза) (см. рис. 78—80)?

Для ответа на поставленный вопрос проведем опыт. Поднесем к шарiku незаряженного электроскопа (электрометра), не касаясь его, наэлектризованную палочку. Электроскоп фиксирует появление на листочках заряда (рис. 99, *а*). Уберем палочку — листочки спадают (рис. 99, *б*). Значит, заряд от палочки на листочки электроскопа через воздух не перешел, а появился под влиянием заряда палочки.

Зная, что заряд может перемещаться в теле, мы можем объяснить произошедшее. В любом незаряженном теле всегда имеются равные количества зарядов противоположных знаков, равномерно распределенных по всему телу (рис. 100, *а*). Заряд на поднесенной к электроскопу палочке притягивает к себе разноименный и отталкивает одноименный заряд на стержне и листочках электроскопа (рис. 100, *б*), что и объясняет появление заряда на листочках.

Это можно подтвердить более наглядным опытом. Поднесем наэлектризованную палочку к одно-

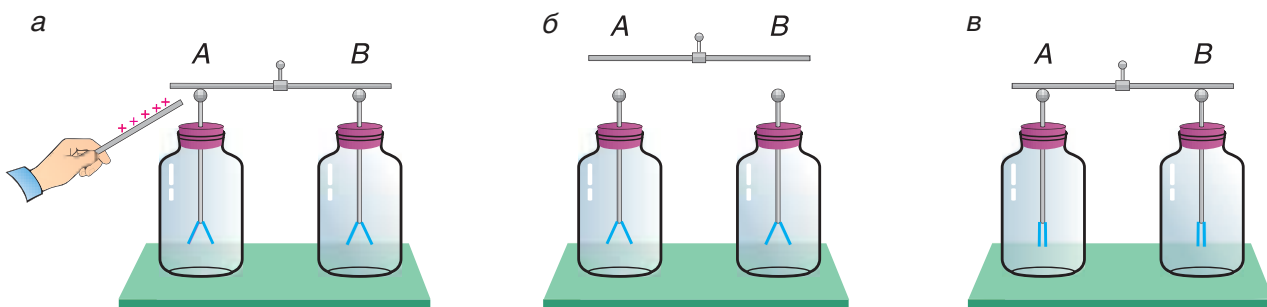


Рис. 101

му из двух незаряженных электроскопов, соединенных проводящей перемычкой. Оба прибора фиксируют появление заряда (рис. 101, а). Не отдавая палочку, уберем сначала перемычку, а затем палочку. Заряды остаются на обоих приборах (рис. 101, б). Эти заряды равны по модулю и противоположны по знаку. В этом можно убедиться, соединив приборы вновь перемычкой, — заряды нейтрализуют друг друга (рис. 101, в).

Перераспределение заряда в теле, вызываемое воздействием другого заряженного тела, называется электризацией через влияние.

Теперь ясно, почему к заряженному телу притягиваются незаряженные тела. В незаряженном теле (станиоловой гильзе) (рис. 102) под действием заряженного тела (палочки) происходит перераспределение зарядов, и на противоположных его сторонах возникают два равных разноименных заряда. Это создает и силу притяжения F_1 , и силу отталкивания F_2 . Так как заряд противоположного знака расположен ближе к палочке, то модуль силы притяжения F_1 больше модуля силы отталкивания F_2 . В итоге незаряженная гильза притягивается к заряженной палочке. Докажите самостоятельно, что такой же результат будет, если к гильзе поднести не стеклянную, а эбонитовую наэлектризованную палочку.

Электризация через влияние происходит чрезвычайно часто. Например, следствием электризации через влияние является молния (грозовой разряд). Нижняя часть облака, заряженная отрицательно (рис. 103), вызывает перераспределение заряда в почве, деревьях, домах и т. д. При большой величине заряда между облаком и поверхностью Земли происходит разряд (молния).

Электризация через влияние играет важную роль во многих технических устройствах, с которыми вы познакомитесь при последующем изучении физики. В кабинетах физики часто применяют изобретенную еще в XVIII в. электрофорную машину (рис. 104), в которой используется

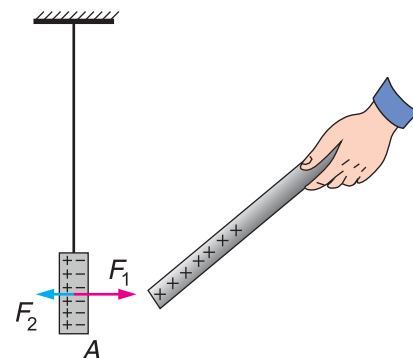


Рис. 102



Рис. 103



Рис. 104

как электризация трением, так и электризация через влияние, что позволяет создавать на шариках *A* и *B* прибора значительные разноименные электрические заряды.

■ Главные выводы

1. Наэлектризованное тело может вызвать в другом теле перераспределение зарядов (электризация через влияние).
2. При поднесении заряженного тела на ближней к нему стороне незаряженного тела возникает заряд противоположного знака.
3. Заряды, появляющиеся при электризации через влияние в частях тела, обязательно равны по модулю и противоположны по знаку.
4. Электризацией через влияние объясняется притяжение незаряженных тел к заряженным независимо от знака заряда.

? Контрольные вопросы

1. В чем суть электризации через влияние? Почему она возможна?
2. Как доказать, что при электризации через влияние заряды частей тела противоположны по знаку?
3. В чем различие электризации трением и электризации через влияние?
4. Как объясняется притяжение незаряженных тел к заряженным?

➔ Домашнее задание

Потрите пластмассовую линейку сухой бумагой. Поднесите линейку к волосам головы не касаясь их. Объясните результат опыта.

Упражнение 11

1. Чем объясняется перераспределение зарядов в теле при электризации через влияние?
2. Как можно с помощью стеклянной палочки наэлектризовать два проводящих тела: одно — положительным, другое — отрицательным зарядом?
3. Легкая незаряженная станиолевая гильза, подвешенная на изолирующей нити, притянулась к отрицательно заряженной палочке, коснулась ее и тут же оттолкнулась от нее. Почему? Как будет протекать опыт при поднесении к гильзе положительно заряженной палочки?

4. Если поднести руку к заряженной подвешенной гильзе, то гильза притянется к руке. Объясните происходящее.

5. Передадим значительный электрический заряд пластинке с наклеенными нитями или полосками тонкой бумаги. Как объяснить возникновение «ежа» (рис. 105, а)? Попробуйте пальцем дотронуться до такого «ежа». Почему «иголки ежа» начинают «ловить» ваш палец (рис. 105, б)?

6. Одну металлическую пластину зарядили отрицательным зарядом и поднесли ко второй такой же, но незаряженной пластине (рис. 106). Какие изменения произойдут со второй пластиной? Почему?

7. Отрицательно заряженная пластмассовая линейка притягивает подвешенную на нити бумажную гильзу. Значит ли это, что гильза заряжена положительно? Если гильза отталкивается, то обязательно ли, что она заряжена отрицательно?

8. Две легкие бумажные гильзы, из которых одна заряжена, а другая нет, подвешены на тонких шелковых нитях. Предложите способ определения, какая из гильз заряжена.



9. Могут ли два металлических шарика, заряженные зарядом одного знака, притягиваться друг к другу? Почему?

10. На рисунке 107 показан легкий незаряженный шарик из фольги, подвешенный на шелковой нити. Объясните, почему шарик после того, как начинают вращать ручку электрофорной машины, сначала притягивается к электроду машины, а затем, коснувшись его, отталкивается.



Рис. 105

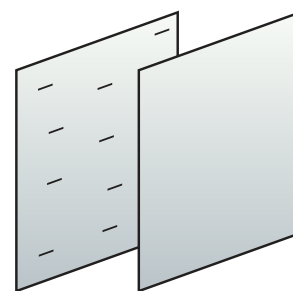


Рис. 106

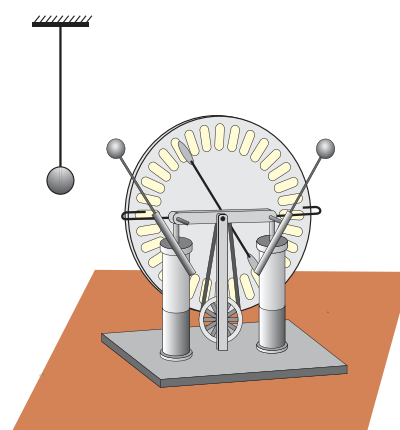


Рис. 107



§ 15.

Электрический заряд. Элементарный заряд

Рассматривая взаимодействие электрических зарядов, их перемещение в телах, мы не затрагивали очень важные вопросы. Например, что такое электрический заряд? Что происходит при электризации тел? Может ли электрический заряд иметь любое, даже сколь угодно малое, значение?

Впервые мысль о том, что существует предельная, неделимая более «порция» электрического заряда, была выдвинута выдающимся английским ученым М. Фарадеем (XIX в.), которому, кстати, принадлежит и сам термин **электрический заряд**. Другой английский ученый Дж. Дж. Томсон открыл, что в атомах всех веществ содержится частица, обладающая **отрицательным** зарядом. Эту частицу называли **электрон**. У ряда веществ (особенно у металлов) электроны могут достаточно легко покидать атом. Сложными опытами было доказано, что заряд любого электрона имеет всегда одно и то же значение и является наименьшим, неделимым более. Эта самая малая «порция электричества» была названа **элементарным зарядом**.

В составе атома была найдена и частица, обладающая элементарным **положительным** зарядом. Это — **протон**. Открытие электрона и протона позволило просто объяснить электризацию тел. В ненаэлектризованном (электронейтральном) теле суммарный отрицательный заряд всех электронов равен по модулю суммарному положительному заряду всех протонов. При контакте тел, например стекла и бумаги (рис. 108), значительное число электронов покидают стекло, переходя к бумаге. Бумага приобретает отрицательный заряд. Стекло при этом заряжается положительным зарядом. Это обусловлено тем, что суммарный заряд всех протонов стекла становится больше суммарного заряда оставшихся электронов.

Важно понять, что электрический заряд частиц (электрона, протона) не есть нечто, добавленное к ним. Электрический заряд —

это величина, характеризующая **неотъемлемое свойство электрона и протона к электрическому взаимодействию с любыми заряженными частицами**. Можно ли отнять у частицы (электрона, протона) заряд? Нет. При электризации трением от тела к телу переходит не свойство частиц, а **сами частицы** — в большинстве случаев это электроны.

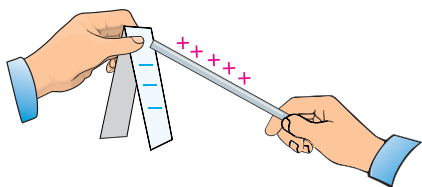


Рис. 108

Как и всякую физическую величину, электрический заряд, который называют еще количеством электричества, необходимо измерять, т. е. нужно ввести единицу заряда. Такая единица в СИ носит название **кулон** (сокращенно **Кл**) в честь французского ученого Ш. О. Кулона. Строгое определение этой единицы мы приведем несколько позже. Один кулон — очень большой заряд. Во всех описанных опытах заряд тела составлял в лучшем случае миллионные доли кулона. Элементарный заряд равен

$$e = 0,000\,000\,000\,000\,000\,000\,16\text{ Кл},$$

что удобно записывать в стандартном виде $e = 1,6 \cdot 10^{-19}\text{ Кл}$.

Для выражения значений электрических зарядов используют дольные единицы кулона:

$$1\text{ мКл (милликулон)} = 1 \cdot 10^{-3}\text{ Кл};$$

$$1\text{ мкКл (микрокулон)} = 1 \cdot 10^{-6}\text{ Кл};$$

$$1\text{ нКл (нанокулон)} = 1 \cdot 10^{-9}\text{ Кл};$$

$$1\text{ пКл (пикокулон)} = 1 \cdot 10^{-12}\text{ Кл}.$$

Обратите внимание, что любой, даже самый малый, заряд тела содержит целое число элементарных зарядов. Заряд тела обозначается буквой q . Тогда

$$q = eN,$$

где N — целое число ($N = 1, 2, 3, \dots$).

Для любознательных

Опыты, позволившие найти «наименьшую порцию электричества», т. е. элементарный заряд, были проведены в 1910—1913 гг. Р. Э. Милликеном в США и А. Ф. Иоффе в России. В этих опытах заряженная очень малая капелька масла (в опытах Р. Э. Милликена) или пылинка цинка (в опытах А. Ф. Иоффе) «зависала» между заряженными пластинами (рис. 109). Электрическая сила $F_{\text{эл}}$, компенсирующая силу тяжести $F_{\text{т}}$, зависела от заряда капельки (пылинки), что позволило ученым судить о значении этого заряда. В обоих опытах были получены одинаковые результаты. Заряд капельки масла (пылинки) не мог принимать любое значение. Это значение всегда было кратно одному и тому же числу — $1,6 \cdot 10^{-19}\text{ Кл}$.

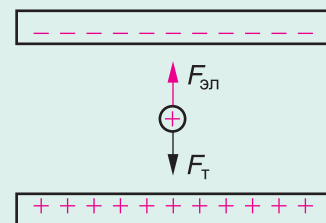


Рис. 109

■ Главные выводы

1. Электрический заряд частиц, входящих в атом (электронов, протонов), неотделим от самих частиц.
2. Электрический заряд любого заряженного тела дискретен, т. е. кратен наименьшему элементарному заряду ($q = eN$).
3. Электризация тел объясняется перемещением электронов от тела к телу (электризация трением) либо от одной части тела к другой (электризация через влияние).
4. Единицей заряда в СИ является 1 Кл.

? Контрольные вопросы

1. Как понимать выражение: «Электрический заряд любого тела дискретен»?
2. Что означает понятие «элементарный заряд»?
3. Какая частица атома обладает элементарным положительным зарядом? Отрицательным зарядом?
4. Как объяснить появление отрицательного заряда на эбонитовой палочке при ее трении о шерсть?

Упражнение 12

1. Выразите в кулонах заряд металлической гильзы: а) $q = 0,12$ мКл; б) $q = 84$ пКл; в) $q = -56$ нКл; г) $q = -968$ мкКл.

2. При расчесывании волос пластмассовая предварительно незаряженная расческа получила заряд $q = 6,4 \cdot 10^{-11}$ Кл. Каких частиц (протонов или электронов) после трения в расческе оказалось больше? Какой заряд получили при электризации волосы? Сколько элементарных зарядов содержит заряд расчески?

3. В результате трения о шерстяную ткань эбонитовая палочка приобрела отрицательный заряд $q = -736$ нКл. Избыток или недостаток электронов образовался у палочки? Какой заряд приобрела шерстяная ткань? До трения и палочка, и ткань были электронейтральными. Сколько элементарных зарядов содержит заряд эбонитовой палочки?

4. При электризации масса металлического шарика уменьшилась на $\Delta m = 2,73 \cdot 10^{-27}$ кг. Какой заряд приобрел шарик? Масса одного электрона $m_e = 9,1 \cdot 10^{-31}$ кг.



§ 16.

Строение атома. Ионы

В начале XX в. было достоверно известно, что в состав атомов всех веществ входят отрицательно заряженные частицы — электроны. Было известно, что электроны не связаны жестко в атоме и могут даже покидать атом. Так как атом нейтрален, то в нем, безусловно, должен быть и положительный заряд. Но где находится положительный заряд в атоме?

Фундаментальный, сыгравший принципиальную роль в науке опыт по изучению строения атома был проведен в 1911 г. английским ученым Э. Резерфордом (см. форзац 1).

Суть опыта можно понять из такого сравнения. Пусть нужно проверить, не дотрагиваясь до предмета, однороден он или нет. Например, не спрятан ли в стоге сена металлический предмет. Это можно сделать, находясь вдали от стога, используя мелкокалиберную винтовку и большой фанерный щит (рис. 110). Будем стрелять в стог по различным направлениям и по пробоинам в щите судить о траекториях всех пуль. При однородности стога не будет ни одного рикошета (отражения). Они появятся при наличии в стоге металлического предмета, причем число рикошетов будет зависеть от его размеров (например, килограммовой гири или гимнастической 32-килограммовой).

В опытах Резерфорда (рис. 111) тончайшая пленка из золота П обстреливалась положительно заряженными частицами, затем оценивались траектории их движения после прохождения пленки. Опыты Резерфорда (более подробно о них пойдет речь в 11-м классе) убедительно показали, что атом **неоднороден**. Иначе, как объяснить, что некоторые положительно заряженные частицы изменяли направление движения, хотя число таких частиц было чрезвычайно малым. Опыт позволил утверждать, что более 99,96 % массы атома и весь



Рис. 110

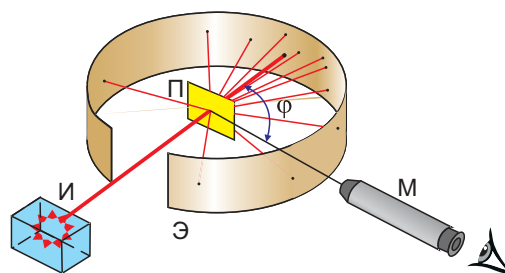


Рис. 111

положительный заряд сосредоточены в чрезвычайно малой области в центре атома, которую назвали **ядром атома**. Резерфорд оценил размер ядра атома. Его диаметр примерно в 10^4 — 10^5 раз меньше диаметра самого атома. Соотношение этих размеров примерно такое же, как соотношение размеров рисового зернышка и футбольного поля.

Позже (в 1919 г.) экспериментально были обнаружены носители положительного заряда ядра — *протоны* (от греч. *protos* — первичный, основной). Протоны являются основой (базой) ядер всех атомов. Кроме протонов, в ядре находятся незаряженные частицы — *нейтроны* (рис. 112).

Вокруг ядра, удерживаемые электрическим притяжением к нему, на очень большом расстоянии по сравнению с размерами ядра непрерывно движутся отрицательно заряженные *электроны*. Однако приписать какую-то конкретную орбиту электрону в атоме невозможно. Он как бы размыт в определенном объеме пространства, поэтому мы можем говорить лишь об **электронных оболочках** атома (см. рис. 112).

В непроводящих средах (диэлектриках) электроны достаточно сильно «связаны» с ядром и редко покидают атом. В проводниках (металлах) один или несколько электронов покидают атом и свободно перемещаются внутри проводника. Число протонов в ядре атома равно числу электронов на оболочках (см. рис. 112), что и обеспечивает электронейтральность атома.

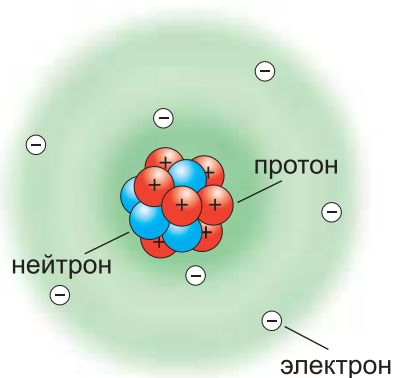


Рис. 112

При уходе из атома одного или нескольких электронов атом становится **положительно заряженной частицей — ионом** (рис. 113). Возможен и обратный процесс, при котором атомы некоторых веществ присоединяют «лишние» электроны и превращаются в **отрицательные ионы**. Например, обычная поваренная соль состоит не из нейтральных атомов натрия и хлора, а из положительных ионов натрия и отрицательных ионов хлора, образующих определенную структуру (рис. 114). При растворении в воде пова-

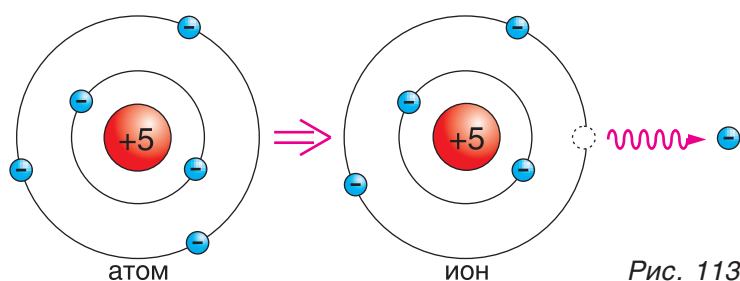


Рис. 113

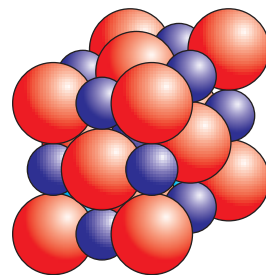


Рис. 114

ренной соли эти ионы отделяются друг от друга, что делает жидкость хорошим проводником. Небольшое число ионов обоих знаков всегда есть и в газах — вспомните опыт с медленной потерей заряда электроскопом!

▼ Для любознательных

Американский ученый Б. Франклин предполагал, что электричество представляет собой жидкую субстанцию, находящуюся во всех веществах. Франклин был бухгалтером. Пользуясь бухгалтерской терминологией, он использовал знак «+» для обозначения избытка электрической жидкости в телах. Такие тела он назвал положительно заряженными. Знак «-» использовался Франклином для обозначения недостатка электрической жидкости по сравнению с ее нормальным количеством в веществе. Вещества, которые имели недостаток этой жидкости, он назвал отрицательно заряженными. Вещества же, в которых не было ни недостатка, ни избытка электрической жидкости, были названы им нейтральными.

Затем Франклин высказал утверждение, что если привести в соприкосновение тело с избытком и тело с недостатком электрической жидкости, то жидкость будет перетекать от тела с избытком к телу с ее недостатком. Иными словами, он предположил, что электрическая жидкость должна течь от положительно заряженного к отрицательно заряженному веществу, т. е. от «+» к «-». Видите ли вы, в чем слабость теории Франклина?

■ Главные выводы

1. Положительный заряд атома сосредоточен в очень малой части атома — ядре — и определяется числом протонов в нем.
2. Отрицательным зарядом в атоме обладают электроны. Их число равно числу протонов в ядре.
3. Электроны могут покидать атомы, создавая проводимость вещества.
4. При потере нейтральным атомом (или при приобретении им) электронов образуется положительный (или отрицательный) ион.



Контрольные вопросы

1. В чем суть опытов Резерфорда?
2. Какая модель строения атома предложена, исходя из опытов Резерфорда?
3. Каково примерное соотношение между размерами атома и его ядра?
4. Как объяснить, исходя из строения атома, деление веществ на проводники и диэлектрики?
5. Что называют положительным ионом? Отрицательным ионом?



§ 17.

Электрическое поле. Электрическое напряжение

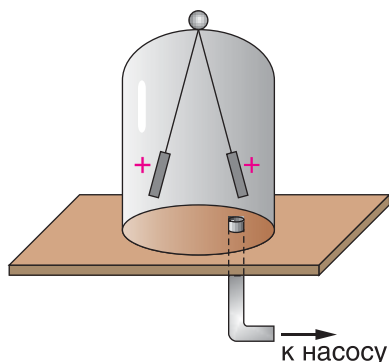


Рис. 115

Каким образом два заряженных тела действуют друг на друга? Будут ли взаимодействовать заряженные тела в пустоте (при отсутствии среды)? Все опыты показывают, что заряженные тела могут взаимодействовать даже в пустоте (рис. 115). Почему это возможно?

С передачей действия без среды мы уже знакомы — это всемирное тяготение. Именно благодаря полю тяготения, о котором говорилось в учебном пособии «Физика, 7», Солнце удерживает на орбите нашу Землю, удаленную от него на 150 млн км. Поле тяготения Земли заставляет падать тела на ее поверхность, удерживает на орбитах Луну и искусственные спутники Земли.

Аналогично этому вокруг тел, обладающих электрическим зарядом, также существует особое состояние пространства — **электрическое поле**.

Это поле не действует на известные вам приборы: динамометр, термометр, барометр — и на наши органы чувств: зрение, осязание, обоняние, слух. Может возникнуть сомнение: а существует ли электрическое поле вообще? Да, оно существует реально и независимо от того, что мы о нем знаем. Реальность существования электрического поля подтверждается его **конкретным действием**: оно **действует на внесенный заряд** с определенной силой F (рис. 116).

В науке все то, что реально существует в окружающем мире независимо от нашего сознания, называется *материей*. Значит, *электрическое поле* — это особая форма материи.

Именно электрическое поле, создаваемое заряженной тучей (рис. 117), вызывает появление разноименного заряда (электризация через влияние) на поверхности Земли (под тучей).

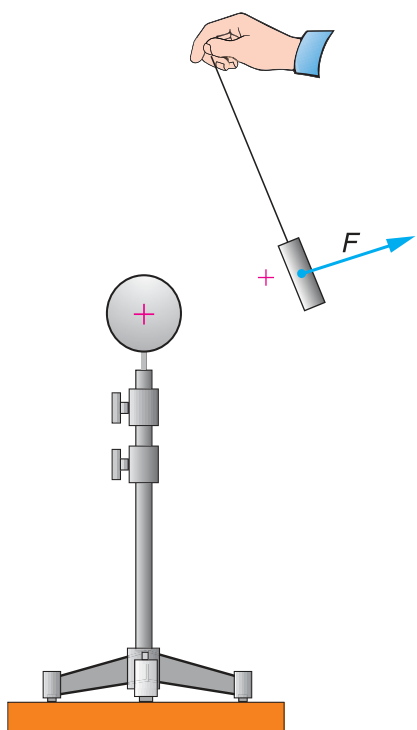


Рис. 116

Для любознательных

Человек научился защищаться от вредных действий электрического поля и использовать его в своих целях. Установив над зданиями и сооружениями заостренную проволоку, другой конец которой соединен с землей (молниеотвод) (см. рис. 117), мы создаем условия для медленного перетекания заряда тучи на землю и таким образом можем постепенно «разрядить» ее.

Электрическое поле заставляет наэлектризованные частички черной краски попадать в нужные участки бумаги, на чем основано ксерокопирование (рис. 118).



Рис. 117



Рис. 118

Сравним поле тяготения планеты (Земли) (рис. 119, а) и электрическое поле, создаваемое, например, шаром с отрицательным зарядом $-q_1$ (рис. 119, б).

Оба поля проявляют себя в конкретных действиях. Поле тяготения Земли заставляет падать любое тело массой m , выпущенное, например, в точке А (см. рис. 119, а). Электрическое поле приводит в движение заряженную частицу (протон, положительный ион) или тело, обладающее зарядом $+q$, помещенные в точку А (см. рис. 119, б).

В обоих случаях силы поля будут совершать положительную работу по разгону тела (частицы). В обоих случаях значение совершенной работы будет зависеть от положения начальной и конечной точек: А и В или А и С.

Для расчета работы в электрическом поле вводят особую величину — **электрическое напряжение**, или просто **напряжение**. Чем большую работу совершают силы электрического поля при переносе заряда между двумя точками поля, тем больше напряжение

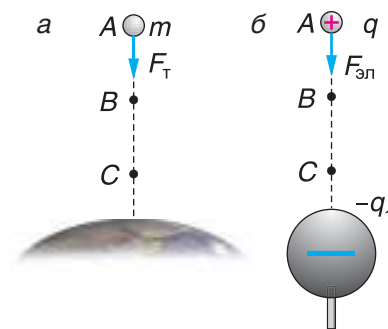


Рис. 119

между этими точками. Так, напряжение между точками A и B меньше напряжения между точками A и C (см. рис. 119, б).

Если электрическое напряжение обозначить латинской буквой U , то сказанное можно выразить математически так:

$$U_{AC} > U_{AB} \quad \text{и} \quad U_{AC} = U_{AB} + U_{BC}.$$

О физическом смысле напряжения вы узнаете в следующем параграфе.

■ Главные выводы

1. Электрическое поле — особое состояние пространства, создаваемое заряженным телом (частицей, обладающей электрическим зарядом).
2. Материальность электрического поля подтверждается его действием на внесенный в поле заряд.
3. Перемещая заряженную частицу, силы электрического поля совершают определенную работу.
4. Электрическое напряжение между двумя выбранными точками поля определяет значение работы, выполненной силами поля.

? Контрольные вопросы

1. Что является источником электрического поля?
2. Чем подтверждается реальность существования электрического поля?
3. В чем сходство электрического поля и поля тяготения?
4. Что характеризует электрическое напряжение между данными точками поля?
5. Как понимать выражение $U_{AC} > U_{AB}$? Почему $U_{AC} = U_{AB} + U_{BC}$?
6. Как изменится электрическое напряжение U_{AB} и U_{AC} (см. рис. 119, б), если заряд $-q_1$ увеличится? Уменьшится?

➔ Домашнее задание

Зарядите изготовленный вами ранее электроскоп положительным зарядом. Медленно подносите к нему отрицательно заряженное тело. Наблюдайте сначала за уменьшением угла расхождения лепестков до нуля, а затем, при дальнейшем приближении отрицательно заряженного тела к электроскопу, — за увеличением угла расхождения лепестков. Объясните наблюдаемое явление.



§ 18.

Единица электрического напряжения. Расчет работы в электрическом поле

Каждый из вас, конечно, видел строгое предупреждение: «Внимание! Высокое напряжение! Опасно для жизни!». Возникают вопросы. Во-первых, почему используют слово «высокое»? А во-вторых (что самое главное), почему высокое напряжение опасно для жизни?

Для ответа на эти вопросы познакомимся с единицей электрического напряжения в СИ. Она называется **вольт (В)** в честь итальянского ученого А. Вольты (см. форзац 1), впервые создавшего химический источник электрического тока, называемый в быту элементом питания или батарейкой.

1 вольт (1 В) — это напряжение между двумя точками электрического поля, при переносе между которыми заряда 1 Кл совершается работа 1 Дж.

Теперь вы можете объяснить смысл надписи «4,5 В» или «9 В» на круглой или плоской батарейке (рис. 120). Смысл в том, что при переносе с одного полюса источника на другой (через спираль лампочки или другой проводник) заряда 1 Кл силами электрического поля может быть совершена работа соответственно 4,5 Дж или 9 Дж.

Таким образом, напряжение — **характеристика работоспособности** электрического поля на рассматриваемом участке. С точки же зрения математики можно говорить о **прямой пропорциональной зависимости** произведенной работы от напряжения. А если в рассмотренных случаях будет перемещаться не единичный заряд в 1 Кл, а заряд в 2, 3, 5 раз больше? Во столько же раз будет больше и произведенная работа. Значит, работа сил электрического поля может быть найдена как произведение значений перенесенного между точками заряда и напряжения:

$$A = qU.$$

Вернемся к аналогии поля тяготения и электрического поля и рисунку 119. Напряжение в определенной мере можно сравнить с изменением высоты, с которой падает (на которую поднимается) тело. Чем выше поднято тело, тем большую работу при его падении совершит сила тяжести. Неудивительно поэтому, что часто вместо того, чтобы говорить «маленькое напряжение»,



Рис. 120

говорят «низкое напряжение», вместо «большое напряжение» — «высокое напряжение». Например: «высоковольтная линия», «низковольтный источник тока», «высокое напряжение опасно для жизни».

Обратите внимание, когда говорят «большое (высокое) напряжение», то это не означает, что уже совершена большая работа. Это указание на то, что она *может быть совершена*. Сравните: при падении тела с большой высоты может быть совершена в зависимости от массы падающего тела (камень, песчинка) как большая, так и малая работа. Точно так же при движении зарядов в электрическом поле совершенная работа зависит не только от значения напряжения, но и от значения перенесенного заряда.



Для любознательных

В быту электрические поля с напряжением в несколько тысяч вольт нередко возникают между телом человека и его сухой одеждой, между рукой человека, гладящего кошку, и ее шерстью. Иногда электризация сопровождается возникновением искр и потрескиванием. Это — переход зарядов между телами через воздух, который в очень сильных полях становится проводником. Подумайте, почему в этих случаях не возникает серьезных поражений.



Главные выводы

1. Электрическое напряжение между двумя точками электрического поля численно равно работе, совершенной при переносе между ними заряда 1 Кл силами электрического поля.
2. Работа при переносе заряда из одной точки электрического поля в другую прямо пропорциональна значениям напряжения между точками поля и переносимого заряда.
3. Единица электрического напряжения в СИ — 1 В — напряжение между двумя точками поля, при переносе между которыми заряда 1 Кл совершается работа 1 Дж.



Контрольные вопросы

1. Что характеризует напряжение между данными точками электрического поля?
2. Что означает выражение: «Напряжение на лампе равно 12 В»?
3. Может ли совершаться: а) маленькая работа при большом напряжении; б) большая работа при маленьком напряжении?
4. Почему большое напряжение чаще называют высоким?



Пример решения задачи

В ускорителе разгоняют электроны, используя напряжение $U = 20$ кВ. Какая работа совершается при разгоне одного квадриллиона ($N = 1,0 \cdot 10^{15}$) электронов?

Дано:

$$U = 20 \text{ кВ} = 2,0 \cdot 10^4 \text{ В}$$

$$N = 1,0 \cdot 10^{15}$$

A — ?

Решение

Полный заряд $|q|$ всех электронов найдем через элементарный заряд: $|q| = eN$. Совершенная работа:

$$\begin{aligned} A &= |q|U = eNU = \\ &= 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл} \cdot 1,0 \cdot 10^{15} \cdot 2,0 \cdot 10^4 \text{ В} = \\ &= 3,2 \text{ Дж.} \end{aligned}$$

Ответ: $A = 3,2$ Дж.

Упражнение 13

1. Почему при указании значения элементарного заряда $e = 1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл не указывают его знак («+» или «-»)?

2. Одинакова ли масса нейтрального атома вещества и иона этого же вещества?

3. Изменяется ли масса линейки при: а) электризации ее трением; б) электризации через влияние?

4. Что подтверждает существование электрического поля вокруг заряженных тел A и B (рис. 121)?

5. Какую работу совершают электрические силы, перемещая заряд $q = 2$ нКл между точками, напряжение между которыми $U = 4$ В?

6. В электронных часах за сутки перемещается заряд $q = 17$ мКл. Каково значение напряжения, если работа электрических сил $A = 0,26$ Дж?

7. В электроприборе при напряжении $U = 220$ В за одну минуту перемещается заряд $q = 0,16$ кКл. Каково значение мощности электроприбора?



8. С помощью какого напряжения можно разогнать неподвижный электрон до первой космической скорости $v = 7,9 \frac{\text{км}}{\text{с}}$? Масса электрона $m_e = 9,1 \cdot 10^{-31}$ кг.

9. Изменится ли напряжение между двумя точками электрического поля и совершенная по перемещению заряда работа, если заряд увеличить в 4 раза?

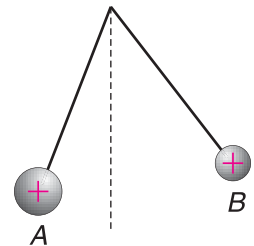


Рис. 121



§ 19.

Электрический ток. Источники тока

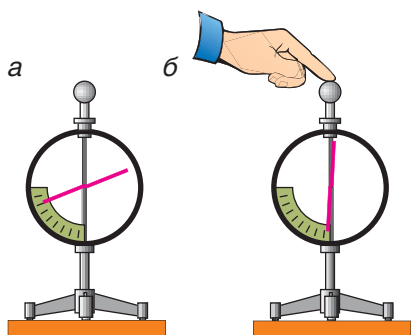


Рис. 122

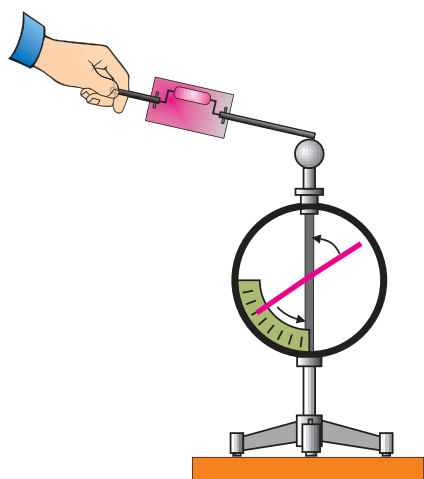


Рис. 123

Электрическое поле, действуя на хаотически движущиеся в среде заряженные частицы, может создавать их **направленное движение** — электрический ток. Выясним, что нужно для того, чтобы возник и длительное время протекал ток.

Во-первых, в среде должны быть свободные заряженные частицы: электроны, ионы, т. е. среда должна быть проводящей. Во-вторых, в этой среде должно быть электрическое поле, заставляющее двигаться частицы в одном направлении. Говоря иначе, нужно создать определенное электрическое напряжение.

Проведем опыт. Наэлектризуем шар, укрепленный на электрометре (рис. 122, а). Коснемся шара пальцем (рис. 122, б). Заряд уходит с шара через наше тело в землю. Через нас протекает ток, хотя мы этого не чувствуем.

А теперь коснемся заряженного шара металлическим проводником со специальной неоновой лампочкой (рис. 123). Свечение лампочки может происходить при прохождении через нее даже очень малого электрического заряда. В темноте хорошо видна кратковременная вспышка лампочки, значит, через лампочку прошел кратковременный ток.

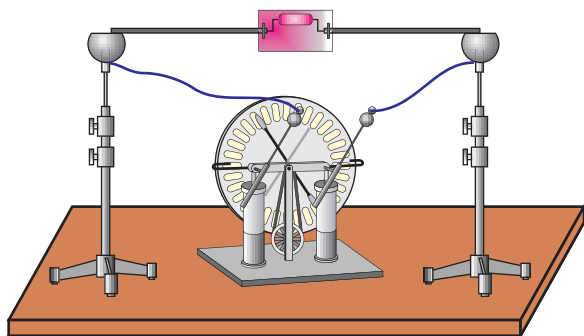


Рис. 124



Рис. 125

Чтобы электрический ток не прекращался, нужно поддерживать напряжение, для чего служат источники тока, или генераторы. Самым «древним» источником тока можно считать электрофорную машину (рис. 124), в которой благодаря разделению зарядов создается необходимое напряжение. Неоновая лампочка будет гореть до тех пор, пока вращаются диски.

Аналогичное разделение положительных и отрицательных зарядов происходит в любом другом источнике: гальваническом элементе (батарейке) (см. рис. 120), механическом генераторе с постоянным магнитом (рис. 125), солнечной батарее калькулятора (рис. 126).

Источники тока могут иметь различные принципы работы, размеры и внешний вид. Сравните один из самых первых созданных источников тока — термопару (рис. 127) и генератор электростанции (рис. 128). Первый состоит всего из двух проволочек из разных металлов, нагреваемых любым нагревателем, второй — сложнейшее многотонное устройство. Но во всех без исключения источниках напряжение, а значит, и **электрическая энергия** не возникают из ничего. Электрическая энергия создается за счет какого-либо другого вида энергии. В термопаре — за счет внутренней энергии, в генераторе электростанции — за счет энергии струи пара или воды.

Отметим особо еще один очень важный источник тока — аккумулятор (рис. 129). В нем, как



Рис. 126

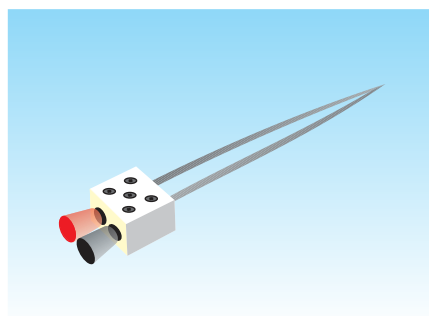


Рис. 127



Рис. 128



Рис. 129



Рис. 130



Рис. 131

и в обычной батарееке, используется энергия протекающих химических реакций. Но в отличие от большинства батареек, которые через некоторое время приходят в негодность, аккумуляторы можно многократно заряжать, возвращая им их первоначальные свойства. Аккумуляторы незаменимы в автомобиле, мобильном телефоне, ноутбуке (рис. 130). Без них немыслима работа космических станций. В нашей республике уже производятся электромобили, электробусы (рис. 131), в которых аккумулятор служит не только для запуска двигателя, но и для езды на значительные расстояния.

■ Главные выводы

1. Электрический ток — направленное движение заряженных частиц.
2. Для создания и поддержания тока в цепи необходимы источники тока.
3. В любом источнике тока происходит превращение какого-либо вида энергии в электрическую энергию.

? Контрольные вопросы

1. Что называют электрическим током?
2. Каковы условия возникновения и длительного существования тока?
3. Возможен ли электрический ток без источника? Поясните примерами.
4. Что такое источник тока?
5. Какие превращения энергии происходят во всех источниках тока, рассмотренных в параграфе?
6. Что общего и различного у обычной батарейки и аккумулятора?
7. В автомобиле есть два источника тока: аккумулятор и генератор, дающий напряжение только при работающем двигателе. Каково назначение обоих источников?



§ 20.

Сила и направление электрического тока

Сравним течение воды (водяной ток) в узком ручейке и в глубокой судоходной реке (рис. 132). Причина течения воды одинакова — разность высот уровней воды в устье и истоке. А вот количество воды, протекающей через поперечные сечения ручья и реки за одинаковый промежуток времени, разное. Аналогично этому значения заряда, прошедшего за единицу времени через поперечное сечение спиралей ламп, например, фонарика и прожектора сильно различаются. Поэтому говорят о различной силе тока в проводниках.



Рис. 132

За силу электрического тока принимают физическую величину, численно равную заряду, прошедшему через поперечное сечение проводника за единицу времени.

Обозначается сила тока буквой I .

Из определения следует, что, зная заряд q , прошедший за промежуток времени t , мы можем найти силу тока I по формуле

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



Рис. 133

Единица силы тока в СИ **1 ампер (А)**. Она не выводится через формулы, а выбрана *по договоренности*. Заметим, что 1 А — это значительная сила тока. В энергосберегающих лампочках, которые освещают наши квартиры, сила тока равна 0,04—0,08 А. Однако при запуске двигателя автомобиля специальный электромотор (стартер) (рис. 133) потребляет ток силой 200—300 А. Наоборот, в таких устройствах, как калькулятор или электронные часы, сила тока почти в миллиард раз меньше 1 А, поэтому силу тока часто выражают в миллиамперах (мА), микроамперах (мкА):

$$1 \text{ мА} = 0,001 \text{ А} = 1 \cdot 10^{-3} \text{ А}; \quad 1 \text{ мкА} = 0,000001 \text{ А} = 1 \cdot 10^{-6} \text{ А}.$$

Зная единицу силы тока, мы можем дать строгое определение единице электрического заряда. Подставив единицы силы тока и времени в формулу $q = It$, получим $1 \text{ Кл} = 1 \text{ А} \cdot 1 \text{ с}$.

Один кулон — это заряд, прошедший через поперечное сечение проводника с током силой 1 А за 1 с.

Каково направление электрического тока? В металлах ток — это движение электронов, но в газах и растворах — это движение положительных и отрицательных ионов в **противоположных направлениях** (рис. 134, а, б). Договорились считать, что ток в проводнике направлен так, как движутся в нем (или двигались бы) **положительно** заряженные частицы. Значит, ток в цепи течет от положительного полюса «+» источника к отрицательному «-» (рис. 135).

После открытия электрона, который в большинстве случаев является носителем тока, стало понятно, что выбор был сделан неудачно, но старую договоренность менять не стали.

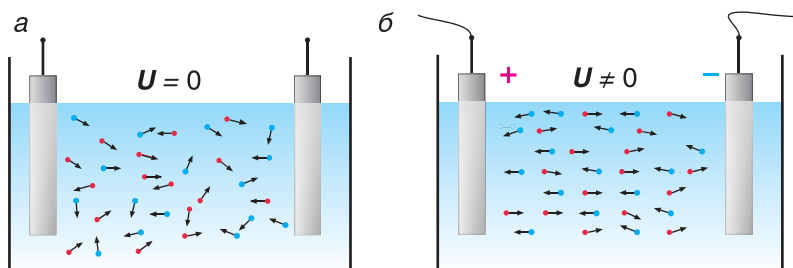


Рис. 134

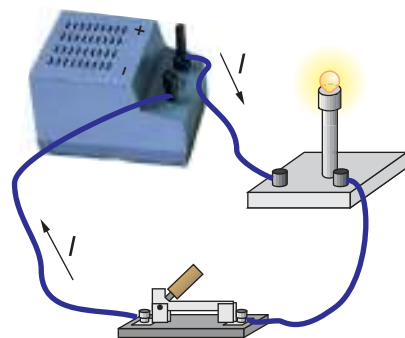


Рис. 135

■ Главные выводы

1. Сила электрического тока — физическая величина, численно равная заряду, прошедшему через поперечное сечение проводника за единицу времени.
2. Основной единицей силы электрического тока в СИ является 1 А.
3. Единица электрического заряда 1 Кл — это заряд, прошедший через поперечное сечение проводника с током силой 1 А за 1 с.
4. За направление электрического тока выбрано направление движения положительно заряженных частиц.

? Контрольные вопросы

1. Что характеризует сила электрического тока?
2. Что принято в СИ за единицу силы тока?
3. В каких единицах в СИ измеряется электрический заряд?
4. Что принято за направление электрического тока?
5. Совпадает ли направление электрического тока с направлением движения заряженных частиц?



§ 21.

Электрическая цепь. Измерение силы тока и напряжения

Слово «цепь» обозначает нечто не сплошное, а состоящее из отдельных звеньев. Из каких звеньев состоит электрическая цепь?

Электрическая цепь содержит, во-первых, **источник тока**, создающий необходимое напряжение, во-вторых, **нагрузку (потребитель)**, т. е. то устройство, в котором нужно создать ток. Нагрузкой может быть нагреватель или лампа, электродвигатель или звонок, заряжаемый аккумулятор. Звеньями цепи также являются **соединительные провода** и **ключ**, служащий для замыкания и размыкания цепи, измерительные приборы.

На рисунке 136, а вы видите простейшую цепь — цепь электрического фонарика, а на рисунке 136, б — ее условное изображение (схему электрической цепи). Условные (схематические) изображения различных звеньев цепи приведены в таблице 5.

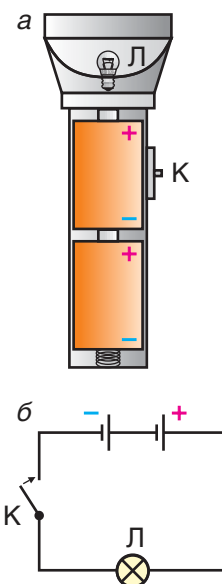


Рис. 136

Таблица 5. Условные обозначения звеньев электрической цепи

Элемент	Обозначение	Элемент	Обозначение
Источник постоянного тока		Резистор	
Соединение проводов		Реостат	
Клеммы подключения источника тока		Плавкий предохранитель	
Выключатель (ключ)		Миниатюрная лампа накаливания	
Лампа неоновая		Светодиод	
Амперметр		Вольтметр	
Электрический звонок		Электрический двигатель	



Рис. 137

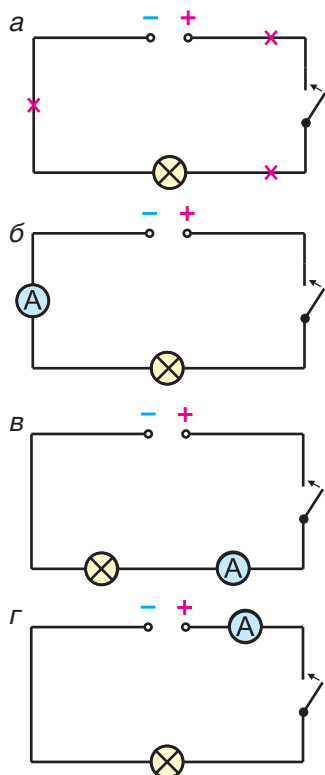


Рис. 138



Рис. 139

Силу тока в цепи измеряют с помощью специального прибора — **амперметра** (рис. 137). Для измерения силы тока в простейшей цепи мы должны обязательно разорвать цепь в любом месте (рис. 138, а) и в этот разрыв подключить прибор (рис. 138, б, в, г). Такое подключение называют **последовательным**.

Во всех случаях показания амперметра будут одинаковы — ведь через любое сечение цепи (включая источник) проходит один и тот же электрический заряд.

Для каждого амперметра существует верхний предел измерения (предельная сила тока). Так, для изображенного на рисунке 137 прибора он равен $I_{\max} = 1,5 \text{ А}$. Включение прибора в цепь с большей силой тока недопустимо. При включении прибора необходимо **соблюдать полярность**, т. е. клемму прибора, отмеченную знаком «+», нужно подключать только к проводу, идущему от клеммы со знаком «+» источника.

Электрическое напряжение определяет работу сил электрического поля по переносу заряда между двумя точками поля. Поэтому прибор, измеряющий напряжение — **вольтметр** (рис. 139), подключают не так, как амперметр при измерении силы тока. Его присоединяют, не разрывая цепь, к интересующему звену. Так, вольтметр, подключенный к точкам 1 и 2 (рис. 140), измеряет напряжение на резисторе, а к точкам 3 и 4 (см. рис. 140), — напряжение на электродвигателе. Такое подключение вольтметра называют

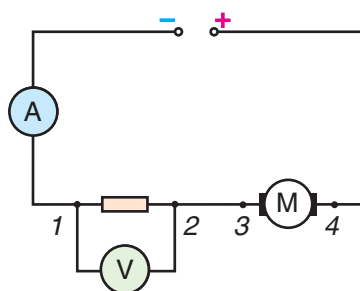


Рис. 140

параллельным. Как и в случае с амперметром, при подключении вольтметра соблюдается полярность.

При измерении электрической величины важно понимать, что добавление прибора в цепь может изменить ее, что весьма нежелательно. Например, сила тока в резисторе при подключении в цепь амперметра (см. рис. 138, б, в, г) будет не такой, какой она была ранее (см. рис. 138, а). Изменения происходят и при подключении вольтметра.

■ Главные выводы

1. Обязательными звеньями цепи являются источник тока, нагрузка, ключ и соединительные провода.
2. Всякая электрическая цепь может быть изображена в виде схемы.
3. Амперметр подключается в разрыв цепи (последовательно).
4. Вольтметр измеряет напряжение между двумя точками цепи и подключается к ним без разрыва цепи (параллельно).
5. При включении амперметра и вольтметра необходимо соблюдать полярность и учитывать верхний предел шкал приборов.

? Контрольные вопросы

1. Какие звенья должна иметь любая электрическая цепь?
2. Что называется схемой электрической цепи?
3. Для чего служит и как включается в цепь: а) амперметр; б) вольтметр?
4. Какие условия необходимо соблюдать при использовании измерительных приборов?
5. Какое напряжение будет измерять вольтметр, если его включить между точками 1 и 4 (см. рис. 140)?

Упражнение 14

1. Определите цену деления демонстрационных амперметра и вольтметра (см. рис. 137, 139).

2. Одинаков ли физический смысл утверждений:

- а) «В проводнике прошел большой заряд»;
- б) «В проводнике прошел ток большой силы»?

3. Какой электрический заряд пройдет за время $t = 2,0$ мин непрерывной работы сварочного аппарата при силе тока $I = 75$ А? Сколько электронов пройдет через сечение проводника за это время?

4. Какова сила тока в проводнике, через поперечное сечение которого проходит $N = 1,0 \cdot 10^{18}$ электронов за время $t = 1,0$ с?

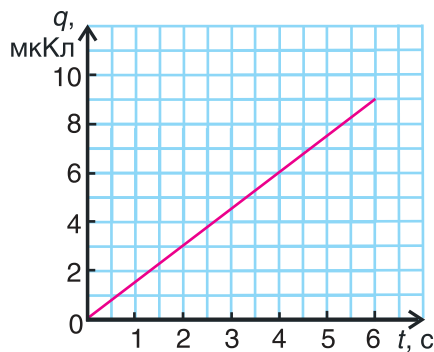


Рис. 141

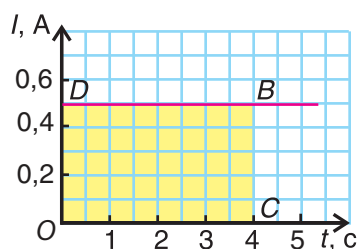


Рис. 142



Рис. 143

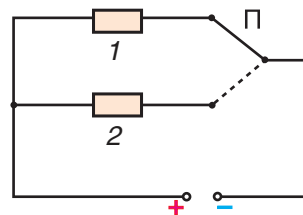


Рис. 144

5. По графику зависимости перенесенного заряда от времени (рис. 141) найдите силу тока в проводнике.

6. На рисунке 142 показан график зависимости силы тока от времени. Какую физическую величину можно вычислить, найдя площадь прямоугольника $ODBC$? Найдите заряд, прошедший через поперечное сечение проводника за время $t = 3,0$ с.

7. Имеются три прибора со значениями верхних пределов измерения силы тока $I_{\max} = 500$ мА, $I_{\max} = 2$ А, $I_{\max} = 50$ А. Какой из них вы выберете для измерения силы тока в светодиодной лампе, изображенной на рисунке 143? Почему?

8. Можно ли с помощью амперметра определить заряд, проходящий через резистор за определенное время? Как?

9. Определите показания амперметра (см. рис. 138, б), если за время $t = 1,0$ мин через сечение спирали лампы проходит заряд $q = 12$ Кл.

10. Можно ли утверждать, что до и после подключения амперметра (см. рис. 138, а, б) в цепи проходил ток одинаковой силы?

11. В цепи, представленной на рисунке 144, использован усложненный ключ-переключатель П. Объясните работу такой цепи. Дополните схему амперметрами, позволяющими измерить силу тока в каждом резисторе.



§ 22.

Связь силы тока и напряжения. Закон Ома для участка электрической цепи

От чего зависит сила тока, протекающего в проводнике? Почему сила тока в сварочном аппарате в десятки миллионов раз больше, чем в электронных часах?

Для ответа на эти вопросы проведем ряд несложных опытов. Подключим небольшой кусочек спирали к источнику тока, выходное напряжение между клеммами которого можно регулировать. С помощью последовательно включенного амперметра и параллельно спирали включенного вольтметра (рис. 145) будем измерять силу тока и напряжение на спирали. Установим напряжение на спирали $U_1 = 2$ В. Замкнем ключ и измерим силу тока. Она оказалась $I_1 = 0,4$ А (см. рис. 145). Увеличим напряжение на спирали в 2 раза (рис. 146), т. е. $U_2 = 4$ В, затем в 3 раза, т. е. $U_3 = 6$ В. Показания амперметра тоже увеличатся: $I_2 = 0,8$ А (см. рис. 146), $I_3 = 1,2$ А.

Опыт можно продолжать дальше. Но уже из этих данных следует, что сила тока в проводнике прямо пропорциональна напряжению на проводнике.

Подключим теперь к источнику тока другую спираль, например спираль осветительной лампы. Мы видим, что при напряжении $U = 2$ В сила тока в спирали лампы $I = 4$ мА (рис. 147), что в сто раз меньше, чем в предыдущей спирали. Значит, спираль

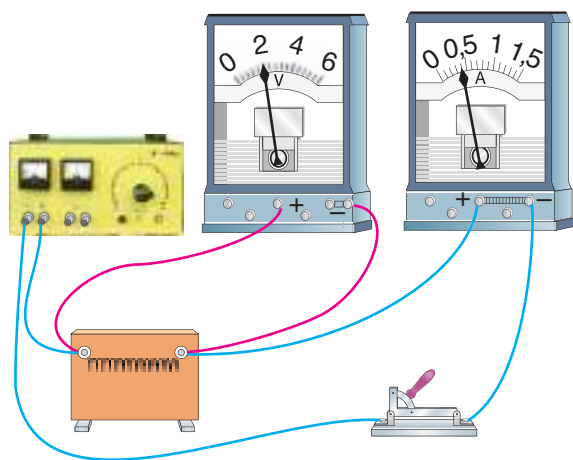


Рис. 145

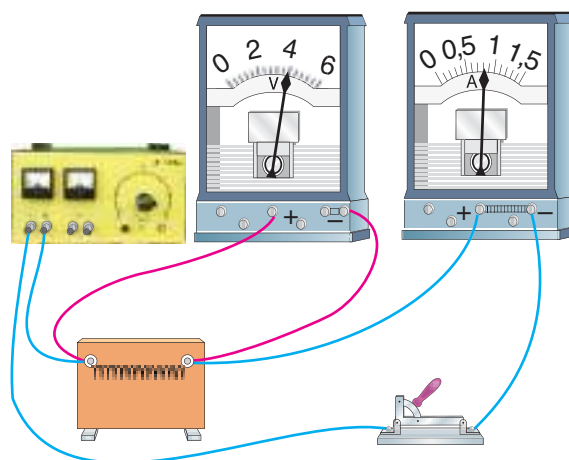


Рис. 146

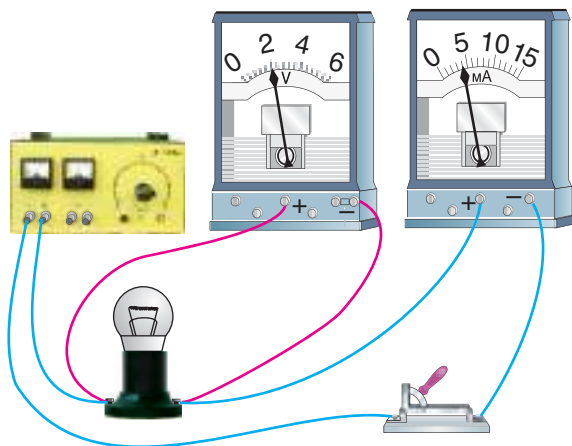


Рис. 147

лампы оказывает в 100 раз большее противодействие направленному движению заряженных частиц, или обладает в 100 раз большим сопротивлением (см. рис. 147).

Эту новую величину — **сопротивление** — мы будем приписывать всякому проводнику и обозначать буквой R (по первой букве латинского слова *resisto* — сопротивляюсь). Тогда можно утверждать: **чем больше сопротивление проводника, тем меньше сила тока в нем** (обратно пропорциональная зависимость).

Итак, из опытов следует: **сила тока в проводнике (участке цепи) прямо пропорциональна приложенному напряжению и обратно пропорциональна сопротивлению проводника (участка цепи).**

Данное утверждение называется законом Ома для участка цепи в честь немецкого ученого Г. С. Ома (см. форзац 1), установившего закон в 1826 г. Математически закон Ома можно записать так:

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

Закон Ома можно представить графически. На рисунке 148 представлен такой график для спирали, использованной в первом опыте. График подтверждает прямую пропорциональную зависимость силы тока в проводнике от приложенного к нему напряжения. График зависимости силы тока от напряжения называется *вольт-амперной характеристикой* проводника. Проводники, имеющие значительное сопротивление, принято называть *резисторами*.

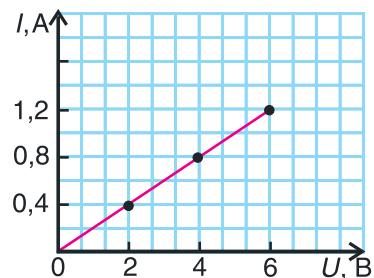


Рис. 148

В соединительных проводах противодействие движению электронов, как правило, незначительно, что позволяет **пренебречь сопротивлением соединительных проводов при решении большинства задач.**

Определенным сопротивлением обладают и измерительные приборы. При включении последовательно в цепь амперметра его сопротивление добавляется к полному сопротивлению цепи. Это вызывает нежелательное уменьшение силы тока. Чтобы этого не случилось,

сопротивление амперметра должно быть мало. Идеальным был бы амперметр без сопротивления ($R = 0$). Наоборот, добавление вольтметра параллельно некоторому прибору (резистору на рисунке 140) создает току еще один «обходной» путь, что также резко изменяет параметры цепи. Чтобы избежать этих нежелательных последствий, надо применять вольтметры с максимально большим сопротивлением.

И еще об очень важном. При слишком малом сопротивлении цепи сила тока в ней может принять недопустимо большое значение. При замыкании цепи, изображенной на рисунке 149, ток в ней пойдет, фактически не испытывая сопротивления. Это — **короткое замыкание** цепи. В таком режиме могут быть испорчены и прибор, и источник тока, а перегрев проводов может привести к пожару.

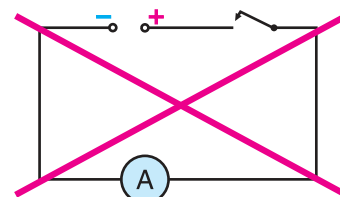


Рис. 149

■ Главные выводы

1. Сила тока в проводнике прямо пропорциональна приложенному напряжению и обратно пропорциональна сопротивлению проводника.
2. Чем меньше сопротивление амперметра и чем больше сопротивление вольтметра, тем меньшие изменения вызывают они при подключении в цепь.
3. Вольт-амперная характеристика проводника представляет собой график зависимости силы тока от напряжения.
4. Использование цепей без нагрузки приводит к недопустимо опасному росту силы тока (короткому замыканию).

? Контрольные вопросы

1. Связь между какими физическими величинами устанавливает закон Ома для участка цепи?
2. Как понимать выражение: «Сила тока в проводнике прямо пропорциональна приложенному напряжению»?
3. Как понимать выражения: «Проводник имеет пренебрежимо малое сопротивление», «Проводник имеет очень большое сопротивление»?
4. Может ли в проводнике протекать ток: а) очень большой силы при малом напряжении; б) малой силы при большом напряжении?
5. Что такое короткое замыкание цепи?
6. В чем опасность короткого замыкания цепи?



§ 23.

Единица сопротивления. Расчет сопротивления

Мы ввели новую характеристику — сопротивление. Но почему проводник «сопротивляется» направленному движению заряженных частиц? В каких единицах измеряется сопротивление проводника? Можно ли его считать?

Причиной того, что сила тока в проводнике не может иметь любое, сколь угодно большое, значение, является непрерывное столкновение носителей заряда (электронов, ионов) с частицами проводника, находящимися в узлах кристаллической решетки проводника. Это приводит к снижению скорости направленного движения носителей заряда, уменьшает переносимый заряд, а значит, уменьшает и силу тока. Именно эти столкновения и вызывают нагревание проводника. Так электрический ток проявляет тепловое действие.

Выразив сопротивление из закона Ома $R = \frac{U}{I}$, введем единицу сопротивления — 1 Ом (в честь Г. Ома):

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

1 Ом — это сопротивление проводника, в котором при напряжении 1 В проходит ток силой 1 А.

1 Ом — небольшое сопротивление. У ряда потребителей оно составляет сотни омов, поэтому сопротивление часто выражают в килоомах (кОм) и мегаомах (МОм):

$$1 \text{ кОм} = 1000 \text{ Ом} = 1 \cdot 10^3 \text{ Ом};$$

$$1 \text{ МОм} = 1\,000\,000 \text{ Ом} = 1 \cdot 10^6 \text{ Ом}.$$

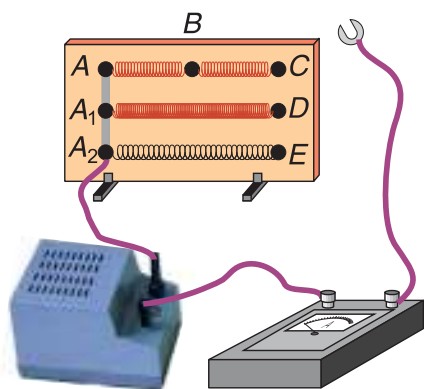


Рис. 150

Определить сопротивление проводника можно, измерив напряжение U на нем и силу тока I в нем, по формуле $R = \frac{U}{I}$. Но существует и специальный прибор для измерения сопротивления — **омметр**. С простейшим омметром вы сможете познакомиться в упражнении к этому параграфу.

Получим формулу для расчета сопротивления. Для этого используем цепь из источника тока, амперметра и панели с исследуемыми проводниками (рис. 150). На панели укреплены три проводника из нихрома и один из железа. Проводник AC

из нихрома имеет отвод от середины (клемма B , см. рис. 150), два других нихромовых проводника сложены вместе и включены между точками A_1 и D (см. рис. 150). Все четыре проводника имеют равные длину и площадь поперечного сечения. Включая в цепь сначала целый проводник AC (цепь замыкается в точке C), а затем половину этого проводника (контакт переносится в точку B), видим, что сила тока увеличивается вдвое. Значит, сопротивление уменьшается в 2 раза. Иначе говоря, **сопротивление проводника прямо пропорционально его длине.**

Подключим в цепь поочередно один проводник AC , а затем два сложенных вместе A_1D , которые можно рассматривать как один, но с удвоенным поперечным сечением. Сила тока в одном проводнике AC в 2 раза меньше, чем в сложенных проводниках A_1D . Следовательно, **сопротивление проводника обратно пропорционально площади его поперечного сечения.**

Сравним теперь силы тока в проводниках одинаковых размеров, но из различных веществ: из нихрома (AC) и из железа (A_2E). Оказывается, что сила тока в железном проводнике примерно в 10 раз больше, а сопротивление в 10 раз меньше, чем в нихромовом. Значит, **сопротивление проводника зависит еще и от рода вещества, из которого изготовлен проводник.**

Из результатов опытов следует формула для расчета сопротивления проводника:

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

Коэффициент ρ называют **удельным сопротивлением вещества**. Это характеристика не конкретного рассматриваемого проводника, а вещества, из которого он изготовлен. В СИ удельное сопротивление $\rho = \frac{RS}{l}$ измеряют в Ом $\cdot$ м. Так как на практике длину проводников измеряют обычно в метрах, а площадь поперечного сечения в квадратных миллиметрах, то удельное сопротивление удобно записывать в $\frac{\text{Ом} \cdot \text{мм}^2}{\text{м}}$. Значения удельного сопротивления для различных веществ представлены в таблице 6. Смысл приведенных в таблице удельных сопротивлений прост. Если для нихрома значение $\rho = 1,1 \frac{\text{Ом} \cdot \text{мм}^2}{\text{м}}$, то это означает, что нихромовый проводник длиной 1 м и поперечным сечением 1 мм² обладает сопротивлением 1,1 Ом.

Таблица 6. Удельное электрическое сопротивление некоторых веществ (при $t = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$)

Вещество	$\rho, \frac{\text{Ом} \cdot \text{мм}^2}{\text{м}}$	Вещество	$\rho, \frac{\text{Ом} \cdot \text{мм}^2}{\text{м}}$
Серебро	0,016	Манганин (сплав)	0,43
Медь	0,017	Константан (сплав)	0,50
Золото	0,024	Ртуть	0,96
Алюминий	0,028	Нихром (сплав)	1,1
Вольфрам	0,055	Фехраль (сплав)	1,3
Железо	0,10	Графит	13
Свинец	0,21	Фарфор	$1 \cdot 10^{19}$
Никелин (сплав)	0,40	Эбонит	$1 \cdot 10^{20}$

Обратите внимание на малые значения удельного сопротивления применяемых для электропроводки металлов: алюминия и меди.

▼ Для любознательных

Сенсацией начала XX в. было открытие сверхпроводимости. При очень сильном охлаждении (примерно до $-270\text{ }^{\circ}\text{C}$) сопротивление некоторых металлов снижалось до нуля. Сверхпроводящие металлы не нагреваются даже при большой силе тока в них. В настоящее время найдены вещества, сверхпроводимость которых достигается при значительно меньшем охлаждении. На объяснение сверхпроводимости ученым потребовалось несколько десятков лет!

■ Главные выводы

1. Электрическое сопротивление характеризует свойство проводника оказывать противодействие направленному движению заряженных частиц.
2. Причиной возникновения сопротивления являются непрерывные столкновения заряженных частиц с частицами вещества проводника.
3. Сопротивление проводника зависит от рода вещества и геометрических размеров проводника (длины, площади поперечного сечения).
4. Единицей сопротивления в СИ является 1 Ом.



Контрольные вопросы

1. Что ограничивает значение силы тока в проводнике?
2. Что принято в СИ за единицу сопротивления?
3. Как зависит сопротивление проводника от его геометрических размеров?
4. Что показывает удельное сопротивление вещества?
5. Как понимать выражение: «Удельное сопротивление свинца равно $\rho = 0,21 \frac{\text{Ом} \cdot \text{мм}^2}{\text{м}}$ »?
6. Как правильно читать формулу $R = \frac{U}{I}$: «Сопротивление проводника прямо пропорционально напряжению и обратно пропорционально силе тока» или «Сопротивление проводника равно отношению напряжения к силе тока»?



Примеры решения задач

1. Выразите в основных единицах СИ удельное сопротивление свинца $\rho = 0,21 \frac{\text{Ом} \cdot \text{мм}^2}{\text{м}}$.

Решение. Заданное значение $\rho = 0,21 \frac{\text{Ом} \cdot \text{мм}^2}{\text{м}}$ указывает, что свинцовый проводник длиной $l = 1,0$ м и площадью поперечного сечения $S = 1,0 \text{ мм}^2$ имеет сопротивление $R = \rho = 0,21 \text{ Ом}$. Выразим это значение в основных единицах СИ:

$$\begin{aligned} \rho &= 0,21 \frac{\text{Ом} \cdot \text{мм}^2}{\text{м}} = \\ &= 0,21 \frac{\text{Ом} \cdot 0,000001 \text{ м}^2}{\text{м}} = 2,1 \cdot 10^{-7} \text{ Ом} \cdot \text{м}. \end{aligned}$$

Значение $\rho = 2,1 \cdot 10^{-7} \text{ Ом} \cdot \text{м}$ означает, что проводник длиной $l = 1,0$ м и площадью поперечного сечения $S = 1,0 \text{ м}^2$ имеет сопротивление $R = \rho = 0,21 \text{ мОм}$.

Ответ закономерен: проводник, сечение которого $S = 1,0 \text{ м}^2$ в миллион раз больше сечения $S = 1,0 \text{ мм}^2$, должен иметь сопротивление в миллион раз меньше.

2. При подключении к источнику с напряжением $U = 4,5 \text{ В}$ никелинового проводника поперечным сечением $S = 0,20 \text{ мм}^2$ по нему прошел ток силой $I = 300 \text{ мА}$. Какова длина проводника?

Дано:	Решение
$U = 4,5 \text{ В}$	Выразим сопротивление проводника двумя способами: по формуле $R = \rho \frac{l}{S}$ и через закон Ома $R = \frac{U}{I}$.
$S = 0,20 \text{ мм}^2$	
$\rho = 0,40 \frac{\text{Ом} \cdot \text{мм}^2}{\text{м}}$	Приравняем правые части обеих формул:
$I = 300 \text{ мА} = 0,30 \text{ А}$	$\frac{\rho l}{S} = \frac{U}{I}$
$l = ?$	Отсюда $l = \frac{U \cdot S}{\rho \cdot I}$.
Так как сечение проводника задано в мм^2, то выражать удельное сопротивление в основных единицах СИ не будем: $l = \frac{4,5 \text{ В} \cdot 0,20 \text{ мм}^2}{0,40 \frac{\text{Ом} \cdot \text{мм}^2}{\text{м}} \cdot 0,30 \text{ А}} = 7,5 \text{ м.}$	
Ответ: $l = 7,5 \text{ м.}$	

Упражнение 15

1. Провод сопротивлением $R_0 = 16 \text{ Ом}$ разрезали на две равные части. Сравните сопротивления и удельные сопротивления новых проводников и исходного. Каким будет сопротивление двухжильного проводника, полученного из двух половин исходного провода?

2. Чему равна сила тока в проводнике сопротивлением $R = 2,0 \text{ кОм}$ при напряжении на нем $U = 4,0 \text{ В}$?

3. Выполняя практическую работу, ученик измерил силу тока в резисторе сопротивлением $R = 4,0 \text{ Ом}$ и напряжение на этом резисторе. Определите показания вольтметра, если амперметр показал $I = 0,30 \text{ А}$. Нарисуйте схему такой цепи.

4. Каким сопротивлением обладает моток железной проволоки длиной $l = 200 \text{ м}$ и площадью поперечного сечения $S = 2,0 \text{ мм}^2$?

5. Через поперечное сечение вольфрамовой проволоки за промежуток времени $\Delta t = 5,0 \text{ мин}$ прошел заряд $q = 480 \text{ Кл}$. Определите сопротивление проволоки, если к ней приложено напряжение $U = 8,0 \text{ В}$.

6. Свинцовая проволока плавкого предохранителя имеет сечение $S = 0,50 \text{ мм}^2$ и длину $l = 2,0 \text{ см}$. При каком напряжении сила тока в проволоке приняла бы предельно допустимое значение $I_{\text{пред}} = 10 \text{ А}$?

7. Какова длина серебряной проволоки площадью поперечного сечения $S = 1,2 \text{ мм}^2$, если напряжение на ней $U = 0,8 \text{ В}$, а сила тока, протекающего в проволоке, $I = 5 \text{ А}$?

8. Постройте график зависимости силы тока в проводнике сопротивлением $R = 5,0 \text{ Ом}$ от напряжения, которое изменяется от 0 до 20 В. От чего зависит угол наклона графика?

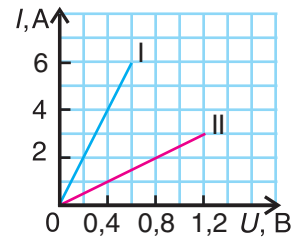


Рис. 151



9. Для проведения эксперимента использовали две медные проволоки равного поперечного сечения. По результатам исследований построили вольт-амперные характеристики этих проволок (рис. 151). Определите длину первой проволоки, если длина второй проволоки $l_2 = 3,6 \text{ м}$.



10. Каким сопротивлением обладает вольфрамовая проволока поперечным сечением $S = 0,10 \text{ мм}^2$ и массой $m = 7,72 \text{ г}$? Плотность вольфрама $D = 19,3 \frac{\text{г}}{\text{см}^3}$.



11. Проволоку сопротивлением $R = 8,0 \text{ Ом}$ нагрели и протаскивали через узкое отверстие (фильеру), что привело к удвоению ее длины. Каким стало сопротивление проволоки?



12. На рисунке 152 изображены омметр и его шкала. Главными частями устройства являются батарейка и гальванометр (чувствительный прибор для измерения тока). Резистор, сопротивление которого нужно измерить, подключается к зажимам, замыкая таким образом электрическую цепь. Объясните принцип работы такого прибора и расположение делений на его шкале.

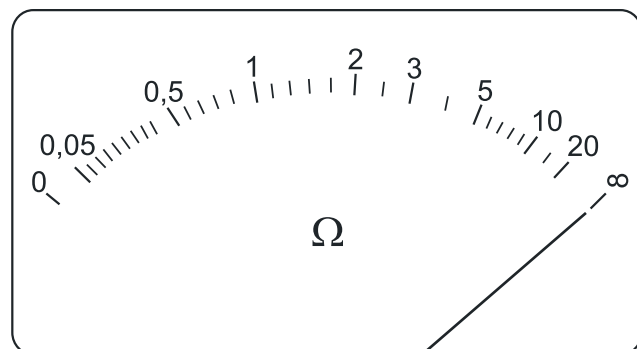


Рис. 152



§ 24.

Последовательное соединение проводников. Реостат

В простейшей цепи к источнику подключается один потребитель (лампочка, электродвигатель, электророзвонок и т. д.). Но, как вы уже видели на рисунке 140, в цепь можно включить одновременно и несколько потребителей, соединив их определенным образом. Каким закономерностям подчиняются цепи, содержащие несколько потребителей? Как выгодно их соединять?

Простейшим видом соединения нескольких потребителей является последовательное, при котором соединяемые проводники имеют по одной общей точке (рис. 153): B — для проводников R_1 и R_2 , C — для проводников R_2 и R_3 . Последовательно мы включаем амперметр. Для последовательного соединения выполняются три главные закономерности.

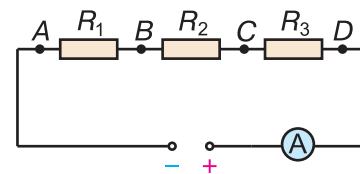


Рис. 153

1. Сила тока во всех проводниках одинакова:

$$I_1 = I_2 = I_3 = I. \quad (1)$$

2. Напряжение на участке из последовательно соединенных проводников равно сумме напряжений на каждом из них:

$$U = U_1 + U_2 + U_3. \quad (2)$$

Эта закономерность вытекает из физического смысла напряжения. Полная работа электрических сил на участке AD равна сумме работ, произведенных на участках AB , BC и CD (см. рис. 153).

3. По закону Ома $U = IR$, где R — сопротивление всего участка AD , $U_1 = IR_1$, $U_2 = IR_2$, $U_3 = IR_3$. Подставив эти выражения в формулу (2), получим: $IR = I(R_1 + R_2 + R_3)$, или

$$R = R_1 + R_2 + R_3. \quad (3)$$

Полное сопротивление участка цепи из последовательно соединенных проводников равно сумме сопротивлений отдельных проводников.

Для случая одинаковых проводников расчет упрощается:

$$R = NR_1,$$

где N — число одинаковых проводников, сопротивлением R_1 каждый.

Рост сопротивления участка цепи при добавлении в него новых проводников объясняется увеличением **длины проводящей части**. Это свойство можно использовать для **уменьшения силы тока** в цепи без снижения напряжения источника. Для практического регулирования силы тока в цепи удобно использовать специальное устройство — **реостат**.

На рисунке 154, *а* изображен ползунковый лабораторный реостат. Длинная проволока из никелина или другого сплава с большим удельным сопротивлением намотана на керамический цилиндр. Один конец этой проволоки выведен на клемму *А*. По металлическому стержню (см. рис. 154, *а*) очень малого сопротивления скользит латунный ползунок, который плотно прижимается к виткам проволоки с обеих сторон. Ползунок соединен с клеммой *В*. На рисунке 154, *б* схематично изображен реостат, который включается в электрическую цепь через клеммы *А* и *В*.

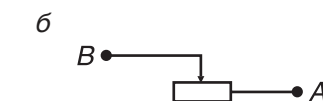
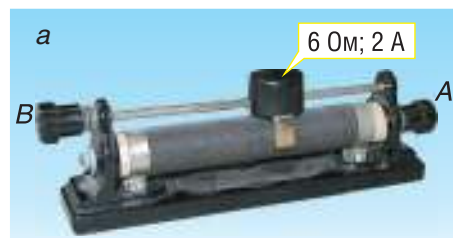


Рис. 154

На рисунке 155 хорошо виден принцип работы реостата. Полное сопротивление цепи состоит из сопротивления *R* резистора и сопротивления включенной в цепь части (на рисунке заштрихована) реостата. Незаштрихованная часть реостата в цепь не включена. Если изменить положение ползунка, то изменится длина включенной в цепь части реостата, что приведет к изменению силы тока. Так, если передвинуть ползунок в крайнее левое положение (точка *С*), то в цепь будет включен весь реостат, сопротивление цепи станет наибольшим, а сила тока — наименьшей.

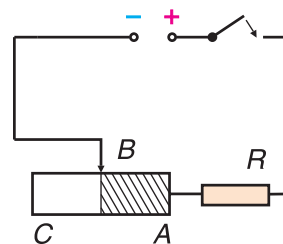


Рис. 155

Для любознательных

Существуют и другие типы реостатов, но в технике, например в электротранспорте, регулировка силы тока реостатами вытесняется другими, более выгодными электронными регуляторами. Дело в том, что, изменяя силу тока в цепи, реостат нагревается, на что расходуется значительная энергия. При большом значении силы тока проволока реостата может перегреться и реостат перестанет работать. В электронных регуляторах эти потери в сотни раз меньше.

Последовательное соединение электроприборов в быту практически не применяется. Ответьте самостоятельно почему.

■ Главные выводы

1. Сила тока в последовательно соединенных проводниках одинакова.
2. Напряжение на участке из последовательно соединенных проводников равно сумме напряжений на каждом проводнике.
3. Сопротивление участка из последовательно соединенных проводников равно сумме сопротивлений отдельных проводников.
4. Реостат позволяет регулировать силу тока в цепи.

? Контрольные вопросы

1. Почему сила тока в последовательно соединенных проводниках одинакова?
2. Как связано напряжение на участке из последовательно соединенных проводников и на отдельных проводниках? Почему?
3. Как и почему изменяется сопротивление участка из последовательно соединенных проводников при добавлении в него новых проводников?
4. Каков принцип регулирования силы тока в цепи с помощью реостата?
5. Как понимать надписи «6 Ом; 2 А» на лабораторном реостате?



Пример решения задачи

Определите показания приборов в цепи, представленной на рисунке 156. Сопротивления резисторов $R_1 = 20 \text{ Ом}$, $R_2 = 40 \text{ Ом}$. Сопротивление амперметра пренебрежимо мало; сопротивление вольтметра считать бесконечно большим.

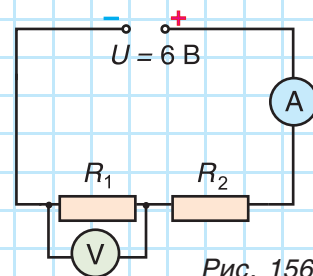


Рис. 156

Дано:

$$U = 6,0 \text{ В}$$

$$R_1 = 20 \text{ Ом}$$

$$R_2 = 40 \text{ Ом}$$

$$I = ? \quad U_1 = ?$$

Полное сопротивление цепи: $R = R_1 + R_2 = 60 \text{ Ом}$.

Сопротивление вольтметра не учитываем, так как ток через него практически не идет. Сила тока:

$$I = I_1 = I_2 = \frac{U}{R} = \frac{6,0 \text{ В}}{60 \text{ Ом}} = 0,10 \text{ А}.$$

Показание вольтметра равно напряжению на первом резисторе:
 $U_1 = IR_1 = 0,10 \text{ А} \cdot 20 \text{ Ом} = 2,0 \text{ В}.$

Ответ: $I = 0,10 \text{ А}$; $U_1 = 2,0 \text{ В}.$

Упражнение 16

1. Чему равно полное сопротивление участка цепи, состоящего из последовательно соединенных резисторов $R_1 = 200 \text{ Ом}$, $R_2 = 0,40 \text{ кОм}$, $R_3 = 500 \text{ Ом}$?

2. К источнику с напряжением $U = 12 \text{ В}$ подключены последовательно резисторы сопротивлением $R_1 = 8,0 \text{ Ом}$ и $R_2 = 16 \text{ Ом}$. Чему равно полное сопротивление цепи? Какова сила тока в каждом резисторе? Каково напряжение на каждом резисторе?

3. Участок электрической цепи состоит из последовательно соединенных резистора сопротивлением $R = 8,0 \text{ Ом}$ и нихромовой проволоки сечением $S = 0,22 \text{ мм}^2$ и длиной $l = 80 \text{ см}$. Определите силу тока в участке цепи при подаче на него напряжения $U = 12 \text{ В}$. Каким будет напряжение на резисторе и на проволоке?

4. К источнику, дающему напряжение $U = 4,0 \text{ В}$, присоединили резистор сопротивлением $R_1 = 8,0 \text{ Ом}$ и последовательно с ним второй резистор с неизвестным сопротивлением. Определите сопротивление второго резистора, если сила тока в цепи $I = 0,20 \text{ А}$.

5. Лампу сопротивлением $R_1 = 4,0 \text{ Ом}$, рассчитанную на номинальное напряжение $U_1 = 12 \text{ В}$, нужно подключить к источнику, имеющему напряжение $U = 15 \text{ В}$. Какое дополнительное сопротивление нужно включить в цепь? Подойдет ли для этой цели школьный лабораторный реостат?

6. Резистор сопротивлением $R = 12 \text{ Ом}$ подключен последовательно с лабораторным реостатом (см. рис. 155) к источнику напряжением $U = 4,5 \text{ В}$. Какой будет сила тока в цепи при крайних положениях ползунка реостата и при установке его на середину?

7. Измеряя напряжение на лампочке, учащийся по ошибке включил вольтметр не параллельно, а последовательно с ней (рис. 157). Как отразится такое включение на свечении лампочки и на показаниях амперметра?

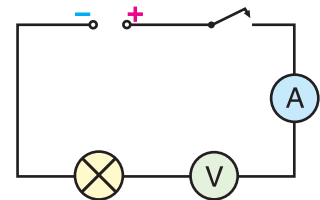


Рис. 157



§ 25.

Параллельное соединение проводников

Последовательно в цепь можно соединять только потребители, рассчитанные на одинаковую силу тока. Кроме того, если в такой цепи выключить ток в одном звене, то разрывается вся цепь. Этих недостатков лишена цепь, в которой потребители соединены параллельно.

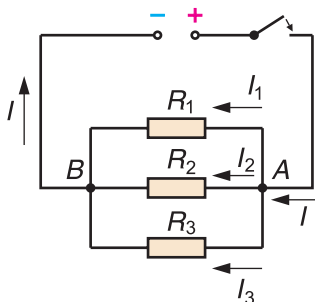


Рис. 158

При параллельном соединении проводников они имеют по две общие точки — точки A и B на рисунке 158. Следствием этого является то, что напряжение U между точками A и B есть напряжение на каждом из проводников, т. е.

$$U_1 = U_2 = U_3 = U. \quad (1)$$

Это первая закономерность параллельного соединения. **Напряжение на каждом из параллельно соединенных проводников одинаково и равно напряжению на всем участке параллельно соединенных проводников.**

Вторая закономерность параллельного соединения вытекает из того, что движущийся направленнo в цепи электрический заряд не исчезает и не возникает из ничего. Он только делится на части (в точке A , см. рис. 158) с последующим объединением (в точке B). Следовательно,

$$I = I_1 + I_2 + I_3. \quad (2)$$

Сила тока в неразветвленной части цепи равна сумме сил тока в ее ветвях (в каждом из параллельно соединенных проводников). Обратите внимание на принятую терминологию: «ветви цепи», «неразветвленная часть». Самостоятельно определите, будут ли силы тока в ветвях (I_1 , I_2 , I_3 на рисунке 158) одинаковы, если сопротивления ветвей различны.

Третья закономерность параллельного соединения определяет общее сопротивление разветвленного участка (участка AB на рисунке 158). Учтем, что сила тока $I = I_1 + I_2 + I_3$, а напряжение $U = U_1 = U_2 = U_3$. Используя закон Ома, получим: $\frac{U}{R} = \frac{U}{R_1} + \frac{U}{R_2} + \frac{U}{R_3}$, откуда

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}. \quad (3)$$

Величина, обратная сопротивлению участка параллельно соединенных проводников, равна сумме величин, обратных сопротивлению отдельных проводников.

▼ Для любознательных

Величину $\frac{1}{R}$, обратную сопротивлению проводника, называют **проводимостью проводника**. Такое название логично. Оно подчеркивает, что если проводник имеет большое сопротивление, то у проводника малая проводимость. С учетом этого третья закономерность можно сформулировать так: **проводимость разветвленного участка цепи равна сумме проводимостей ветвей**.

Из формулы (3) следует, что добавление к параллельному участку новых проводников уменьшает сопротивление R участка. Это объясняется тем, что включение параллельно дополнительного проводника не меняет длину участка электрической цепи, но увеличивает площадь поперечного сечения цепи. А сопротивление $R = \rho \frac{l}{S}$ обратно пропорционально площади. Если соединяемые проводники одинаковые ($R_1 = R_2 = \dots = R_N$), то расчет сопротивления участка упрощается: $\frac{1}{R} = N \cdot \frac{1}{R_1}$, или

$$R = \frac{R_1}{N}. \quad (4)$$

Параллельное соединение позволяет подключать к источнику и отключать от него *независимо* друг от друга различные потребители (рис. 159). Именно поэтому параллельно соединены все электроприборы в наших квартирах, в автомобилях, на предприятиях и т. д. При отключении одной ветви остальная часть цепи работает.

Если параллельно соединены только два проводника, то $\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} = \frac{R_1 + R_2}{R_1 \cdot R_2}$, что приводит к простому выражению для сопротивления такого участка:

$$R = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}. \quad (5)$$

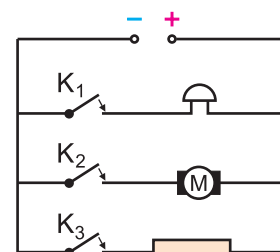


Рис. 159

■ Главные выводы

1. Напряжение на параллельно соединенных проводниках одинаково.
2. Сила тока в неразветвленной части цепи равна сумме сил тока в ветвях.
3. Величина, обратная сопротивлению разветвленного участка, равна сумме величин, обратных сопротивлению отдельных ветвей.
4. Параллельно можно соединять потребители, рассчитанные на разные силы тока.
5. Чем больше параллельно соединенных проводников входит в участок цепи, тем меньше его сопротивление.

? Контрольные вопросы

1. Почему напряжение на параллельно соединенных проводниках одинаково?
2. Почему сопротивление участка уменьшается при параллельном соединении дополнительных проводников?
3. Почему в квартирной и автомобильной проводках практически всегда используется параллельное соединение потребителей?
4. Равны ли силы тока в параллельно соединенных проводниках? От чего зависят их значения?



Пример решения задачи

В цепи, представленной на рисунке 160, сопротивление резистора $R_1 = 60 \text{ Ом}$. Амперметр A показывает силу тока $I = 0,50 \text{ А}$. Найдите показания амперметра A_1 ; полное сопротивление участка BC ; сопротивление резистора R_2 .

Дано:

$$U = 12 \text{ В}$$

$$R_1 = 60 \text{ Ом}$$

$$I = 0,50 \text{ А}$$

$$I_1 = ?$$

$$R_{BC} = ?$$

$$R_2 = ?$$

Решение

Так как резисторы подключены к точкам B и C , напряжение на них равно напряжению источника:

$$U_1 = U_2 = U_{BC} = U = 12 \text{ В}.$$

$$\text{Отсюда сила тока: } I_1 = \frac{U}{R_1} = \frac{12 \text{ В}}{60 \text{ Ом}} = 0,20 \text{ А}.$$

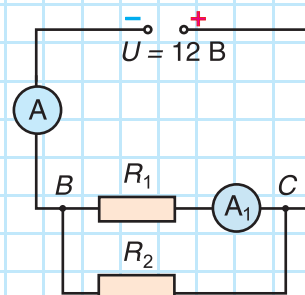


Рис. 160

Сила тока во втором резисторе:

$$I_2 = I - I_1 = 0,50 \text{ А} - 0,20 \text{ А} = 0,30 \text{ А}.$$

Сопротивление этого резистора:

$$R_2 = \frac{U}{I_2} = \frac{12 \text{ В}}{0,30 \text{ А}} = 40 \text{ Ом}.$$

Полное сопротивление участка BC :

$$R_{BC} = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2} = \frac{60 \text{ Ом} \cdot 40 \text{ Ом}}{100 \text{ Ом}} = 24 \text{ Ом}.$$

Этот ответ можно было найти и сразу, применив закон Ома к участку BC в целом: $R_{BC} = \frac{U}{I} = \frac{12 \text{ В}}{0,50 \text{ А}} = 24 \text{ Ом}.$

Ответ: $I_1 = 0,20 \text{ А}$; $R_{BC} = 24 \text{ Ом}$; $R_2 = 40 \text{ Ом}.$

Упражнение 17

1. Определите сопротивление участка электрической цепи, состоящего из двух параллельно соединенных резисторов сопротивлениями $R_1 = 200 \text{ Ом}$, $R_2 = 300 \text{ Ом}$.

2. Участок цепи общим сопротивлением $R = 20 \text{ Ом}$ содержит четыре одинаковых резистора, соединенных параллельно. Каким станет общее сопротивление участка цепи при замене параллельного соединения резисторов на последовательное?

3. Какой резистор и как нужно подключить к резистору сопротивлением $R_1 = 20 \text{ Ом}$, чтобы их общее сопротивление стало равным $R = 16 \text{ Ом}$?

4. Резисторы сопротивлениями $R_1 = 4,0 \text{ кОм}$ и $R_2 = 6,0 \text{ кОм}$ подключены к источнику напряжения $U = 12 \text{ В}$. Какими будут показания амперметра, если его включить в цепь, сделав разрыв в одной из точек A , B , C , D (рис. 161)?

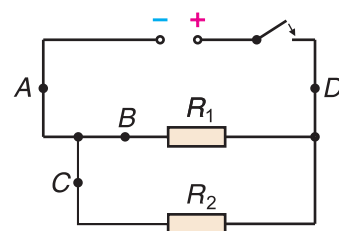


Рис. 161



§ 26.

Работа и мощность электрического тока. Закон Джоуля — Ленца

Вспомним, прежде всего, что работу совершают силы, и приведенные в названии параграфа словосочетания «работа тока», «мощность тока» не совсем верны. Правильнее говорить о **работе электрических сил**, движущих заряд в проводнике и создающих в нем таким образом электрический ток. Как определить эту работу?

Мы знаем (см. § 18), что значение этой работы пропорционально перенесенному заряду q и напряжению U между начальной и конечной точками:

$$A = qU,$$

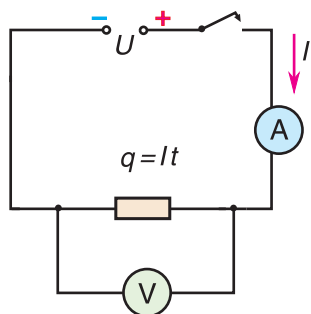


Рис. 162

где U — это напряжение на рассматриваемом резисторе (электродвигателе и т. д.), его мы можем измерить вольтметром. Перенесенный заряд q можно найти, измерив силу тока I и время t (рис. 162). Действительно, из формулы силы тока $I = \frac{q}{t}$ следует $q = It$. Таким образом, работа тока на участке цепи

$$A = IUt. \quad (1)$$

Из формулы (1) следует, что если напряжение выразить в вольтах, силу тока — в амперах, время — в секундах, а работу — в джоулях, то $1 \text{ Дж} = 1 \text{ А} \cdot 1 \text{ В} \cdot 1 \text{ с}$.

Вы уже знаете, что быстроту совершения работы характеризует мощность $P = \frac{A}{t}$. Тогда мощность тока

$$P = IU. \quad (2)$$

Из формулы (2) мощность $1 \text{ Вт} = 1 \text{ А} \cdot 1 \text{ В}$.

Если энергия источника тока превращается только во внутреннюю энергию (идет на нагревание проводника), то, используя закон Ома, работу тока и мощность можно записать по-другому. Так как напряжение $U = IR$, то $A = IIRt$, или

$$A = I^2Rt, \quad (3)$$

а мощность

$$P = I^2 R. \quad (4)$$

Формулы (3) и (4) удобно использовать для цепей с последовательным соединением проводников, так как сила тока в проводниках одинаковая. Для параллельно соединенных проводников работу и мощность удобнее выражать через одинаковое для них напряжение, исключив силу тока. Сила тока $I = \frac{U}{R}$, тогда $A = \frac{U}{R} U t$, или

$$A = \frac{U^2 t}{R}, \quad (5)$$

а мощность

$$P = \frac{U^2}{R}. \quad (6)$$

Английский ученый Дж. П. Джоуль и русский ученый Э. Х. Ленц еще в первой половине XIX в. независимо друг от друга провели опыт, который схематически изображен на рисунке 163. Полученные ими результаты позволили установить формулу для расчета количества теплоты, выделяющегося в проводнике при прохождении по нему тока. Пропуская ток различной силы через проводники разного сопротивления и измеряя количество выделившейся теплоты, они пришли к зависимости

$$Q = I^2 R t. \quad (7)$$

Это выражение называют **законом Джоуля — Ленца**.

Количество теплоты, выделяющееся в проводнике, пропорционально квадрату силы тока, сопротивлению проводника и времени прохождения тока.

Для больших значений произведенной током работы широко используют внесистемную единицу **киловатт-час (1 кВт · ч)**. Она вводится из связи мощности и работы:

$$A = P t \quad (1 \text{ кВт} \cdot 1 \text{ ч} = 1 \text{ кВт} \cdot \text{ч}).$$

Предлагаем самостоятельно дать определение этой единице.

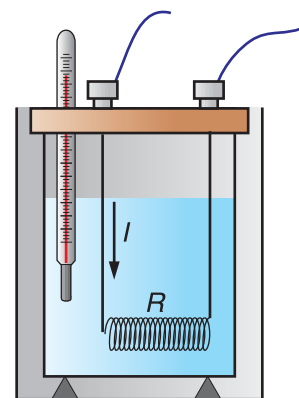


Рис. 163

Ее перевод в единицы СИ: $1 \text{ кВт} \cdot \text{ч} = 1,0 \cdot 10^3 \text{ Вт} \cdot 3600 \text{ с} = 3\,600\,000 \text{ Дж}$, или $1 \text{ кВт} \cdot \text{ч} = 3600 \text{ кДж}$. Именно в киловатт-часах мы определяем по счетчику и оплачиваем расход электроэнергии.

■ Главные выводы

1. Работу электрических сил в проводнике называют работой электрического тока.
2. Работа электрического тока на участке цепи зависит от величины перенесенного заряда и напряжения на этом участке.
3. Количество выделяемой в проводнике теплоты пропорционально квадрату силы тока, сопротивлению проводника и времени прохождения тока.
4. Для простоты расчетов в быту расход электроэнергии выражают в киловатт-часах: $1 \text{ кВт} \cdot \text{ч} = 3600 \text{ кДж}$.

? Контрольные вопросы

1. Что называют работой электрического тока?
2. Почему вместо формулы $A = qU$ чаще используют формулу $A = IUt$?
3. Как был установлен закон Джоуля — Ленца? Как он читается?
4. При каких условиях применяется формула работы тока $A = I^2Rt$?



Пример решения задачи

С помощью электронагревателя сопротивлением $R = 81 \text{ Ом}$ воду объемом $V = 2,0 \text{ л}$ нагревают от температуры $t_1 = 20^\circ \text{C}$ до кипения за время $\tau = 20 \text{ мин}$. Определите КПД нагревателя, если напряжение в сети $U = 220 \text{ В}$.

Дано:

$$R = 81 \text{ Ом}$$

$$U = 220 \text{ В}$$

$$V = 2,0 \text{ л} = 2,0 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$$

$$t_1 = 20^\circ \text{C}$$

$$t_2 = 100^\circ \text{C}$$

$$c = 4,2 \cdot 10^3 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ \text{C}}$$

$$\rho = 1,0 \cdot 10^3 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$

$$\tau = 20 \text{ мин} = 1200 \text{ с}$$

$$\eta = ?$$

Решение

$$\text{По определению } \eta = \frac{A_{\text{пол}}}{A_{\text{сов}}} \cdot 100 \, \%.$$

Полезная работа равна увеличению внутренней энергии воды, т. е. количеству полученной ею теплоты:

$$A_{\text{пол}} = Q = cm(t_2 - t_1).$$

Массу воды выразим через ее плотность и объем $m = \rho V$, тогда $A_{\text{пол}} = c\rho V(t_2 - t_1)$. Совершенная током работа

$$A_{\text{сов}} = \frac{U^2 \tau}{R}.$$

Значит, КПД $\eta = \frac{c\rho V(t_2 - t_1)R}{U^2 \tau} \cdot 100\%$;

$$\eta = \frac{4,2 \cdot 10^3 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}} \cdot 1,0 \cdot 10^3 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \cdot 2,0 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3 \cdot 80^\circ\text{C} \cdot 81 \text{ Ом}}{48\,400 \text{ В}^2 \cdot 1200 \text{ с}} \cdot 100\% = 94\%.$$

Ответ: $\eta = 94\%$.

Упражнение 18

1. Какая работа совершается электрическим током в проводнике, в котором при напряжении $U = 12$ В проходит заряд $q = 20$ Кл за время $t = 4,0$ с? Каково значение мощности тока?

2. Какую работу совершает за сутки электрический ток силой $I = 5,0$ мкА в электронных часах, работающих от батарейки напряжением $U = 1,5$ В?

3. Сопротивление нагревательного элемента электрочайника $R = 40$ Ом. Определите работу и мощность тока, если питающее чайник напряжение $U = 220$ В, а время работы чайника $t = 4,0$ мин.

4. Каковы мощность и сила тока в спирали утюга сопротивлением $R = 30$ Ом при включении в сеть напряжением $U_1 = 220$ В? Каким должно быть сопротивление спирали, чтобы утюг давал такой же нагрев при включении в сеть напряжением $U_2 = 110$ В?

5. Электроплитка рассчитана на напряжение $U = 220$ В и силу тока $I = 3,0$ А. За какое время она потребит энергию тока $W = 0,66$ кВт · ч?

6. Электроподъемник потребляет ток силой $I = 10$ А при напряжении $U = 220$ В. Принимая КПД подъемника $\eta = 80\%$, рассчитайте время подъема груза массой $m = 500$ кг на высоту $h = 8,0$ м.



7. Две электроплитки с надписями «220 В; 600 Вт» и «220 В; 1200 Вт» включают в сеть напряжением $U = 220$ В. В какой из электроплиток будет выделяться за равное время больше теплоты, если их соединить: а) последовательно; б) параллельно?



8. Сила электрического тока в квартирной электропроводке не должна превышать $I = 10$ А. При больших значениях силы тока она плавится. Определите, какие потребители вы можете включить одновременно в сеть напряжением $U = 220$ В, чтобы сила тока в сети не превысила предельно допустимую. Примерные мощности потребителей: стиральной машины — $P_1 = 2$ кВт; холодильника — $P_2 = 0,2$ кВт; телевизора — $P_3 = 0,3$ кВт; утюга — $P_4 = 0,8$ кВт; пылесоса — $P_5 = 1,4$ кВт; электрочайника — $P_6 = 1,2$ кВт; электроплиты — $P_7 = 1,8$ кВт; печи СВЧ — $P_8 = 0,8$ кВт.



§ 27.

Использование и экономия электроэнергии. Безопасность при работе с электроприборами

(для дополнительного чтения)



Рис. 164



Рис. 165



Рис. 166



Рис. 167

Использование электричества позволило человечеству за два предыдущих столетия создать устройства и приборы, радикально изменившие его жизнь. Пока вы еще не получили достаточно знаний, чтобы понять принципы работы многих из них. Но всем вам очень важно знать правила безопасного пользования электроприборами.

В наши дни широко используются сберегающие энергию газоразрядные лампы (рис. 164). В них ток проходит не через металлическую спираль, а через смесь газов. Газоразрядная энергосберегающая лампа, потребляя мощность всего 20 Вт, дает такой же световой поток, как лампа накаливания мощностью 100 Вт. Однако эти лампы уже активно вытесняются еще более экономичными и долговечными светодиодными лампами (рис. 165, 166).

Преобразование электрической энергии во внутреннюю происходит в таких электронагревательных приборах, как утюг, паяльник, кипятильник, электрочайник (рис. 167). Все они имеют нагревательный элемент из материала (обычно сплава) с достаточно большим сопротивлением. А вот в микроволновой печи (рис. 168) такого элемента нет. Нагрев продуктов происходит за счет воздействия на содержащиеся в них молекулы воды быстро изменяющимся электрическим полем. Это отражено и в официальном названии «микроволновок» — печи СВЧ, т. е. использующие поле сверхвысокой частоты.

К сожалению, мы не можем объяснить сейчас принцип работы других, более сложных бытовых устройств. Отметим только, что все они: компьютер, телевизор, телефон (сетевой и мобильный),

планшет (рис. 169), ноутбук, холодильник, стиральная машина — используют магнитные действия тока.

Рост числа электроустройств в быту и на производстве делает важной задачу экономии электроэнергии. Как решить эту задачу?

Во-первых, искать новые **энергосберегающие технологии**. Создавать новые модели телевизоров, холодильников, транспортных средств. Так, разработанный в белорусском объединении «Белкоммунмаш» безреостатный способ регулирования силы тока позволил на треть уменьшить потребление тока троллейбусом. Белорусский троллейбус (рис. 170) ныне признан во всем мире.

Второе направление, позволяющее значительно уменьшить потребление электроэнергии, — это **повышение культуры энергопользования**.

Часто мы, уходя на перемену, не выключаем в классе освещение. Из закона сохранения и превращения энергии следует: чем меньше электроэнергии мы потребляем, вовремя выключая свет и используя экономные лампочки, тем меньше топлива (газа, мазута) расходуется на электростанции, где при отключении лишней нагрузки «умные» дозирующие устройства быстро и точно сокращают его подачу.

Не будем забывать о возможности использования природных источников энергии: ветра и особенно Солнца. Так, проблему получения горячей воды для летнего домика (дачи) можно решить по крайней мере двумя способами. Можно купить в магазине электроводонагреватель мощностью более 2 кВт и усугубить проблему расхода электроэнергии. А можно изготовить солнечный нагреватель, используя покрашенную черной краской емкость (бочку) (рис. 171). Закройте ее со всех сторон, кроме южной, теплоизолятором (стекловатой, пенопластом или даже мхом) и снабдите устройство повернутой к солнцу застекленной рамой. Вы сможете принимать теплый душ с апреля по сентябрь.



Рис. 168



Рис. 169



Рис. 170



Рис. 171

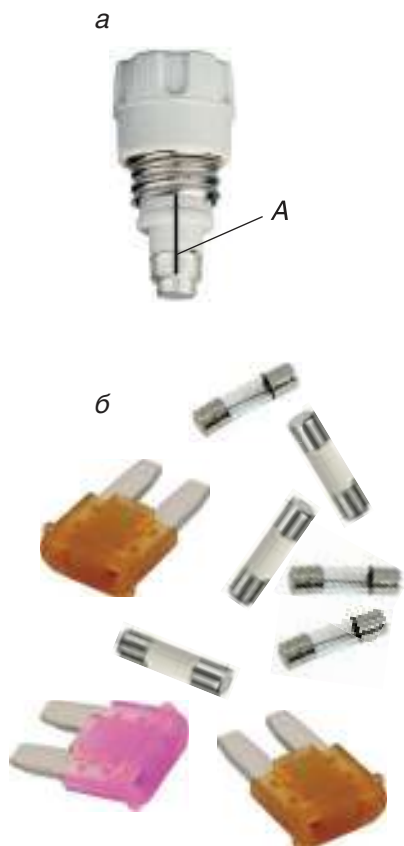


Рис. 172



Рис. 173

Остановимся на тех опасностях, которые обязательно надо учитывать при работе с электроприборами.

Во-первых, тело человека, состоящее в основном из жидкости, является хорошим проводником. Только значительное сопротивление загрубевшей кожи рук препятствует протеканию через тело тока большой силы. Поэтому при малых напряжениях в несколько вольт через нас протекает ток силой в доли миллиампера, который мы даже не ощущаем. Но уже начиная с напряжения $U = 36$ В возросшая сила тока может вызвать заметное биологическое действие, а ток силой более $I = 100$ мА, как правило, вызывает смертельный исход. Внимательно и серьезно относиться к правилам техники безопасности, которые вам сообщает учитель перед проведением лабораторных работ. Любой ремонт дома (даже замену лампочек) производите только при отключенном напряжении.

Второй вид опасности при использовании электрического тока связан с тем, что выделение теплоты происходит не только в нагрузке (лампочке, электродвигателе), но и в подводящих проводах и источнике. При небольших токах эта теплота очень мала, но при значительных токах она резко возрастает ($Q = I^2 R t$), проводка сильно нагревается, что может привести к пожару. Особо сильный нагрев будет в местах плохих соединений проводов (вилки, штепсельные гнезда). Такая ситуация может возникнуть при подключении одновременно **слишком большого числа потребителей**: обогревателя, стиральной машины, кипятильника, утюга и т. д. Кроме того, эта ситуация неизбежна при **коротком замыкании** в цепи (см. § 22). В этом случае может пострадать не только проводка, но и сам источник тока, перегреваемый током огромной силы.

Для экстренного разрыва цепи в таких ситуациях служат **предохранители** (рис. 172, 173).

Самый простой предохранитель — **плавкий** — представляет собой включаемую последовательно в цепь свинцовую проволочку А (см. рис. 172, а). При достижении в цепи тока определенной силы (написано на предохранителе) тонкая проволочка нагревается и расплавляется, разрывая перегруженную цепь. Устранив причину перегрузки, необходимо поставить **новый** предохранитель, рассчитанный на тот же предельный ток. Никогда не нужно заменять предохранитель кусочком медной проволоки (его часто называют «жучком»). Он может сгореть после того, как начнет гореть от перегрева изоляция электропроводки. На рисунке 172, б показаны другие виды плавких предохранителей.

Второй вид предохранителя — автоматический (см. рис. 173), который производит разрыв цепи при достижении определенной силы тока. В отличие от плавкого этот предохранитель при срабатывании не разрушается и может быть снова введен в рабочее положение. Такие автоматы-предохранители устанавливаются возле квартирных счетчиков электроэнергии.

■ Главные выводы

1. Экономия электроэнергии достигается совершенствованием технологий и оборудования, а также высокой культурой энергопользования.
2. Опасность при работе с электрическими цепями связана с возможностью поражения человека током или пожароопасным повышением температуры электропроводки.
3. Предохранители служат для экстренного разрыва цепей при перегрузках и коротких замыканиях.

? Контрольные вопросы

1. Почему в практических работах запрещено использование напряжения, превышающего 36 В?
2. Что такое перегрузка цепи? Чем она опасна?
3. Почему проволоку плавкого предохранителя делают из свинца?
4. Верно ли утверждение, что предохранитель не допускает возникновения перегрузок и коротких замыканий?
5. Почему необходимо контролировать крепление проводов в штепсельных вилках и розетках?



§ 28.

Постоянные магниты

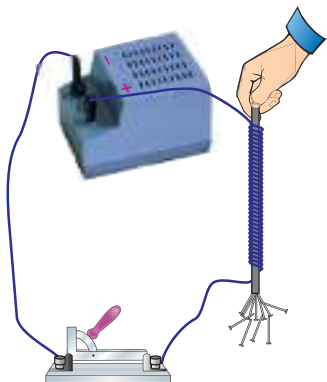


Рис. 174



Рис. 175

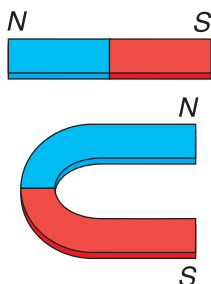


Рис. 176

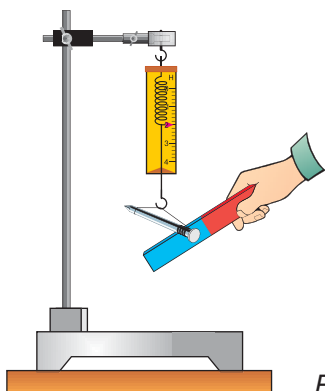


Рис. 177

До сих пор мы рассматривали электрические явления. Опыт по пропусканию тока через изолированный проводник, навитый на железный стержень (рис. 174), показал, что катушка со стержнем становится магнитом. Он притягивает гвозди, булавки. Уже из этого факта следует, что электрические и магнитные явления связаны между собой. В чем суть магнетизма?

История открытия магнетизма уходит корнями в глубокую древность, к античным цивилизациям Малой Азии. В древнем городе Магнесия на территории Малой Азии была обнаружена горная порода, образцы которой притягивали друг друга. По названию города их стали называть магнитами. Вы все хорошо знаете свойство магнита притягивать к себе железные и стальные предметы: гайки, шайбы, скрепки, монеты (рис. 175). Известно, что магнит не притягивает тела из цветных металлов (медь, алюминий и др.). Магниты бывают различных форм, но наиболее распространены полосовой и подковообразный магниты (рис. 176).

Способность магнита притягивать предметы можно изучить с помощью динамометра с железным гвоздем (рис. 177). Поднося к гвоздю различные участки магнита, можно обнаружить, что наиболее сильное притяжение на концах магнита. Их называют **полюсами** магнита: **северным**

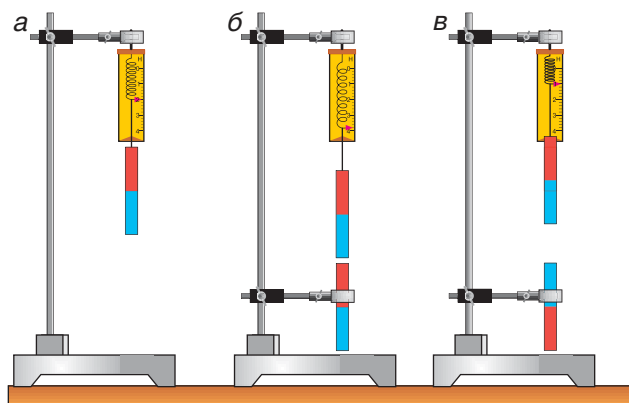


Рис. 178

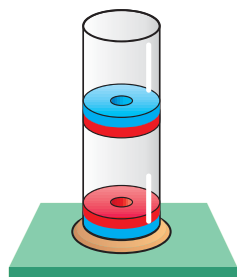


Рис. 179

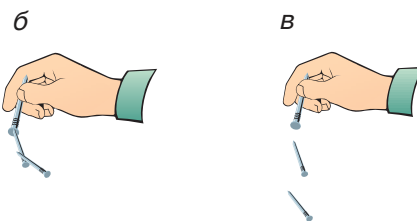
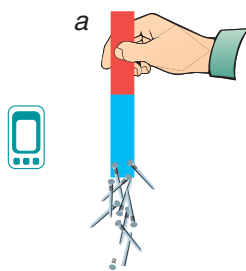


Рис. 180

(обозначают буквой N) и **южным** (обозначают буквой S). Обнаружено, что на середине магнита притяжения нет. Это — **нейтральная зона**.

Изучить взаимодействие двух магнитов можно на опыте. Закрепим магниты: один к крючку динамометра (рис. 178, а), а другой жестко к штативу. По показаниям динамометра можно определить силу притяжения разноименных полюсов (рис. 178, б) и силу отталкивания одноименных полюсов (рис. 178, в). Сила взаимодействия зависит от расстояния между полюсами и может быть даже больше или равной силе тяжести магнита. Это подтверждает опыт с «парящим» в воздухе магнитом (рис. 179).

Рассматривая цепочку притянутых к магниту гвоздей (рис. 180, а), можно сделать еще один очень важный вывод. Под действием магнита тела (гвозди) могут намагничиваться (рис. 180, б), т. е. превращаться в магниты. У гвоздей из обычного (мягкого) железа намагниченность после удаления от магнита практически полностью исчезает (рис. 180, в). Но у стали и некоторых других сплавов намагниченность сохраняется. Например, стальные ножницы после контакта с магнитом сами стали магнитом и намагнитили лезвие бритвы (рис. 181).

Магниты, которые есть в кабинете физики, изготовлены из специальной стали и намагничены действием очень сильного магнита. Их полюсы окрашены в традиционные цвета: **северный полюс** — в **синий**, **южный полюс** — в **красный**. Очень сильным нагреванием или другими воздействиями любой магнит можно **размагнитить**.



Рис. 181

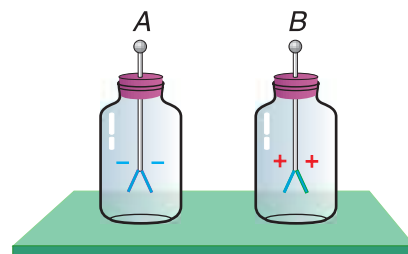
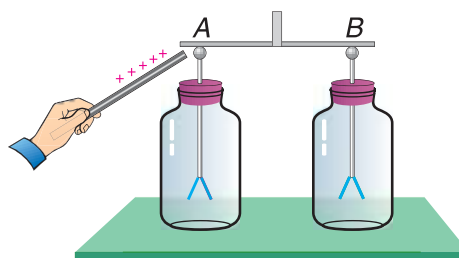


Рис. 182

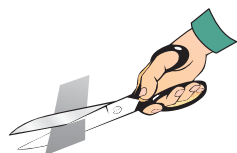
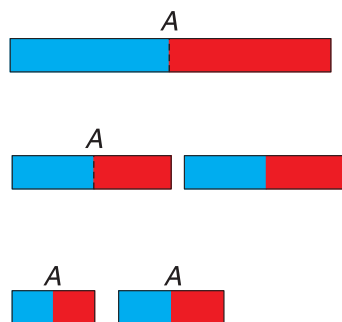


Рис. 183

Взаимодействие магнитов имеет сходство со взаимодействием электрически заряженных тел. В обоих случаях одноименные полюса (заряды) отталкиваются, а разноименные полюса (заряды) притягиваются. Но у этих взаимодействий есть и различие. Электрические заряды можно отделить друг от друга. Вспомните электризацию трением и электризацию через влияние (рис. 182). А вот **полюса магнита неразделимы**. Разрезая магнит на части (неважно, равные или неравные), вы не отделите его полюса друг от друга, а будете получать новые магниты. Каждый из них будет иметь нейтральную зону **А** и два полюса: северный и южный (рис. 183).

Взаимодействием магнитов объясняется принцип работы компаса (рис. 184). Стрелка компаса — это легкий сильный магнит, который может поворачиваться вокруг вертикальной оси. С каким же вторым магнитом взаимодействует стрелка компаса? Таким гигантским магнитом является наша Земля.



Рис. 184

▼ Для любознательных

Впервые это доказал английский исследователь У. Гильберт (1544—1603). Он изготовил из магнитного железняка шар большого диаметра — «магнитный глобус». Обходя шар с компасом, он показал, что ориентация стрелки во всех изучаемых точках полностью копирует ее ориентацию в различных точках Земли.

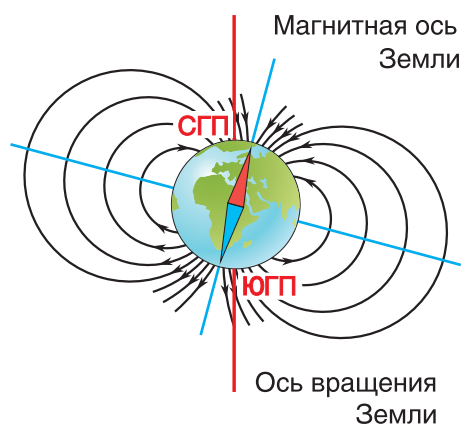


Рис. 185

Магнитные полюса Земли (рис. 185) расположены не слишком далеко от географических Северного и Южного полюсов нашей планеты. Поэтому стрелка компаса устанавливается по направлению, близкому к направлению земного меридиана (с юга на север). Именно поэтому полюса всех магнитов получили свои названия

(северный, южный) и обозначения (N , S — от гол. *Nord*, *Sud*). Строго говоря, стрелка компаса указывает направление **магнитного меридиана**. Ее северный конец ориентирован не на Северный географический полюс (СП) планеты, а на **Южный магнитный полюс Земли**.



Для любознательных

Чрезвычайно интересным и трудным для объяснения является достоверно доказанный факт изменения положения магнитных полюсов Земли с течением времени. Так, много лет назад Южный магнитный полюс находился там, где сейчас находится Северный!



Главные выводы

1. Полюса магнита неразделимы.
2. Одноименные полюса магнитов отталкиваются, а разноименные притягиваются.
3. Тела из железа, стали и др. могут быть намагничены с помощью магнита.
4. Землю можно представить большим магнитом, полюса которого не совпадают с географическими полюсами.



Контрольные вопросы

1. Как экспериментально обнаружить полюса и нейтральную зону магнита?
2. Как взаимодействуют два магнита?
3. Что общего и разного у электрических и магнитных взаимодействий?
4. Как можно получить новый постоянный магнит?
5. Почему возможна ориентация на Земле с помощью компаса? Является ли она точной?



Домашнее задание

Подвесьте на нитях на одинаковой высоте две стальные иголки. Поднесите к ним, не касаясь, постоянный магнит. Опишите и объясните наблюдаемое явление.



§ 29.

Магнитное поле

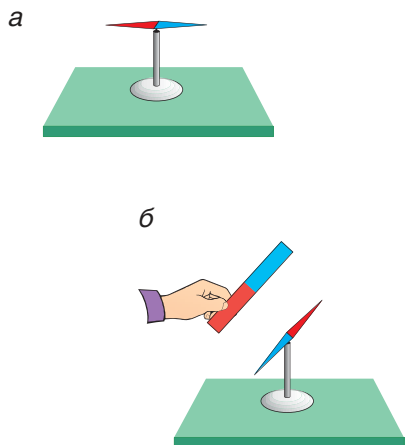


Рис. 186

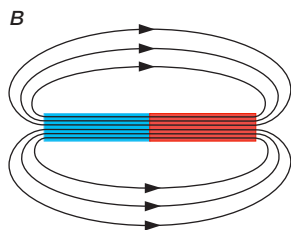
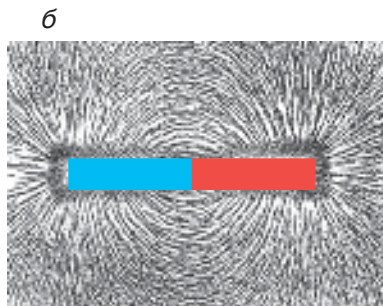
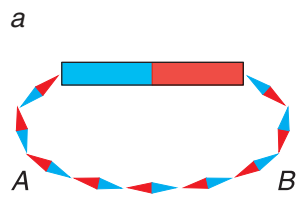


Рис. 187

Вам известно, что тела могут взаимодействовать на расстоянии без непосредственного контакта, т. е. посредством поля. Изучая электрические явления, мы говорили об электрическом поле. Еще ранее (в 7-м классе) — о поле тяготения (гравитационном поле). Магниты также взаимодействуют на расстоянии. Значит, с любым магнитом связано особое состояние пространства — **магнитное поле**.

При изучении любого физического поля важно ответить на следующие вопросы. С каким телом или явлением связано данное поле? В чем это поле себя проявляет? С помощью какого тела (индикатора) это поле можно обнаружить и изучить его свойства? Ответ на первый вопрос прост. Магнитное поле связано с магнитом.

Подобно другим физическим полям, магнитное поле не действует на наши органы чувств (зрение, слух, обоняние, осязание). Однако реальность его существования проявляется в конкретном наблюдаемом действии. Например, в магнитном поле Земли поворачивается стрелка компаса. Магнитная стрелка (рис. 186, а) и есть то тело, которое позволяет обнаруживать и изучать магнитные поля, например поле полосового магнита (рис. 186, б).

Используя большое количество маленьких магнитных стрелок (рис. 187, а), можно получить наглядную картину действия магнитного поля в окружающем магнит пространстве. На практике еще удобнее использовать мелкие железные опилки, насыпанные на картонный лист. В изучаемом магнитном поле железные опилки намагничиваются и становятся маленькими магнитными стрелками. При малом трении о картон эти стрелки тут же ориентируются (рис. 187, б), изображая линии магнитного поля (рис. 187, в) изучаемого магнита.

С помощью таких линий можно изображать самые различные магнитные поля. Мы уже использовали этот метод, изобразив на рисунке 185 магнитное поле Земли. За направление линии магнитного поля по договоренности принимается направление, в котором магнитное поле ориентирует северный полюс магнитной стрелки (см. рис. 187, а). Обратите также внимание на то, что у любого магнита есть поле и внутри него, а линии магнитного поля замкнутые (см. рис. 187, в). Сгущение линий внутри магнита отражает то, что там поле наиболее сильное.

▼ Для любознательных

Магнитное поле Земли имеет для нас огромное значение. Ведь, кроме приятного, дарящего жизнь всему земному свету, Солнце излучает и обильные потоки быстрых заряженных частиц. В основном это электроны и протоны, которые неблагоприятно действуют на все живое. Именно благодаря своему магнитному полю наша планета защищена от их губительного действия. Частицы огибают Землю, частично попадают в своеобразные магнитные ловушки. Лишь малая часть заряженных частиц может достичь поверхности планеты, вызывая полярное сияние (рис. 188) в верхних слоях атмосферы.



Рис. 188

В магнитном поле Земли иногда наблюдаются резкие непродолжительные изменения («магнитные бури»), связанные с процессами, происходящими на Солнце.

Магнитными полями, хотя и чрезвычайно слабыми в сравнении с магнитным полем Земли, обладают и ближайшие к нам небесные тела (Луна, Марс, Венера).

■ Главные выводы

1. Реальность существования магнитного поля подтверждается его ориентирующим действием на магнитную стрелку.
2. Магнитные поля изображаются графически в виде замкнутых линий.
3. Направление линий магнитного поля в каждой точке поля совпадает с направлением северного полюса сориентированной полем магнитной стрелки.
4. На магнитное поле Земли влияют процессы, происходящие на Солнце.

Контрольные вопросы

1. Чем подтверждается материальность магнитного поля?
2. С помощью каких тел можно изучить магнитное поле?
3. Почему полюса магнита называют северным и южным?
4. Что такое линии магнитного поля? Что выбрано за направление этих линий?
5. Из какого полюса постоянного магнита выходят линии магнитного поля? В какой входят?

Упражнение 19

1. Определите полюса неизвестных магнитов в магнитных цепях, изображенных на рисунке 189, а, б.

2. Верно ли утверждение, что стрелка компаса указывает точное направление на географический север?

3. Зачем при научных исследованиях магнитного поля Земли наряду с компасом используют прибор, в котором стрелка может поворачиваться вокруг горизонтальной оси (инклинатор)?

4. Как можно определить, намагничен или нет железный стержень: а) с помощью компаса; б) с помощью нитки?

5. Как, не используя других предметов, определить, какое из двух ножовочных полотен намагничено, а какое — нет?

6. Докажите, что линии магнитного поля не могут пересекаться.

7. Почему ненамагниченный кусок стали притягивается к любому полюсу магнита?

8. Как с помощью самих стержней определить, какие из трех стальных стержней намагничены, если известно, что намагничены только два?

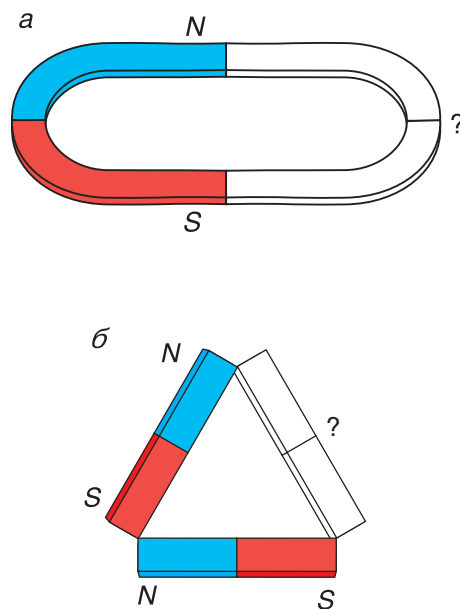


Рис. 189



§ 30.

Магнитное поле тока

Поднесем к магнитной стрелке наэлектризованную стеклянную палочку (рис. 190). К палочке притянется ближний конец стрелки независимо от того, северный он или южный. Так же будет вести себя и полностью размагниченная стрелка. Объяснение этому простое — наблюдается известная вам электризация через влияние (см. § 14, рис. 102). Магнетизм же стрелки не имеет никакого значения. Значит ли это, что связь между магнетизмом и электричеством отсутствует? Конечно, нет. Между магнетизмом и электричеством существует теснейшая связь.

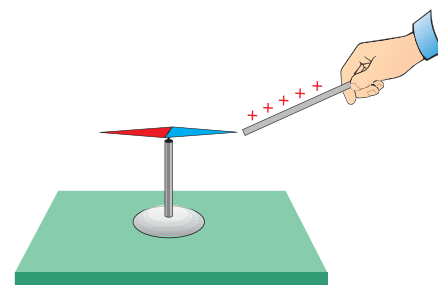


Рис. 190

Расположим по магнитному меридиану (т. е. по направлению стрелки компаса) проводник AB (рис. 191, *а*), под которым находится магнитная стрелка. Включим ток. Стрелка поворачивается и устанавливается перпендикулярно к проводнику AB (рис. 191, *б*). Поворот стрелки указывает на **появление магнитного поля вокруг проводника с током**. Изменим направление тока в проводнике AB на противоположное. Стрелка поворачивается и устанавливается перпендикулярно к проводнику, но в противоположном направлении.

Этот простой опыт, проведенный в 1820 г. датским ученым Г. Х. Эрстедом, позволяет сделать чрезвычайно важный вывод. Магнитное поле создается не только постоянным магнитом. Оно возникает и при **движении электрических зарядов**. Действительно, ток в проводнике есть их направленное движение.

Огромный вклад в изучение электромагнетизма внес французский ученый А. М. Ампер (см. форзац 1). Он высказал мысль о том, что движением заряженных частиц объясняется магнетизм всех постоянных магнитов, включая Землю. Согласно гипотезе Ампера, в телах из железа, стали и др. постоянно протекает множество

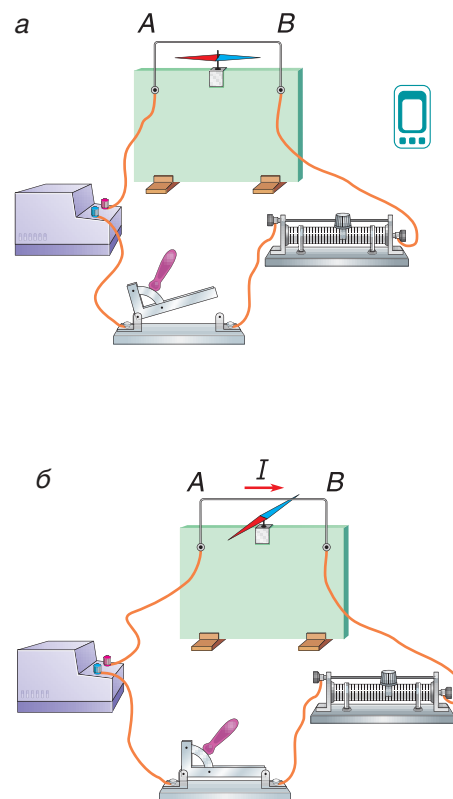


Рис. 191

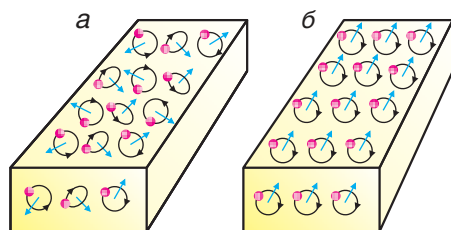


Рис. 192

замкнутых круговых токов. Каждый такой ток создает слабое магнитное поле, т. е. в теле всегда имеется множество чрезвычайно малых элементарных магнитов. В немагниченном теле элементарные магниты расположены хаотично (рис. 192, а), и их поля компенсируют друг друга. Магнитное поле у такого тела отсутствует. При намагничивании тела элементарные магниты ориентируются в одном направлении (рис. 192, б), тело становится магнитом. Подобные круговые токи протекают, по мнению Ампера, и внутри Земли.

Ампер не мог объяснить природу введенных им круговых токов. Ведь в ту пору (первая половина XIX в.) ученые не знали строения атома. Круговым током, создающим элементарное магнитное поле, можно считать каждый электрон, движущийся вокруг ядра атома. Заслуга Ампера в том, что он первым связал магнитные поля постоянных магнитов и Земли с движением электрических зарядов в этих телах. Для создания магнитного поля важен не сам проводник, а ток, текущий в нем. Давно замечено, что в результате грозových разрядов часто намагничивались стальные тела: ножницы, спицы, косы и т. д. Предлагаем вам самостоятельно объяснить это явление.

■ Главные выводы

1. Неподвижные электрические заряды не производят магнитного действия.
2. Магнитное поле создается электрическим током.
3. Магнетизм постоянных магнитов связан с движением электрических зарядов.

? Контрольные вопросы

1. Как взаимодействует стрелка компаса с наэлектризованными эбонитовой и стеклянной палочками? Какие выводы можно из этого сделать?
2. Чем, согласно гипотезе Ампера, различаются намагниченное и немагниченное тела?
3. Как взаимодействует стрелка компаса с наэлектризованным железным телом (гвоздем)?



§ 31.

Магнитное поле прямого проводника и катушки с током. Электромагнит

Магнитное поле существует вокруг любого проводника с током. Но проводники могут иметь различные формы, и ток в них может иметь различную силу. Чем же различаются поля таких проводников? Как можно усилить создаваемое током магнитное поле?

Для изучения магнитного поля **прямого проводника** с током насыпем железные опилки на картонный лист, расположенный перпендикулярно проводнику (рис. 193, а). Мы видим, что опилки располагаются по окружностям, центром которых является проводник с током. Располагая около проводника магнитные стрелки, можно определить направление линий магнитного поля (рис. 193, б). Не забывайте, в каждой точке поля это направление северного (N) полюса магнитной стрелки!

Для определения направления линий магнитного поля используют *правило буравчика*, или *правого винта*: вращайте ручку буравчика (головку винта или шурупа с правой нарезкой) так, чтобы его острие двигалось по направлению тока в проводнике: вниз на рисунке 194, а и вверх на рисунке 194, б. Направление вращения ручки буравчика укажет направление линий поля.

Направление линий магнитного поля можно определить еще проще, с помощью **правой руки**: если проводник с током обхватить ладонью правой руки так, чтобы отставленный большой палец был направлен по току (рис. 195), то согнутые четыре пальца укажут направление линий магнитного поля.

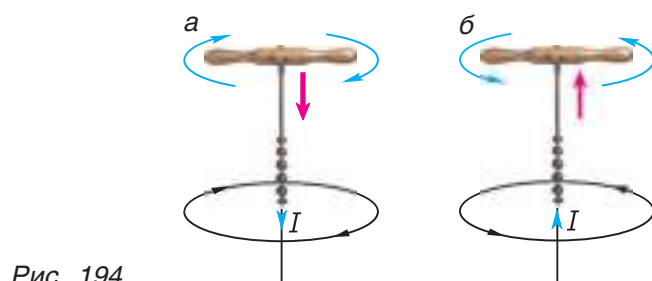


Рис. 194

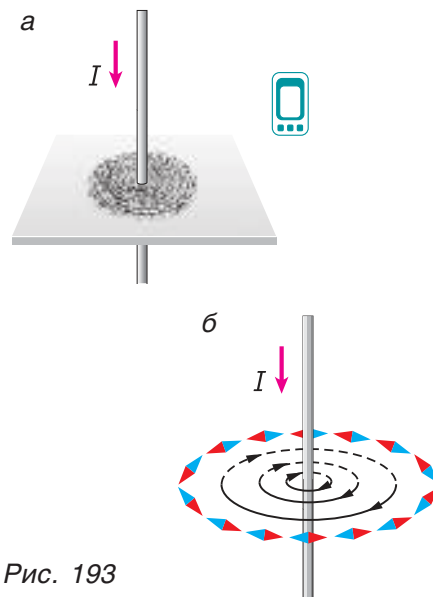


Рис. 193

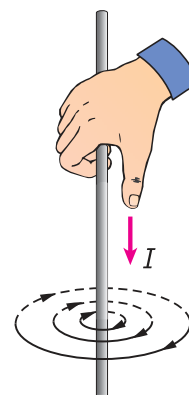


Рис. 195

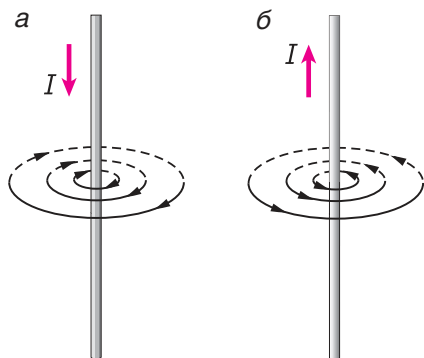


Рис. 196

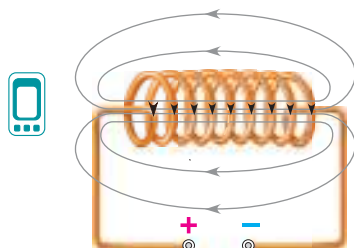


Рис. 197

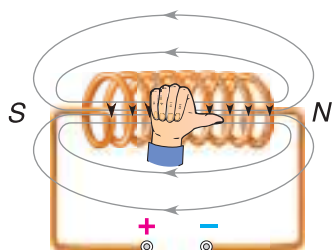


Рис. 198

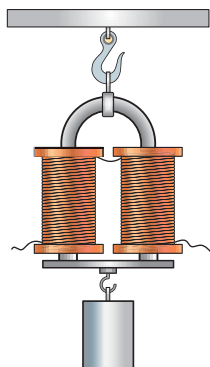


Рис. 199

На рисунке 196, а, б показано направление линий магнитного поля двух проводников, в которых ток течет в противоположных направлениях. Подтвердите правильность указанных направлений, используя правую руку.

Применяя железные опилки, можно получить и картину линий магнитного поля катушки с током — соленоида (рис. 197).

Из рисунка 197 видно, что созданное катушкой с током магнитное поле подобно полю обычного полосового магнита. Располагаясь параллельно внутри катушки, линии магнитного поля выходят из одного ее конца и, огибая ее, входят в другой конец. Таким образом, по сути, соленоид является **электромагнитом**. Направление линий магнитного поля здесь также определяют по правилу буравчика или с помощью правой руки, но только для соленоида (рис. 198). Если ладонью правой руки обхватить катушку с током так, чтобы четыре пальца расположились по направлению тока, то отставленный большой палец укажет направление линий магнитного поля внутри катушки.

Для усиления поля электромагнита одноименные полюса магнитов сближают, а внутрь катушки вставляют сердечник из мягкого железа или специальной стали (рис. 199). Эти материалы, намагничиваясь в магнитном поле катушки, в десятки и даже сотни раз усиливают его, позволяя получить электромагниты с большой подъемной силой. Электромагнит, изображенный на рисунке 199, даже при небольшой силе тока в катушках может удерживать груз массой в десятки килограммов, что недоступно никакому постоянному магниту.

Электромагниты, используемые на производстве, способны удерживать и переносить тонны металлического груза (рис. 200).

Создаваемое соленоидом магнитное поле используется в электроизмерительных приборах (амперметрах, вольтметрах), электровозвонке, элек-

трогитаре. По две катушки с током имеют **электросчетчик** (рис. 201) и **ваттметр** — прибор, измеряющий мощность электрического тока. Ток, протекающий по обмоткам сложной конфигурации, создает магнитное поле, необходимое для работы любого электродвигателя (рис. 202).



Рис. 200



Рис. 201



Рис. 202

■ Главные выводы

1. Линии магнитного поля не имеют начала и конца. Они замкнуты.
2. Направление линий магнитного поля можно определить с помощью стрелки компаса, правой руки или по правилу буравчика.
3. Магнитное поле катушки с током подобно полю полосового магнита.
4. Поле электромагнита можно усилить использованием железного или стального сердечника и сближением одноименных полюсов.

? Контрольные вопросы

1. Какими способами можно получить картину линий магнитного поля различных проводников?
2. Как можно определить направление линий магнитного поля, создаваемого проводником с током?
3. Как с помощью правой руки определить направление линий магнитного поля: а) прямого проводника с током; б) катушки с током?
4. Как можно усилить магнитное поле электромагнита?
5. Где применяются катушки с током?
6. Можно ли называть электромагнитом прямой проводник с током? Почему?

➔ Домашнее задание

Возьмите несколько железных гвоздей, кусок железного провода, источник тока, скрепки, гвозди. Изготовьте электромагнит. Опишите его действие. Определите его подъемную силу.

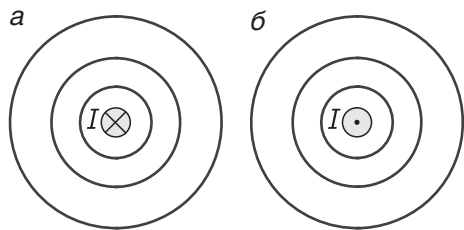


Рис. 203

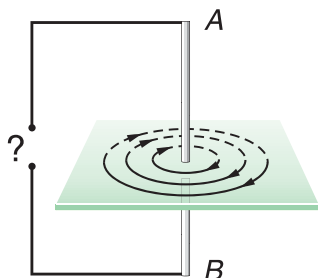


Рис. 204

Упражнение 20

1. Определите направление линий магнитного поля прямого проводника с током I , расположенного перпендикулярно плоскости чертежа, если ток I направлен от нас (рис. 203, а) и к нам (рис. 203, б).

2. Как, используя компас, определить полярность клемм неизвестного источника тока?

3. Определите полярность клемм источника, создающего ток в прямом проводнике (рис. 204) и в катушке (рис. 205).

4. Как будет ориентирована магнитная стрелка, помещенная в точки А, С и В (рис. 206)?

5. Как изготовить катушку, не создающую магнитного поля даже при значительной силе тока в ней?

6. Будет ли работать электромагнит, если по проводу катушки будет идти переменный ток?

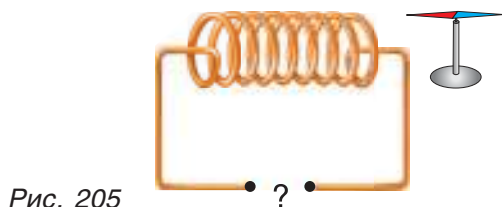


Рис. 205

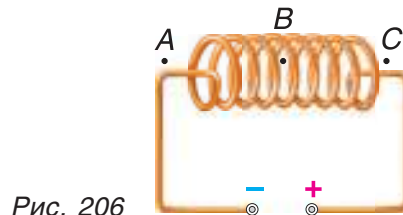
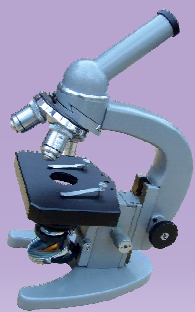


Рис. 206



Темы проектных заданий по главе «Электромагнитные явления»

1. Влияние электромагнитных полей на живые организмы.
2. Лампа накаливания и энергосберегающая: достоинства и недостатки.
3. Электропроводность овощей и фруктов.
4. КПД электрочайника и пути его повышения.
5. Электричество и медицина.
6. Пути экономного потребления электроэнергии в домашних условиях.



3

Световые явления

- Может ли человек обогнать свою тень?
- Почему изображение в зеркале можно назвать «оптическим привидением»?
- Почему очки близорукого человека не подходят дальнорозоркому?



Кто из нас не испытывал восторга от новогодней елки, сияющей разноцветными огнями (рис. 207)? А от чуда природы — полярного сияния (см. рис. 188)?

Свет очаровывает человека, дает возможность ему лучше понять окружающий мир. Однако роль света не сводится только к получению информации о явлениях природы.

Сам свет вызывает различные явления: химическую реакцию (на этом основана фотография, а также фотосинтез и др.), электрический ток (это явление легло в основу работы солнечных батарей, которые особенно важны для космических полетов) и т. д. Без света невозможна сама жизнь на Земле.

*Что же такое свет? Вопрос о природе света представляется одним из наиболее сложных. Раздел физики, изучающий свойства света, называется **оптикой**.*



Рис. 207



§ 32.

Источники света



Рис. 208



Рис. 209

Древние греки считали свет особым веществом, истекающим из глаз. Согласно этим представлениям, человек видит тела, прощупывая их направленным потоком этого вещества. Но тогда почему ночью человек не может видеть? Ответить на этот вопрос было невозможно. Позже И. Ньютоном была выдвинута гипотеза: свет — это поток частиц (корпускул), испускаемых светящимся телом. Корпускулярная теория объясняла возможность видеть предмет попаданием в глаз частиц, излучаемых этим предметом. Эта теория хорошо объясняла образование тени за непрозрачным телом. Однако и она не могла объяснить многие явления, например, такие как интерференция, дифракция (о них вы узнаете в старших классах).

Все тела, излучающие свет, называются **источниками света**. К ним относятся Солнце и другие звезды, зажженные свечи (рис. 208), лампочки, костры (рис. 209). Это тепловые источники света.

Источниками света являются различные светящиеся организмы: рачки, рыбы (рис. 210), жуки, грибы (рис. 211). Их называют источниками **холодного свечения**.

Существует много веществ, которые становятся источниками света только после того, как через них пропустят свет. Такие вещества называются **фотолюминофорами**, а их свечение — **фотолюминесценцией**.

Рассмотрим опыт. Растворим в воде немного флуоресцеина (рис. 212, а) и пропустим через раствор пучок белого света. Раствор начнет светиться зеленым светом (рис. 212, б).

Способность веществ светиться при их облучении используют в рекламе (рис. 213). В новогоднюю ночь вы наблюдали, как светятся елочные игрушки, покрытые такими веществами. Дорожные знаки (рис. 214), в краску которых добавлен люминофор, при облучении светом фар светятся и хорошо видны водителю. Это делает движение на дороге безопасным.

Уникальным источником света является лазер, нашедший эффективное практическое применение в телевидении, связи, медицине (рис. 215), машино- и приборостроении, метрологии. Именно лазер позволил ответить на вопрос: «Сколько сантиметров (заметьте, не километров, а сантиметров) от Земли до Луны?». Лазерные часы дают ошибку в 1 с за 300 млн лет. Большой вклад в развитие лазеров внес белорусский ученый Б. И. Степанов.



Рис. 210



Рис. 211

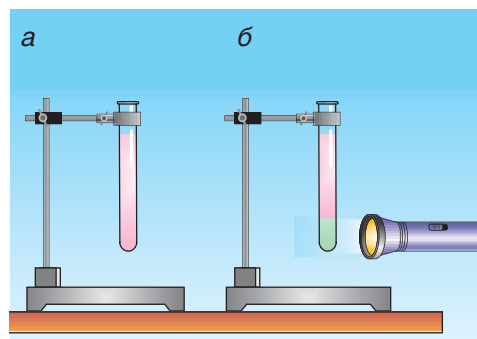


Рис. 212



Рис. 213



Рис. 214



Рис. 215



Рис. 216



Рис. 217

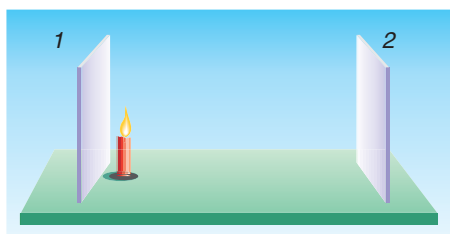


Рис. 218

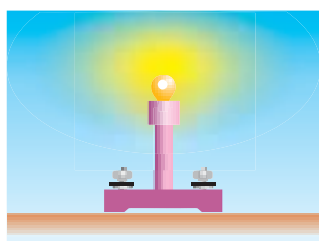


Рис. 219

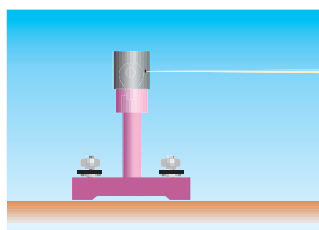


Рис. 220

Большинство видимых нами тел не излучают, а отражают падающий на них свет. Такими телами являются Луна, деревья, здания (рис. 216), люди, фликеры и т. д.

Отметим, что во всех источниках света в световую энергию превращается какой-либо вид энергии: тепловая, химическая, электрическая, световая (вспомните свечение раствора флуоресцеина) и т. д.

Источники излучения могут давать и невидимые лучи. Все вы, конечно, слышали об ультрафиолетовых лучах. Невидимыми лучами переносятся энергия от тела к телу при теплопередаче излучением (см. § 5). Однако в этом пособии мы будем рассматривать лишь **видимое излучение** источников света, иначе говоря, свет, который, попадая в глаз, вызывает зрительные ощущения. Это белый свет и составляющие его цвета от красного до фиолетового (рис. 217). Все цвета одновременно можно наблюдать в радуге.

Если размерами источника света в данных условиях можно пренебречь, то его называют *точечным*. Точечными источниками света для нас, например, являются звезды, лампы уличного освещения и др.

Посмотрите на рисунок 218. Пламя свечи по отношению к экрану 2 можно считать точечным источником света, но его нельзя принять за точечный по отношению к экрану 1. Объясните сами причину этого. В дальнейшем точечный источник света мы будем обозначать буквой *S*. Любой точечный источник излучает свет по всем направлениям (рис. 219).

Наденем на горящую электрическую лампочку колпак, имеющий небольшое отверстие (рис. 220). Из отверстия выходит узкий пучок света. **Линия, вдоль которой распространяется свет, называется световым лучом.** Чем меньше отверстие, тем в большей степени пучок света можно моделировать лучом.

▼ Для любознательных

Ничто в природе не было так неуловимо, ни один свой секрет природа не охраняла так тщательно, как секрет о том, что такое свет. Не случайно свет часто называли самым темным пятном в физике. Уже сам факт существования света вызывает ряд неизбежных вопросов. Например, имеет ли свет вес? Занимает ли он объем? Давит ли он на тело при падении на него? Горяч или холоден свет? Как быстро он распространяется? Почему свет не может пройти через тонкий лист картона, в то же время он легко проходит через толстое стекло? И целый ряд других вопросов, на которые мы будем искать ответы, изучая физику.

■ Главные выводы

1. Источники света — это тела, излучающие свет.
2. Источник света называется точечным, если его размерами в условиях данной задачи можно пренебречь.
3. Большинство окружающих нас тел мы видим благодаря отраженному свету.
4. Луч света — это линия, вдоль которой распространяется свет.

? Контрольные вопросы

1. Что такое источник света?
2. Какие источники света называют тепловыми? Приведите примеры.
3. Когда источник света можно считать точечным? Приведите примеры.
4. Какой вид энергии превращается в световую в источниках света: лампочке фонарика, светящихся рачках?
5. Что такое луч света?

➔ Домашнее задание

Возьмите картонную коробку, сделайте в ней несколько отверстий разного диаметра и покажите, из какого отверстия выходящий пучок света можно назвать лучом. В качестве источника света можно использовать мобильный телефон.



§ 33.

Скорость света. Прямолинейность распространения света

Измерить скорость света ученые пытались давно. Например, Галилей проводил такой опыт. На вершине одного из холмов (рис. 221) находился с фонарем его ассистент, на вершине другого холма — он сам. Ассистент должен был снять крышку со своего зажженного фонаря в тот момент, когда увидит вспышку света фонаря Галилея. Измерив промежуток времени между вспышкой своего фонаря и моментом, когда он увидел вспышку света фонаря ассистента, и зная расстояние между холмами, Галилей пытался определить скорость света. Однако измеряемый промежуток времени был так мал, что Галилей рассматривал его лишь как время реакции человека. Скорость же света он считал бесконечно большой.

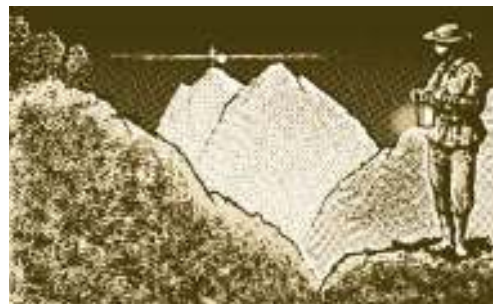


Рис. 221

Как показали последующие измерения, скорость света имеет конечную величину. Впервые ее значение удалось определить в 1676 г. датскому астроному О. Рёмеру. Многократно наблюдая за движением одного из спутников Юпитера (Ио), Рёмер обнаружил разницу между рассчитанным и наблюдаемым временем его затмения. По данным наблюдений, он получил значение скорости света, равное $215\,000 \frac{\text{км}}{\text{с}}$.

После Рёмера скорость света измеряли неоднократно все более совершенными методами. Более точные результаты были получены в опытах американского ученого А. Майкельсона. С ними вы познакомитесь в 11-м классе. Полученное им значение скорости света равнялось $299\,700 \frac{\text{км}}{\text{с}}$.

Принятое в настоящее время значение скорости света в вакууме (пустоте) равно $c = 299\,792\,458 \frac{\text{м}}{\text{с}}$. Если не требуется особая точность, то значение скорости округляется до $c = 300\,000\,000 \frac{\text{м}}{\text{с}} = 3 \cdot 10^8 \frac{\text{м}}{\text{с}}$.

Скорость света в вакууме является максимальной. Скорость света в воздухе, как показали опыты, отличается от этого значения лишь незначительно. В других прозрачных средах скорость света меньше, чем в воздухе, например:

в воде $v_{\text{в}} \approx 2,25 \cdot 10^8 \frac{\text{м}}{\text{с}}$;

в скипидаре $v_{\text{ск}} \approx 2,04 \cdot 10^8 \frac{\text{м}}{\text{с}}$;

в стекле $v_{\text{ст}} \approx 2,00 \cdot 10^8 \frac{\text{м}}{\text{с}}$;

в алмазе $v_{\text{ал}} \approx 1,24 \cdot 10^8 \frac{\text{м}}{\text{с}}$.

О среде, в которой свет распространяется с **меньшей скоростью**, говорят как об **оптически более плотной** и, наоборот, о среде, в которой свет распространяется **быстрее**, — как об **оптически менее плотной**. Обратите внимание, что слова «более (менее) плотный» *не связаны с плотностью ρ вещества*, в котором распространяется свет. Так, например, в скипидаре, плотность которого $\rho = 855 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ меньше плотности воды $\rho = 1000 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$, свет распространяется медленнее, чем в воде, — значит, скипидар является оптически более плотной, чем вода, средой.

А как распространяется свет? Проведем опыт. Поставим на столе три экрана с отверстиями (рис. 222). Зажжем свечу или электрическую лампочку и попытаемся, перемещая экраны, увидеть свет через отверстия в них. Затем возьмем тонкий прямой стержень и вставим его в отверстия. Мы увидим, что стержень проходит через все отверстия. Значит, они расположены на одной прямой. А теперь сместим один экран. Свет в глаз больше не попадает. Это говорит о том, что свет распространяется прямолинейно. В опыте средой, в которой распространялся свет, был воздух. А если взять другую среду, например воду, то как в ней будет распространяться свет?

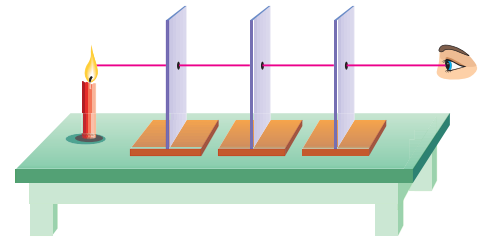


Рис. 222

Проведем опыт. В стеклянный сосуд нальем воду и добавим немного молока, чтобы луч стал видимым. Фонарь или лазерную указку, от которых идет пучок света, поднесем к стенке сосуда (рис. 223). Мы увидим в воде прямую светящуюся линию. Она образована светом, отраженным от частичек молока. Значит, и в воде свет распространяется прямолинейно. И воздух, и вода имеют по всему объему одинаковые физические свойства, поэтому являются *однородными средами*.

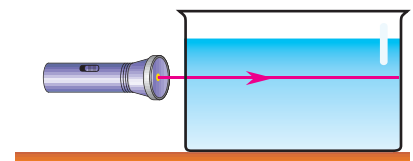


Рис. 223

Теперь можно сформулировать закон: **в однородной среде свет распространяется прямолинейно**.

А если среда неоднородна (состоит из нескольких различных однородных сред)? Тогда этот закон выполняется только в случае, когда световой луч падает перпендикулярно к поверхности среды (рис. 224, а). Во всех других случаях при

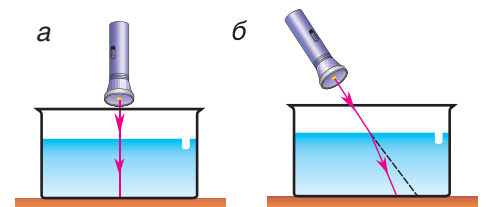


Рис. 224



Рис. 225

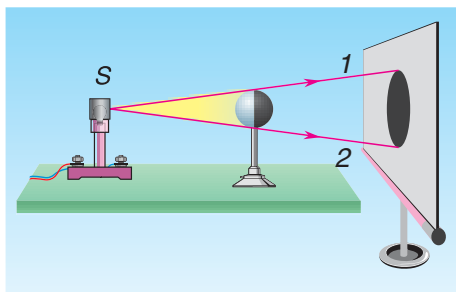


Рис. 226

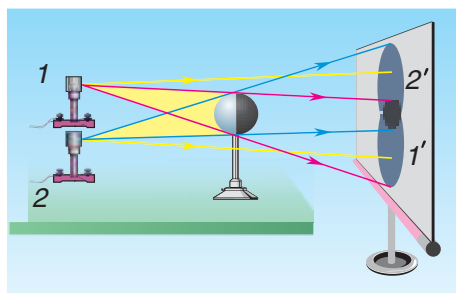


Рис. 227

переходе из одной среды в другую свет меняет свое направление (рис. 224, б).

С неоднородностью среды связано искривление лучей, приводящее к образованию миражей (рис. 225). Неоднородность среды есть следствие различной температуры соседних слоев воздуха.

Прямолинейностью распространения света объясняются многие явления, например образование тени и полутени. Возьмем миниатюрную электрическую лампочку, мячик и экран. Расположим их, как показано на рисунке 226. В область усеченного конуса между лучами 1 и 2 свет не попадает. На экране мы видим четко очерченную тень.

А теперь осветим мячик двумя лампочками (рис. 227). На экране мы увидим тень, т. е. область, куда не попадает свет ни от лампочки 1, ни от лампочки 2, и полутени (области 1' и 2'). В области 1' и 2' не попадает свет только от одной лампочки. Тень и полутень можно получить и от одного источника, если он не является точечным (рис. 228).

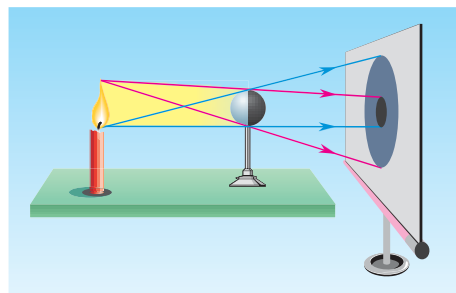


Рис. 228

▼ Для любознательных

Образованием тени и полутени можно объяснить солнечные и лунные затмения. Когда Луна оказывается между Землей и Солнцем, на поверхность Земли в область 2 солнечные лучи не попадают и жители этой местности оказываются свидетелями полного солнечного затмения (рис. 229). В области 1 и 3 свет попадает частично, это области полутени. Жители этих мест будут видеть ту часть Солнца, от которой в данную область попадает свет.

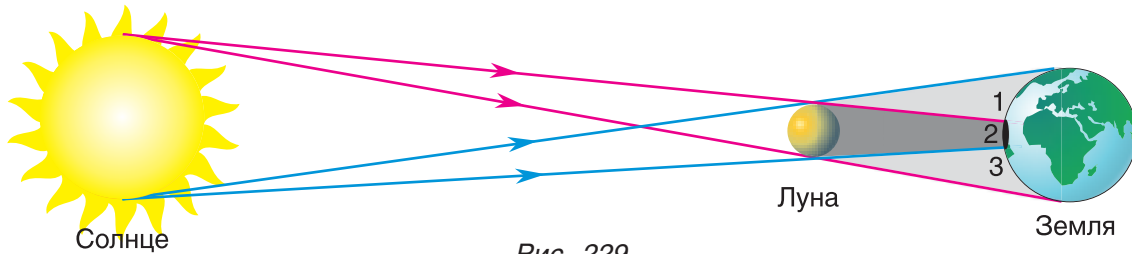


Рис. 229

■ Главные выводы

1. Скорость света в вакууме примерно равна $300\,000 \frac{\text{км}}{\text{с}}$.
2. Скорость света в прозрачных жидких и твердых средах меньше скорости света в воздухе.
3. Чем меньше скорость света в среде, тем среда оптически более плотная.
4. В однородных прозрачных средах свет распространяется прямолинейно.

? Контрольные вопросы

1. Почему так долго не могли измерить скорость света?
2. Чему равно максимальное значение скорости света?
3. В чем суть закона прямолинейного распространения света?
4. Как объяснить образование тени и полутени?

Упражнение 21

1. Можно ли, имея источник света, экран и непрозрачный предмет, получить: а) только тень; б) тень и полутень; в) только полутень? Как это сделать?

2. Сколько времени идет свет от Солнца до Земли, если расстояние между ними $l = 1,49 \cdot 10^8$ км?

3. Почему астрономы говорят: «Мы изучаем прошлое звезд»?

4. На какой высоте над поверхностью воды в бассейне глубиной воды $h = 3,9$ м нужно повесить лампочку, чтобы свет от нее шел в воздухе и воде одинаковое время?

5. Почему руки хирурга, освещаемые сверху светильниками (рис. 230), не дают на «операционном поле» тень, которая могла бы мешать проведению операции?



Рис. 230



§ 34.

Отражение света

Можем ли мы увидеть друг друга темной ночью? А если мы приблизимся к светящемуся фонарю? Именно благодаря отраженному свету мы видим предметы, различаем цвет одежды, любуемся картиной художника. Известно, что свет отражается от самых разных предметов. Например, и от белой стенки, и от зеркала. Но почему только в зеркале мы видим свое изображение? И почему мы при этом почти не видим самого зеркала и в магазине можем ошибочно протянуть руку не к яблоку, а к его изображению в зеркальной витрине?

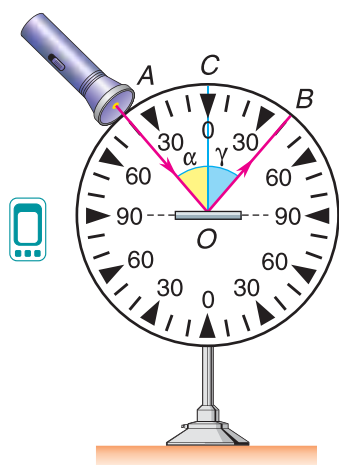


Рис. 231

Каким бывает отражение света? Какими законами оно описывается? Проведем опыт. На оптическом диске (рис. 231), представляющем собой круг с делениями, укрепим зеркало. Направим из осветителя (лампочка в футляре с отверстием) на зеркало пучок света (луч AO).

От зеркала (гладкая отполированная поверхность) световой луч AO практически полностью отразится (луч OB). Опустим в точку падения луча AO перпендикуляр CO к поверхности зеркала. Угол между падающим лучом и перпендикуляром, проведенным в точку падения, называется углом падения. Обозначим этот угол буквой α .

Угол, образованный отраженным лучом и тем же перпендикуляром, называется углом отражения. Обозначим его буквой γ . А теперь сравним эти углы. Из опыта видно, что углы отражения и падения равны:

$$\gamma = \alpha.$$

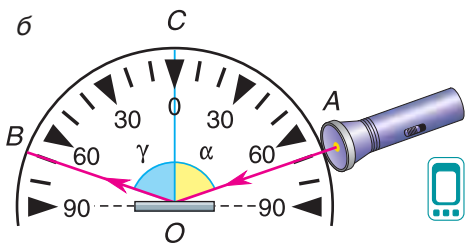
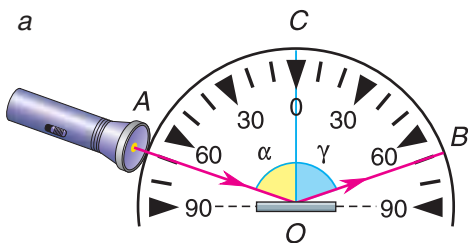


Рис. 232

Увеличим угол падения α , повернув осветитель влево. Угол отражения γ тоже увеличится (рис. 232, а). Но по-прежнему $\gamma = \alpha$.

То, что мы на оптическом диске видим не только падающий луч, но и отраженный, говорит о том, что они оба лежат в одной плоскости — плоскости диска.

На основании результатов опыта можно сформулировать законы отражения света.

1. Луч падающий, луч отраженный и перпендикуляр к отражающей поверхности, проведенный в точку падения, лежат в одной плоскости.

2. Угол отражения равен углу падения.

А теперь по направлению отраженного луча (см. рис. 232, а) пустим луч света от осветителя (см. рис. 232, б). Он отразится от зеркала и пойдет по направлению, по которому в предыдущем опыте шел падающий луч. Лучи и углы поменялись местами. Это свойство отраженного и падающего лучей называют *обратимостью* (или *взаимностью*) световых лучей.

Одинаково ли отражают свет различные поверхности?

Пусть на поверхность зеркала падают направленные лучи света. После отражения от него свет попадает в глаз только тогда, когда глаз находится в положении 2 (рис. 233, а). Если он будет находиться в положениях 1 или 3, то отраженные лучи в глаз не попадут. В этом особенность зеркал. Зеркально отражает свет поверхность воды (рис. 234).

А если поверхность шероховатая? Направленные лучи света отражаются в различных направлениях (рис. 233, б). Такое отражение называется *диффузным* (иногда говорят: *рассеянное* отражение).

В случае диффузного отражения поверхность видна при любом положении глаза, так как в него попадают отраженные лучи. Шероховатыми поверхностями, отражающими свет диффузно, являются поверхности стен, потолков, тканей, ваты, снега (рис. 235), кожи лица, рук и т. д. Только благодаря диффузному отражению мы видим предметы, которые сами не излучают свет.

Диффузно отражающие поверхности называют *матовыми*, зеркально отражающие — *блестящими*.

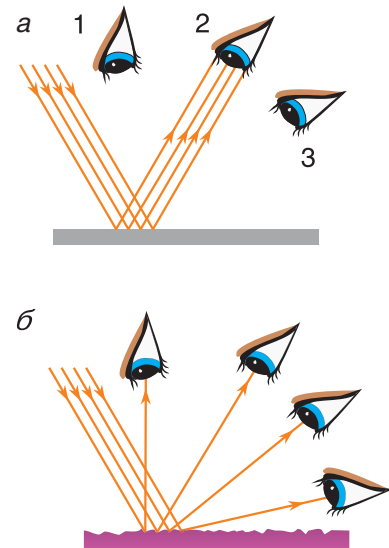


Рис. 233



Рис. 234



Рис. 235

Приведите сами примеры блестящих и матовых поверхностей.

Чем больше света отражает поверхность (чем меньше поглощает), тем она кажется светлее. Белый лист бумаги отражает света больше, чем серый картон, но этот же картон отражает света больше, чем черный бархат.

■ Главные выводы

1. Отраженный луч лежит в той же плоскости, что и падающий луч, и перпендикулярен к поверхности, проведенный в точку падения.
2. Угол отражения светового луча равен углу падения.
3. Световые лучи обладают свойством обратимости.
4. Зеркальные поверхности отражают свет направленно, шероховатые (матовые) — диффузно, т. е. по всем направлениям.

? Контрольные вопросы

1. Какой угол называют углом падения светового луча? Углом отражения?
2. Как изменится угол отражения, если угол падения уменьшится?
3. В чем выражается свойство обратимости падающего и отраженного лучей?
4. Какие поверхности отражают свет зеркально? Диффузно?
5. Почему матовую поверхность можно видеть с любого положения, а зеркальную — нет?

➔ Домашнее задание

С помощью источника света и листа картона с двумя отверстиями получите на экране тень и полутень непрозрачного предмета. Опишите эксперимент.



Пример решения задачи

Солнечные лучи образуют с горизонтом угол $\varphi = 40^\circ$. Как надо расположить плоское зеркало, чтобы отраженные лучи пошли вертикально вверх?

Дано:

$$\varphi = 40^\circ$$

σ — ?

Решение

Проведем отраженный луч OB (рис. 236, а). Угол AOB , равный $90^\circ - \varphi = 90^\circ - 40^\circ = 50^\circ$, — это сумма двух равных углов (падения и отражения от зеркала):

$$\alpha + \gamma = 2\alpha = 50^\circ.$$

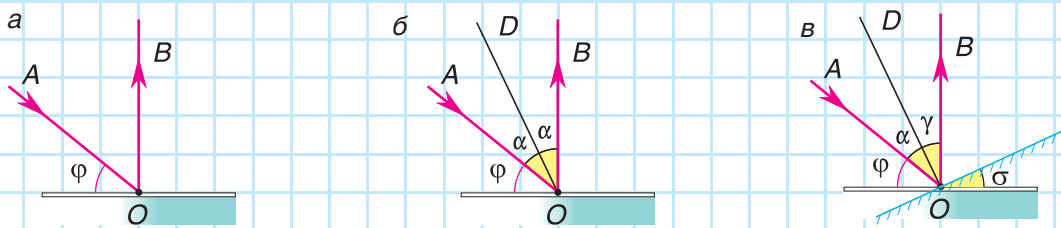


Рис. 236

Проведя биссектрису OD этого угла, мы получим положение перпендикуляра к зеркалу (рис. 236, б). Изобразим и само зеркало (рис. 236, в). Из чертежа видно, что искомый угол $\sigma = \gamma = \frac{50^\circ}{2} = 25^\circ$.

Ответ: $\sigma = 25^\circ$.

Упражнение 22

1. Под каким углом отражается луч, упавший перпендикулярно на зеркало? А упавший под углом $\varphi = 60^\circ$ к поверхности зеркала? Изобразите это на рисунке.

2. Почему поверхность классной доски должна быть матовой?

3. Зеркально или диффузно отражает свет поверхность Луны? Как это можно доказать, не используя данных космических полетов?

4. Туфли начинают блестеть, если их смазать кремом и почистить щеткой. Какие физические явления здесь проявляются?

5. Каким будет угол отражения, если луч падающий и луч отраженный образуют угол $\varphi = 70^\circ$? Подтвердите свой ответ чертежом.

6. Солнечные лучи образуют с горизонтом угол $\varphi = 38^\circ$. Как надо расположить плоское зеркало, чтобы осветить солнечным светом дно колодца?



7. На какой угол повернется отраженный луч, если, не меняя направления падающего луча, зеркало повернуть на угол $\varphi = 10^\circ$ относительно оси, перпендикулярной падающему лучу?

8. Почему отражение Луны на поверхности озера, покрытого рябью, кажется удлинённым?



§ 35.

Зеркала. Изображение в плоском зеркале



Рис. 237

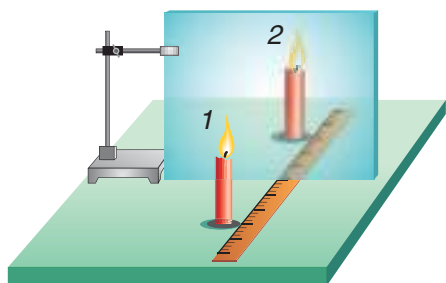


Рис. 238

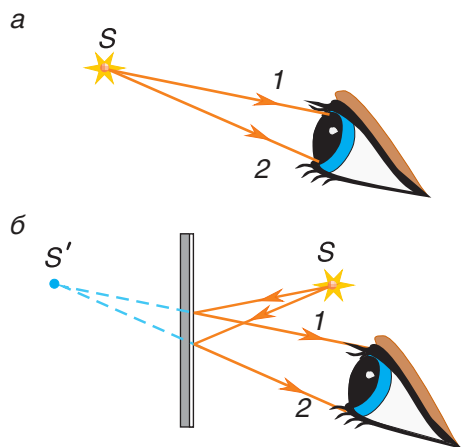


Рис. 239

Каждый день по несколько раз вы смотрите в зеркало и видите в нем свое изображение (рис. 237). Попробуем ответить на ряд вопросов. Где и на каком расстоянии от зеркала находится изображение? Каковы его размеры по сравнению с размерами самого предмета? Как образуется изображение?

Проведем опыт. На столе расположим вертикально стеклянную пластинку и зажженную свечу 1, как показано на рисунке 238. Стеклянная пластинка будет выполнять роль плоского зеркала. В стекле хорошо видно изображение свечи. Заглянув за пластинку, мы, конечно же, не обнаружим этой свечи.

Такую же по размерам, но незажженную свечу 2 будем перемещать с другой стороны пластинки до тех пор, пока она не совместится с изображением (не будет казаться зажженной). По линейке определим расстояние l_1 от пластинки до свечи 1 и l_2 — до ее изображения, т. е. свечи 2. Сравнив расстояния до обеих свечей, мы убедимся, что $l_1 = l_2$. Так как свеча 2 совместилась с изображением по высоте, то можно сделать вывод, что размеры изображения равны размерам предмета.

Продолжим опыт. Передвинем свечу 1 ближе к стеклянной пластинке. Ее изображение тоже приблизится, причем ровно на столько же, в чем легко убедиться с помощью линейки.

Положение изображения не изменится, если вместо стеклянной пластинки использовать плоское зеркало.

Из проведенных опытов следует, что в плоском зеркале глаз видит изображение таких же размеров, что и предмет, и на таком же расстоянии за зеркалом. Но что означает: «Глаз видит изображение»? Как глаз определяет местоположение предмета или его изображения?

Рассмотрим лучи 1 и 2 , попадающие в глаз (рис. 239, а). Эти лучи идут от светящейся точки S . А если лучи попадут в глаз не от самой светящейся точки, а отразившись от зеркала (рис. 239, б)? Глазу безразлично, как эти лучи идут до того момента, как попадают в него. Он будет фиксировать положение источника лучей (точки S) на пересечении продолжений попадающих в него лучей — в точке S' . Глаз увидит, что светящаяся точка находится именно там. Это мнимое изображение светящейся точки S , от которой в глаз попадают лучи 1 и 2 .

Значит, глаз видит и сам предмет (светящуюся точку), и его мнимое изображение только тогда, когда в него попадают лучи, идущие от предмета непосредственно или после отражения от зеркала и несущие световую энергию. Если таких лучей нет, то и изображение в глазу не создается.

Поясним еще раз, почему изображение S' в плоском зеркале называют мнимым. Мы можем увидеть это изображение. Но если мы поместим в точку S' устройства, чувствительные к световой энергии (фотопленку или просто белый экран), то ничего там не обнаружим. В эту точку энергия света не поступает.

Построим теперь изображение протяженного предмета (пламени свечи) в плоском зеркале. Найдем изображение двух крайних точек A и B . Для построения изображения каждой точки можно использовать два любых луча (рис. 240). Пусть луч 1 падает на зеркало в точку O перпендикулярно плоскости зеркала ($\alpha = 0^\circ$). Отраженный луч $1'$ пойдет вдоль падающего, но в обратном направлении ($\gamma = \alpha = 0^\circ$). Луч 2

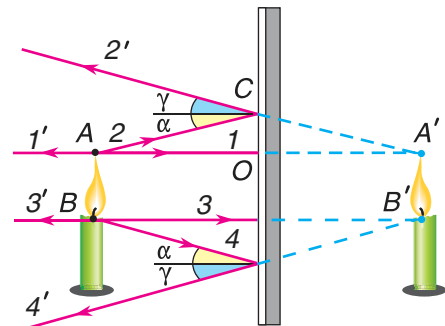


Рис. 240

падает под углом α и отражается под таким же углом γ . Из рисунка 240 видно, что отраженные лучи $1'$ и $2'$ не пересекаются. Пересекаются в точке A' их продолжения. Поэтому точка A' и есть изображение точки A , причем, как вы уже догадались, мнимое изображение. За зеркало не попадают световые лучи, а значит, и световой энергии в точке A' нет. Нетрудно доказать (сделайте это сами), что треугольники ACO и $A'CO$ равны. Тогда $AO = OA'$. Аналогично строится изображение точки B .

Итак, из опыта и построения следует:

изображение предмета в плоском зеркале является мнимым, прямым, по размерам равным предмету и находится на таком же расстоянии за зеркалом, на котором расположен предмет перед зеркалом.

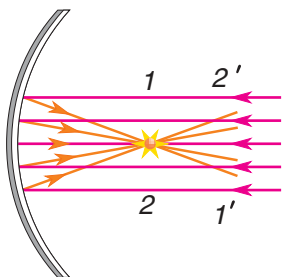


Рис. 241

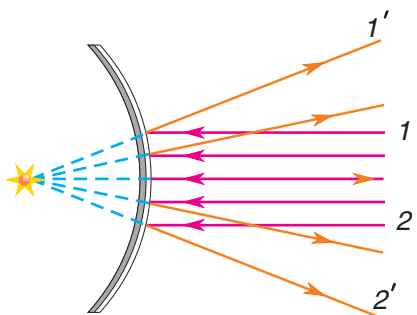


Рис. 242



Рис. 243



Рис. 244

Рис. 245

▼ Для любознательных

Важную роль играют зеркала, отражающие поверхности которых являются кривыми: вогнутыми (рис. 241) или выпуклыми (рис. 242). Если зеркало вогнутое, оно может параллельно падающие лучи после отражения собрать в одну точку, т. е. сконцентрировать световую энергию. Выпуклое зеркало, наоборот, после отражения дает расходящийся пучок света.

Зеркала применяются в различных сферах жизнедеятельности человека: в быту, медицине (рис. 243), транспорте, для оформления помещений и т. д.

▼ Для любознательных

Выпуклые зеркала используются в автомобилях (рис. 244), на станциях метро (рис. 245), на перекрестках улиц для обзора окрестности. Они обеспечивают гораздо более широкий обзор, чем плоские. Вогнутые зеркала используются там, где необходимо сконцентрировать световую энергию, например в зеркальном телескопе (рис. 246). С его помощью можно наблюдать даже неяркие далекие звезды.



Рис. 246



■ Главные выводы

1. Световые лучи, падающие на зеркало, отражаются и за зеркало не попадают.
2. Изображением светящейся точки в плоском зеркале является точка пересечения продолжения лучей, отраженных от поверхности зеркала.
3. Плоское зеркало дает мнимое, прямое изображение предмета, равных с ним размеров и на таком же расстоянии, что и предмет, от зеркала.

? Контрольные вопросы

1. Почему для построения изображения светящейся точки недостаточно одного луча света, исходящего из нее?
2. Почему изображение светящейся точки в плоском зеркале мнимое?
3. Как доказать, что размеры предмета и изображения в плоском зеркале равны?
4. Почему иногда изображение в плоском зеркале называют «оптическим привидением»?
5. Какую роль в получении изображения предмета в зеркале играет глаз?

Упражнение 23

1. Где находится плоское зеркало, если эмблема A чемпионата мира по хоккею (Минск, 2014 г.) и ее изображение A' расположены так, как показано на рисунке 247?

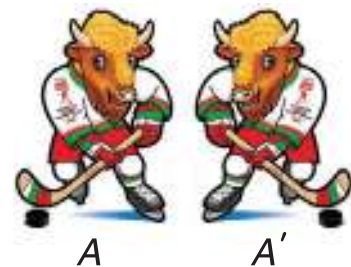


Рис. 247

2. Зеркало, глаз и светящаяся стрелка расположены, как показано на рисунке 248. Где наблюдатель увидит изображение стрелки? Докажите это построением изображения.

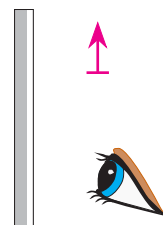


Рис. 248

3. Сидя в автобусе, вы иногда видите в зеркале в кабине водителя его лицо. Видит ли водитель в этом зеркале ваше лицо? Почему?

4. Можно ли утверждать, что изображение предмета в плоском зеркале (рис. 249) абсолютно идентично (одинаково) предмету?



Рис. 249

5. По крышке стола катится шарик. Как надо установить на столе плоское зеркало, чтобы изображение шарика двигалось вертикально: а) вверх; б) вниз?

6. Можно ли сфотографировать изображение в зеркале? Проверьте на опыте и объясните.



§ 36.

Преломление света



Рис. 250



Рис. 251

Почему ноги человека, зашедшего в воду, кажутся короче (рис. 250)? Дно бассейна мы видим ближе к поверхности, чем есть в действительности. Ложка в стакане на уровне поверхности воды (рис. 251) кажется переломленной. Как объяснить эти явления?

Когда пучок света падает на границу раздела двух прозрачных сред, часть его отражается, а часть переходит в другую среду, изменяя свое направление (рис. 252).

Изменение направления распространения света при переходе его через границу раздела двух сред называется преломлением.

Каким законам подчиняется преломление света?

Рассмотрим опыт. В центре оптического диска закрепим стеклянный полудиск (рис. 253), направим на него узкий пучок света (луч 1). Луч 3 — преломленный луч.

Угол β между перпендикуляром, проведенным в точку падения к границе раздела двух сред, и преломленным лучом называется углом преломления.

Сравнив углы α и β (см. рис. 253), мы видим, что угол преломления β меньше угла падения α .

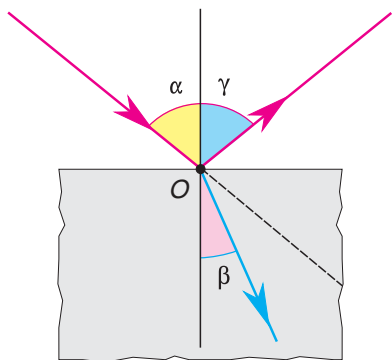


Рис. 252

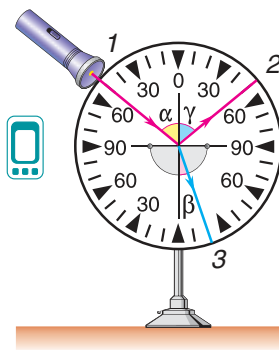


Рис. 253

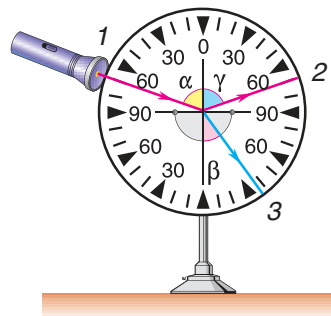


Рис. 254

Увеличим угол падения (рис. 254). Угол преломления тоже увеличивается, но он по-прежнему меньше угла падения.

Если стекло заменить водой и пустить световой луч под тем же углом α (рис. 255, а), что и на стеклянный полудиск, то угол преломления β в воде будет несколько больше, чем в стекле, но меньше угла падения: $\beta < \alpha$. Сравним скорости света в воздухе, воде и стекле: $v_{\text{возд}} > v_{\text{в}} > v_{\text{ст}}$, т. е. стекло оптически более плотная среда, чем вода, а вода — чем воздух. Следовательно, при переходе луча из оптически менее плотной в оптически более плотную среду угол преломления меньше угла падения.

А если луч переходит из воды в воздух?

Из опыта (рис. 255, б) видно, что угол β больше угла α . Значит, если свет переходит из среды оптически более плотной в оптически менее плотную, то угол преломления больше угла падения. Этот вывод логически следует из свойства обратимости, которое характерно не только для падающего и отраженного лучей, но и для падающего и преломленного лучей.

Из результатов проведенных опытов следует.

1. Луч падающий и луч преломленный лежат в одной плоскости с перпендикуляром, проведенным в точку падения луча к границе раздела двух сред.

2. Угол преломления меньше угла падения при переходе луча из оптически менее плотной среды в оптически более плотную среду. Угол преломления больше угла падения, если луч переходит из оптически более плотной среды в оптически менее плотную.

Эти два главных положения выражают суть явления преломления света. Однако, когда луч падает перпендикулярно на границу раздела двух сред ($\alpha = 0^\circ$), он не испытывает преломления, что можно подтвердить опытом (рис. 256).

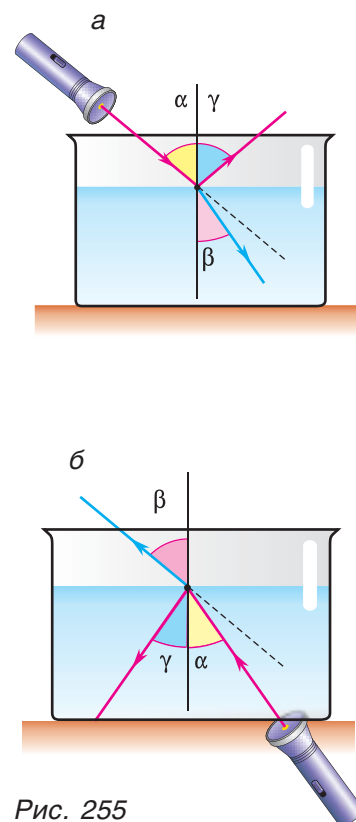


Рис. 255

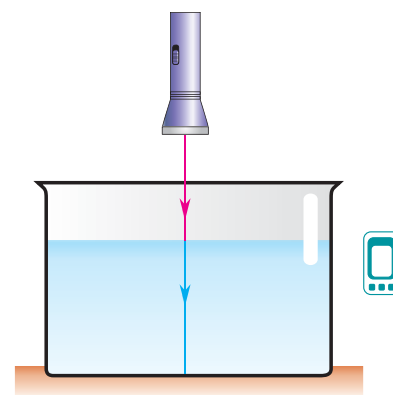


Рис. 256

■ Главные выводы

1. При переходе из одной среды в другую световой луч на границе раздела сред в большинстве случаев испытывает преломление (изменяет направление).
2. Луч, падающий перпендикулярно к границе раздела двух сред, не испытывает преломления.
3. Если луч переходит из оптически менее плотной среды в оптически более плотную, угол преломления меньше угла падения ($\beta < \alpha$). При переходе луча из оптически более плотной среды в менее плотную угол преломления больше угла падения ($\beta > \alpha$).

? Контрольные вопросы

1. Какие явления происходят со световым лучом на границе раздела двух сред?
2. Как зависит изменение направления луча при переходе из одной среды в другую от скорости распространения света в них?
3. Может ли угол преломления быть больше угла падения? В каких случаях?
4. Возможен ли переход луча света из одной среды в другую без преломления?
5. В каких пределах может изменяться угол преломления при переходе луча из воды в воздух? Почему?

➔ Домашнее задание

Для наблюдения из окопа за событиями, происходящими на поверхности земли, используют перископ (от греч. *periskopéō* — смотрю вокруг). Простейшая схема зеркального перископа показана на рисунке 257. Объясните действие перископа. Сконструируйте дома перископ и наблюдайте, сидя на полу, за тем, что происходит за окном.

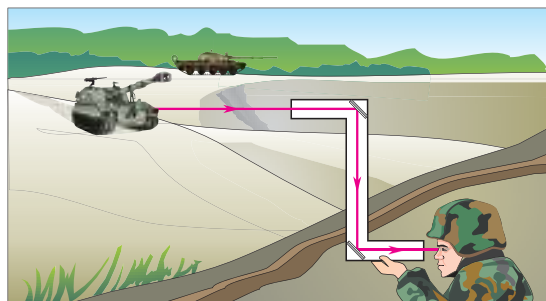


Рис. 257

Упражнение 24

1. Изобразите примерный ход преломленного луча в данных средах (рис. 258), луч 1 — падающий.

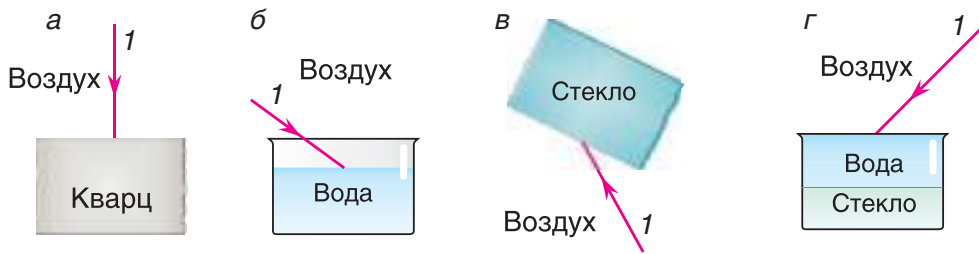


Рис. 258

2. Луч света падает из воздуха под одним и тем же углом на поверхности воды, стекла и алмаза. Для какой из сред угол преломления будет наибольшим? Наименьшим? Покажите это на чертеже.

3. По каким направлениям надо пустить лучи в алмазе, стекле и воде, чтобы вышедшие из них в воздух лучи (рис. 259) оказались параллельными?

4. Как изменится ширина пучка параллельных лучей после преломления его на границе сред воздух — вода? Сделайте чертеж, поясняющий ответ.



5. Человеку, стоящему на берегу, кажется, что ноги человека, зашедшего в воду, стали короче. Объясните с помощью чертежа этот оптический обман.



6. Два мальчика, один из которых находится под водой, а другой — на берегу, оценивают на глаз высоту Солнца над горизонтом. Какому из них Солнце будет казаться ниже?

7. Пластика из стекла прижата к пластинке из сапфира. На границу их раздела падают лучи 1 и 2. Направление распространения луча 1 в стекле и сапфире показано на рисунке 260. Покажите примерное направление распространения в стекле преломленного луча 2. Ответ поясните.

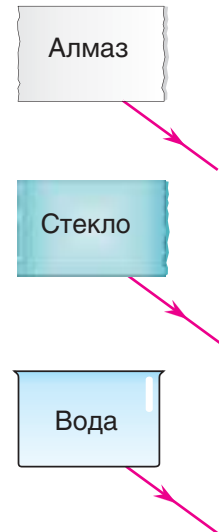


Рис. 259



Рис. 260



§ 37.

Линзы. Оптическая сила линзы

Многие люди носят очки. А задумывались ли вы над вопросами: что собой представляют стекла очков и какова их роль? Стекла очков есть не что иное, как линзы. Ни один оптический прибор (от простой лупы до сложных телескопов) не обходится без линз. Что же такое линза?

Линза представляет собой прозрачное тело, ограниченное криволинейными (чаще всего сферическими) или криволинейной и плоской поверхностями. Материалом для линз обычно служит оптическое или органическое стекло.

На рисунках 261, 262 представлены сечения линз двух типов: *двояковыпуклой* (см. рис. 261) и *двояковогнутой* (см. рис. 262). Одна из поверхностей линзы может быть плоской, как, например, на рисунке 263. Такие линзы называются *плосковыпуклая* (см. рис. 263, а) и *плосковогнутая* (см. рис. 263, б).

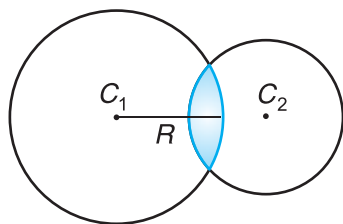


Рис. 261

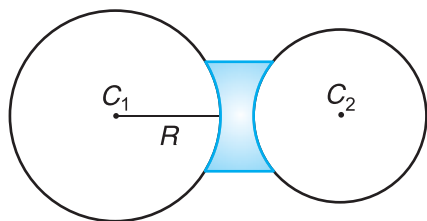


Рис. 262

Прямая, проходящая через центры C_1 и C_2 сферических поверхностей (рис. 264), называется *главной оптической осью линзы*. Радиусы R_1 и R_2 есть радиусы кривизны поверхностей линзы (см. рис. 264).

Если толщина линзы мала по сравнению с радиусами R_1 и R_2 кривизны ее поверхностей (см. рис. 264), то линза называется *тонкой*. Ее часто изображают $\uparrow$ или $\downarrow$. Всякая тонкая линза имеет точку, проходя через которую, луч не меняет своего направления (лучи 1 и 2 на рисунке 264). Эта точка O называется *оптическим центром линзы*. В дальнейшем мы будем рассматривать только тонкие линзы, изготовленные из вещества, оптически более плотного, чем среда (воздух), в которой они находятся.

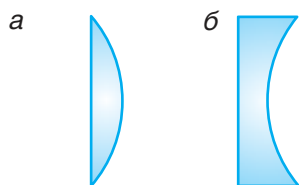


Рис. 263

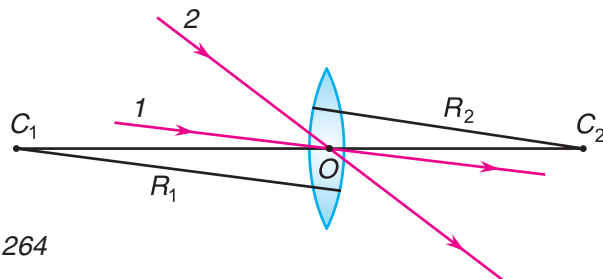


Рис. 264

Как линзы меняют направление падающих на них лучей после преломления? Ответ получим с помощью опыта.

Направим на двояковыпуклую линзу (рис. 265, а) параллельно главной оптической оси лучи света. После преломления в линзе они пересекают главную оптическую ось в одной точке F . Значит, двояковыпуклая линза собирает преломленные лучи, поэтому такая линза называется **собирающей**. Также превращают параллельный пучок в сходящийся линзы 2, 3, изображенные на рисунке 270 (с. 147). При замене линзы на двояковогнутую (рис. 265, б) лучи после преломления в линзе расходятся, а центральный луч, как и в первом случае, не испытывает преломления. Итак, двояковогнутая линза рассеивает параллельный пучок падающих на нее лучей, поэтому такая линза называется **рассеивающей**. Рассеивают параллельный пучок и линзы 5, 6 (см. рис. 270).

Точка F (см. рис. 265, а, рис. 266, а), в которой пересекаются преломленные линзой лучи, падающие параллельно главной оптической оси, или их продолжения (см. рис. 265, б, рис. 266, б), называется **главным фокусом линзы**. Так как параллельные лучи можно пустить как с одной, так и с другой стороны линзы, то и главных фокуса у линзы два. Оба фокуса лежат на главной оптической оси симметрично относительно оптического центра линзы (см. рис. 266). А в какой точке собирает линза лучи, идущие под углом к главной оптической оси? Оказывается, в точке F_1 , которая находится в плоскости $A-A_1$ (см. рис. 266, а), проходящей через главный фокус перпендикулярно главной оптической оси. Эта плоскость называется **фокальной плоскостью**, а точка F_1 , в отличие от главного фокуса, называется **фокусом**.

Обратите внимание, что у собирающей линзы в фокусе пересекаются сами преломленные лучи, несущие энергию, поэтому фокус называется **действительным**. У рассеивающей линзы в фокусе

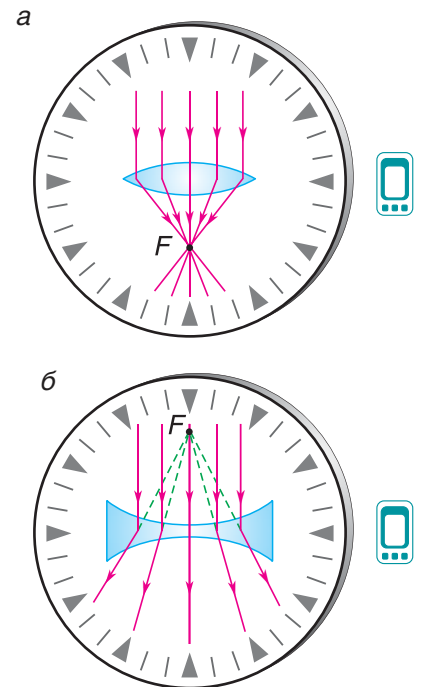


Рис. 265

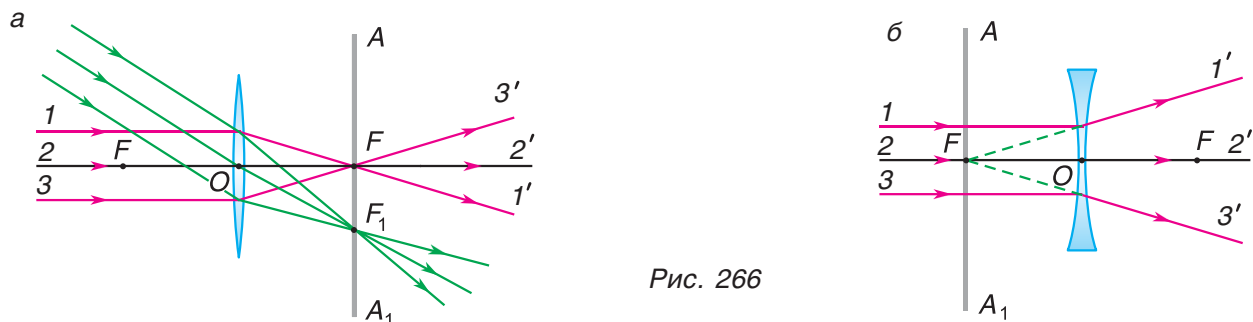


Рис. 266

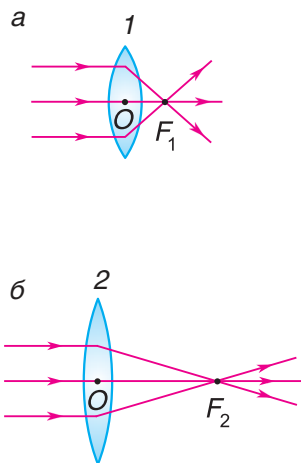


Рис. 267

пересекаются *продолжения преломленных лучей*. Такой фокус называют **мнимым**.

Расстояние от оптического центра до главного фокуса называется **фокусным расстоянием**. Его тоже принято обозначать буквой F .

Линза, имеющая более выпуклые поверхности, преломляет лучи сильнее. Линза 1 (рис. 267, а) преломляет лучи сильнее, чем линза 2 (рис. 267, б). Фокусное расстояние F_1 у линзы 1 меньше, чем F_2 у линзы 2.

Чтобы количественно оценить преломляющую способность линзы, введем величину, обратную фокусному расстоянию, и назовем ее **оптической силой линзы** (обозначается буквой D):

$$D = \frac{1}{F}.$$

Оптическая сила измеряется в **диоптриях** (сокращенно **дптр**). Очевидно, что $D = 1$ дптр, если фокусное расстояние линзы $F = 1$ м.

А как оценивается оптическая сила рассеивающей линзы, у которой фокус мнимый? В этом случае фокусное расстояние считается отрицательным, а следовательно, и оптическая сила — отрицательной величиной.

Например, если $F = -0,5$ м, то оптическая сила

$$D = \frac{1}{-0,5 \text{ м}} = -2 \text{ дптр}.$$

Теперь для вас не будет загадкой рекомендация врача-окулиста: «Вам нужны очки со стеклами +1,5 диоптрии или -2 диоптрии».

▼ Для любознательных

Не следует думать, что любая линза с выпуклой поверхностью будет обязательно собирающей, а с вогнутой — рассеивающей. Собирающей является всякая линза, у которой середина толще краев (например, линзы 1, 2, 3 на рисунке 270), а рассеивающей — линза, у которой середина тоньше краев (см. рис. 270, линзы 4, 5, 6). И не забывайте, что все наши рассуждения справедливы, если вещество линзы (стекло) имеет бóльшую оптическую плотность, чем окружающая среда (воздух).

В природе собирающими линзами являются капельки росы, в быту — наполненные водой прозрачные сосуды — кувшин, пластиковая бутылка. Подумайте и ответьте, какие это линзы.

■ Главные выводы

1. Линзы меняют направление падающих на них лучей после преломления, за исключением тех, которые проходят через оптический центр линзы.
2. Собирающая линза после преломления делает параллельный пучок лучей сходящимся, рассеивающая линза — расходящимся.
3. Лучи, идущие параллельно главной оптической оси, после преломления в собирающей линзе пересекаются в главном фокусе. В рассеивающей линзе в главном фокусе пересекаются продолжения преломленных лучей.
4. Величина, обратная фокусному расстоянию, определяет оптическую силу линзы.

? Контрольные вопросы

1. Какую линзу называют тонкой?
2. Каким особым свойством обладает оптический центр тонкой линзы?
3. Как ведет себя параллельный пучок лучей, прошедший через: а) собирающую линзу; б) рассеивающую линзу?
4. Почему у собирающей линзы фокус называют действительным, а у рассеивающей — мнимым?
5. Как зависит оптическая сила линзы от фокусного расстояния?

Упражнение 25

1. Для данных линз (рис. 268, а, б) покажите ход лучей 1, 2 после преломления линзами.

2. Покажите ход лучей, падающих на тонкие собирающую и рассеивающую линзы (рис. 269, а, б).

3. По форме ограничивающих поверхностей сферические линзы можно разделить на 6 типов (см. рис. 270). С линзами 1, 2, 4, 5 вы уже знакомы. Линза 3 — вогнуто-выпуклая, линза 6 — выпукло-вогнутая. Какие из линз имеют положительную оптическую силу? Какие отрицательную? При каких условиях?

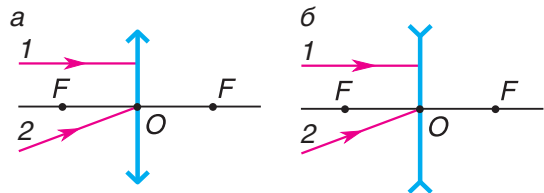


Рис. 268

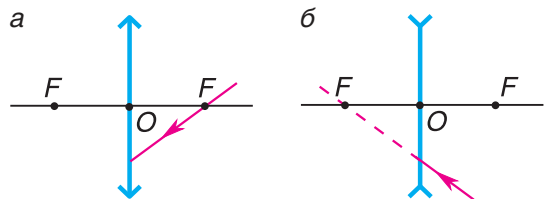


Рис. 269

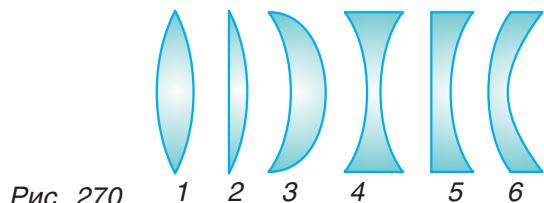


Рис. 270



§ 38.

Построение изображений в тонких линзах

Глядя в окуляр микроскопа на уроках биологии, задумывались ли вы, как получается увеличенное изображение клеток? Главными частями микроскопа являются линзы. Именно они позволяют получать увеличенное или уменьшенное (например, в фотоаппарате) изображение предмета.

Какие изображения предмета создает линза?

Проведем опыт. На столе расположим экран, собирающую линзу и зажженную свечу (рис. 271, а), удаленную от линзы на расстояние d , большее, чем удвоенное фокусное, т. е. $d > 2F$. Будем передвигать экран до тех пор, пока не увидим на нем четкое изображение пламени свечи. Чем оно отличается от изображения, которое мы увидим в зеркале, поместив перед ним эту же свечу? Во-первых, оно уменьшенное, во-вторых, перевернутое. Но самое главное, что это изображение, в отличие от мнимого изображения в зеркале, реально существует. На экране концентрируется энергия света. Чувствительный термометр, помещенный в изображение пламени свечи, покажет повышение температуры. Поэтому полученное в линзе изображение называют действительным, в отличие от мнимых изображений, наблюдаемых в плоском зеркале.

Подтвердим сказанное построением (рис. 271, б). Для получения изображения точки A достаточно использовать два луча, ход которых после преломления в линзе известен. Луч 1 идет параллельно главной оптической оси и после преломления в линзе проходит через главный фокус. Луч 2 идет через оптический центр и не меняет своего направления после прохождения сквозь линзу. Точка A' , являющаяся пересечением прошедших линзу лучей 1' и 2', есть действительное изображение точки A . Заметим, что через точку A пройдет и любой другой преломленный луч, идущий от точки A , благодаря чему энергия, излученная точкой A пламени свечи, будет сконцентрирована в точке A' .

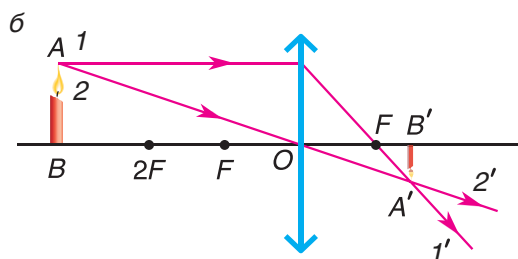
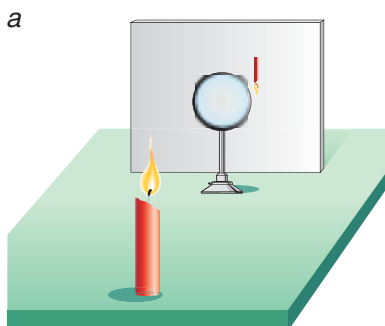


Рис. 271

Продолжим опыт. Поставим свечу на расстоянии $d = 2F$. Перемещая экран, мы увидим на нем действительное, перевернутое изображение пламени свечи, но размер его будет равен размеру пламени самой свечи (рис. 272). Сделайте сами построение изображения для этого случая.

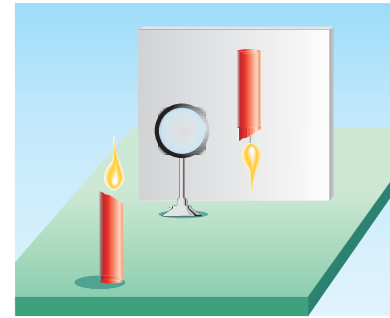


Рис. 272

Передвигая свечу ближе к линзе ($F < d < 2F$) и удаляя экран, мы увидим на нем действительное, перевернутое, увеличенное изображение пламени свечи (построение сделайте сами).

Наконец поставим свечу на расстоянии d от линзы, меньше фокусного, т. е. $d < F$. С той же стороны, где находится сама свеча, можно увидеть увеличенное, прямое изображение свечи (рис. 273, а). Подтвердим этот результат построением (рис. 273, б). Изображение свечи будет мнимым, так как оно образовано пересечением не самих преломленных лучей, а их продолжений. Такое прямое, увеличенное, мнимое изображение наблюдает через линзу (она называется лупой) мастер, ремонтирующий ваши часы или мобильный телефон (рис. 274).

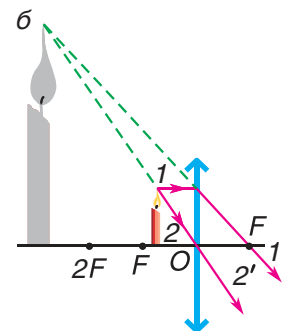


Рис. 273

А какие изображения предмета дает рассеивающая линза? Пусть параллельно главной оптической оси падает луч 1 (рис. 275). После линзы преломленный луч 1' идет так, что только его продолжение проходит через фокус. Луч 2 не испытывает преломления. Видно, что лучи 1' и 2' не пересекаются. В точке A' пересекаются их продолжения. Тогда изображение точки A, а значит, и всего предмета AB — мнимое. Как все мнимые



Рис. 274

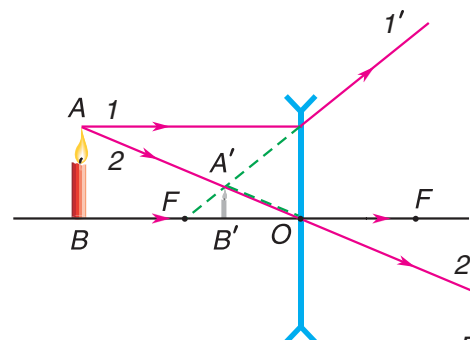


Рис. 275

изображения, оно прямое, но уменьшенное. Даст ли рассеивающая линза действительное изображение, если менять положение предмета? Может ли оно быть увеличенным? Ответьте на эти вопросы сами, сделав соответствующие построения изображений предмета в тетради.

■ Главные выводы

1. Собирающая линза дает как действительные, так и мнимые изображения, рассеивающая — только мнимые.
2. Все мнимые изображения — прямые, все действительные — перевернутые.
3. Для нахождения изображения точки наиболее целесообразно использовать луч, идущий параллельно главной оптической оси линзы, и луч, идущий через ее оптический центр.

? Контрольные вопросы

1. Чем отличаются действительные изображения от мнимых?
2. Какие виды изображений дает собирающая линза?
3. На каком расстоянии от собирающей линзы нужно расположить предмет, чтобы получить изображение: а) уменьшенное; б) равное предмету; в) увеличенное (прямое и перевернутое)?
4. Какие изображения дает рассеивающая линза? Почему она не может давать действительных изображений?
5. Какие лучи целесообразно использовать, чтобы найти изображение точки?
6. Может ли двояковогнутая линза дать действительное изображение предмета?



Пример решения задачи

С помощью стеклянной линзы на экране, удаленном от линзы на расстояние $f = 36$ см, получено увеличенное в 3 раза изображение предмета. Определите расстояние от предмета до линзы и оптическую силу линзы.

Дано:

$$H = 3h$$

$$f = 36 \text{ см}$$

$$d = ?$$

$$D = ?$$

Решение

Построим изображение предмета в линзе (рис. 276). Поскольку изображение есть на экране, то оно действительное. Кроме того, оно увеличенное, значит, предмет находится между фокусом и двойным фокусом, а линза собирающая.

По условию размер предмета AB в 3 раза меньше размера изображения $A'B'$. Из подобия треугольников AOB и $A'OB'$ следует, что таким же будет и соотношение их сторон BO и OB' . Значит, искомое расстояние d будет в 3 раза меньше заданного расстояния f . Это дает первый ответ: $d = \frac{1}{3}f = 12$ см. Для ответа на второй вопрос используем подобие другой пары треугольников — CFO и $A'FB'$. И здесь подобные стороны треугольников различаются в 3 раза. Так как одна из них — OF равна фокусному расстоянию F линзы, а другая — FB' равна разности $f - F$, то их связь можно записать так: $3F = f - F$, или $4F = f = 36$ см. Вычислив значение фокусного расстояния $F = \frac{1}{4}f = 9$ см, найдем и искомое значение оптической силы D линзы: $D = \frac{1}{F} = \frac{1}{0,09 \text{ м}} \approx 11$ дптр.

Ответ: $d = 12$ см; $D \approx 11$ дптр.

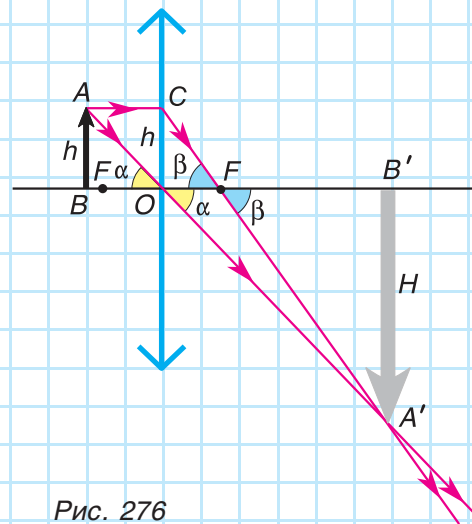


Рис. 276

Упражнение 26

1. Найдите построением положение фокальной плоскости представленной на рисунке 277 тонкой линзы.

2. Чему равна оптическая сила комбинации трех стеклянных линз (рис. 278): двояковогнутой и двух плосковыпуклых?

3. Изображение S' светящейся точки S относительно главной оптической оси CC' показано на рисунке 279, а, б. Какая была использована линза? Определите построением ее положение.

4. Свеча находится на расстоянии $d = 20$ см от линзы, а ее изображение на экране — на расстоянии $f = 60$ см от линзы. Во сколько раз размеры изображения отличаются от размеров самой свечи? Чему равна оптическая сила линзы?

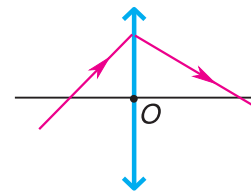


Рис. 277



Рис. 278

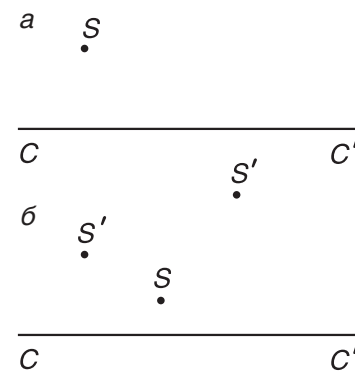


Рис. 279



§ 39.

Глаз как оптическая система



Рис. 280

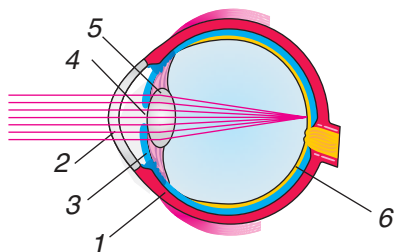


Рис. 281

Благодаря зрению (рис. 280) весь живой мир получает основную часть информации. Мы уже знаем, что гипотеза об «ощупывающих», истекающих из глаз лучах была несостоятельной. Известно также, что мы можем видеть только те объекты, от которых в наш глаз поступает свет, излученный самим объектом или отраженный от него. Но что происходит в нашем глазу при попадании света? Почему мы не можем видеть очень малые и очень далекие предметы? Что представляет собой глаз человека?

Схема глаза человека (*глазного яблока*) представлена на рисунке 281. Наружная оболочка глаза — *склера 1* сформирована из плотных соединительных волокон. Склера защищает глаз и обеспечивает его жесткость. В передней части глаза склера переходит в прозрачную *роговицу 2*. Роговица — оптически наиболее плотная среда глаза, она пропускает свет в глаз. За роговицей находится *радужная оболочка 3*, содержащая пигмент, который определяет цвет глаз. В центре радужной оболочки находится *зрачок 4*. Зрачок, сужаясь или расширяясь, дозирует количество световой энергии, попадающей в глаз. На свету зрачок сужается, в темноте зрачок расширяется, позволяя улавливать очень слабые световые пучки. За радужной оболочкой находится прозрачное эластичное тело — *хрусталик 5*, напоминающий по форме двояковыпуклую линзу. Усилиями специальных мышц хрусталик может увеличивать или уменьшать свою кривизну. Это увеличивает или уменьшает его оптическую силу. Полость между роговицей и хрусталиком заполнена прозрачной жидкостью — *водянистой влагой*. За хрусталиком почти вся область глаза заполнена *стекловидным телом* — это студенистая, прозрачная масса. **Роговица, водянистая влага, хрусталик и стекловидное тело — все вместе составляют оптическую систему глаза.** Внутренняя оболочка — *сетчатка 6* содержит слой зрительных клеток и несколько слоев нервных клеток. Именно здесь идет преобразование световой энергии, попавшей в глаз от предмета, в нервный импульс. Он передается в головной мозг, где и формируется зрительный образ.

Итак, чтобы четко видеть предмет, необходимо, чтобы глаз сфокусировал лучи, идущие от предмета, на сетчатке (см. рис. 281).

Мы хорошо видим как близкие, так и далекие предметы. Водитель автомобиля четко видит цифры на спидометре, а в следующее мгновение так же хорошо — удаленный дорожный знак. Во всех случаях попавший от предметов в глаз свет должен фокусироваться в одном месте (на сетчатке).

Хрусталик глаза, изменяя свою форму, меняет оптическую силу системы. Это называется *аккомодацией* глаза. При приближении предмета хрусталик становится более выпуклым, его фокусное расстояние уменьшается так, чтобы изображение оказалось именно на сетчатке. При удалении предмета хрусталик вытягивается, фокусное расстояние увеличивается настолько, что изображение снова оказывается на сетчатке (рис. 282). Таким образом, благодаря аккомодации глаза человек хорошо видит разноудаленные предметы.

Для нормального зрения минимальное расстояние от глаза до предмета равно 25 см. Это расстояние наилучшего видения. При меньших расстояниях до предмета глаз напрягается и утомляется. Утомляемости глаза способствует как недостаточное освещение, так и излишнее. Помните: чтобы глаз как самое открытое окно в мир прослужил долго, необходимо его беречь, создавать условия для его ненапряженной работы.

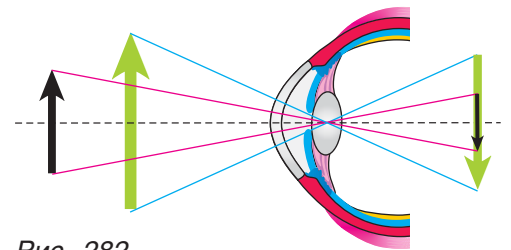


Рис. 282

■ Главные выводы

1. Глаз, сочетающий несколько преломляющих сред, является эквивалентом короткофокусной собирающей линзы.
2. Видение предметов есть совместная деятельность оптической системы глаза и головного мозга.
3. Четкость изображений разноудаленных предметов на сетчатке глаза достигается изменением кривизны хрусталика (аккомодацией глаза).

? Контрольные вопросы

1. Какую роль в создании зрительного образа играет оптическая система глаза?
2. Почему световые лучи, идущие от предмета, должны быть сфокусированы на сетчатке глаза?
3. Какое изображение предмета создается на сетчатке?
4. Какие изменения претерпевает хрусталик, если взгляд переводится с более близкого предмета на более удаленный?



§ 40.

Дефекты зрения. Очки



Рис. 283

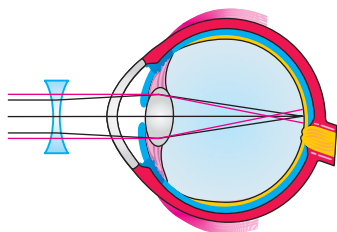


Рис. 284

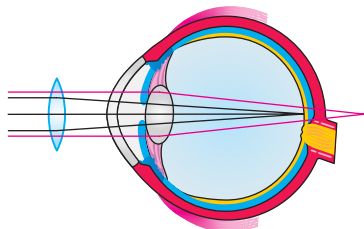


Рис. 285

Нельзя не заметить, что большинство людей пожилого возраста носят очки (рис. 283). Это говорит о том, что оптическая система их глаз перестала работать нормально. Дефекты зрения наблюдаются и у детей. В чем суть дефектов зрения и как их корректируют?

Оптическая система нормального глаза дает изображение предмета на сетчатке. Однако в силу различных причин изображение далеких предметов может формироваться не на сетчатке, а перед ней (показано красными линиями на рисунке 284). Такой дефект зрения называют **близорукостью** (в медицине — **миопией**).

Близорукость бывает врожденной и приобретенной. Причиной появления близорукости у детей может быть чрезмерное увлечение чтением близко расположенного к глазам текста.

Как корректируют близорукость? С этой целью используют очки с рассеивающими линзами. Рассеивающая линза делает параллельный пучок света расходящимся (показано черными линиями на рисунке 285). Лучи после преломления в глазу фокусируются на сетчатке.

При другом дефекте зрения — **дальнозоркости** — изображение близко расположенных предметов (текста книги, инструмента и т. д.) фокусируется за сетчаткой (рис. 285). Главная причина дальнозоркости — потеря эластичности хрусталика. Даже самыми большими усилиями мышц он не может приобрести необходимую кривизну. Этот дефект, за редкими исключениями, свойствен для зрения большинства пожилых людей. Корректируется дефект дальнозоркости с помощью очков с положительной оптической силой собирающих линз (см. рис. 285).

Таким образом, провести коррекцию зрения можно с помощью очков. Иногда вместо очков используют контактные линзы, изготовленные из полимерных материалов. Эти линзы накладываются

непосредственно на глазное яблоко. Основным недостатком контактных линз является раздражение глаз при длительном их ношении. В последнее время проводится лазерная коррекция хрусталика глаза (подробно о ней вы можете узнать в Интернете).

▼ Для любознательных

Для любого живого существа глаз является очень важным органом. Обладая свойством сохранять зрительный образ в течение $\frac{1}{16}$ с, глаз дает возможность человеку ощущать как непрерывно текущие события, представленные на экране, хотя мы хорошо знаем, что в действительности на экран проецируется 24 неподвижных кадра в секунду (рис. 286).



Рис. 286

■ Главные выводы

1. Близорукость — дефект зрения, при котором изображение удаленных предметов формируется перед сетчаткой глаза. Корректируется близорукость применением рассеивающих линз.
2. Дальнозоркость — дефект зрения, при котором изображение близких предметов формируется за сетчаткой глаза. Корректируется дальнозоркость использованием собирающих линз.

? Контрольные вопросы

1. В чем суть дефекта зрения «близорукость»?
2. Почему в глазу дальнозоркого человека изображение близких предметов размытое?
3. Можно ли, не прикасаясь к стеклам очков, определить, каким дефектом зрения обладает их владелец? Как это сделать?
4. На рецепте написано: «Очки +2,5 дптр». Расшифруйте, какие это очки и для какого дефекта зрения. Какое фокусное расстояние имеют линзы этих очков?
5. Почему к старости у близорукого с детства человека зрение может стать нормальным?



Темы проектных заданий по главе «Световые явления»

1. Волоконная связь: настоящее и будущее.
2. Почему разрешающие сигналы светофора — зеленого цвета, а запрещающие — красного?
3. Оптические иллюзии.
4. Мираж как оптическое явление.



Лабораторный эксперимент



«Один опыт я ставлю выше, чем тысячу мнений, рожденных только воображением».

М. В. Ломоносов





Лабораторная работа № 1

Сравнение количеств теплоты при теплообмене

Цель: проверить выполнение закона сохранения и превращения энергии в тепловых явлениях.

Оборудование: термометр лабораторный, калориметр, мензурка, колба с водой (рис. 287), чайник с горячей водой (один на класс).



Рис. 287

Проверьте себя

1. От чего зависит количество поглощенной (выделенной) теплоты?
2. В чем смысл уравнения теплового баланса?

Ход работы

1. Измерьте температуру t_1 воды в колбе, запишите ее в таблицу.
2. Подойдите к столу учителя с калориметром и наберите в него $V_2 = 100$ мл горячей воды.
3. На рабочем месте измерьте и запишите температуру t_2 горячей воды.
4. Не вынимая термометр, влейте в калориметр из колбы $V_1 = 100$ мл воды комнатной температуры.
5. Перемешивая термометром воду, следите за понижением температуры в калориметре; запишите в таблицу установившуюся температуру t_3 .
6. Найдите изменение температуры горячей воды $\Delta t_2 = t_3 - t_2$ и изменение температуры холодной воды $\Delta t_1 = t_3 - t_1$.
7. Рассчитайте и запишите в таблицу количество теплоты, отданное горячей водой: $Q_2 = cm_2(t_3 - t_2)$, где m_2 — масса горячей воды.
8. Рассчитайте и запишите в таблицу количество теплоты, полученное холодной водой: $Q_1 = cm_1(t_3 - t_1)$, где m_1 — масса холодной воды.
9. Сравните модули количеств отданной и полученной теплоты и сделайте выводы.

Объем воды, мл		Температура воды, °C		Установившаяся температура t_3 , °C	Количество теплоты, Дж	
холодная V_1	горячая V_2	холодная t_1	горячая t_2		полученное Q_1	отданное Q_2

Контрольные вопросы

1. Как определялась в опыте масса воды?
2. Почему калориметр имеет двойные стенки?
3. Почему холодную воду нужно брать комнатной температуры?
4. Будут ли равны модули изменения температуры и количества отданной и полученной теплоты, если использовать неравные массы теплой и холодной воды?

Выводы**Суперзадание**

Объясните, как влияет на полученные результаты участие в теплообмене калориметра. Всегда ли можно этим влиянием пренебречь?

**Лабораторная работа № 2****Измерение удельной теплоемкости вещества**

Цель: научиться измерять удельную теплоемкость вещества.

Оборудование: термометр лабораторный, калориметр, мензурка, колба с водой, весы, разновес, цилиндр металлический с нитью (или крючком) (рис. 288), фильтровальная бумага, сосуд с кипящей водой (один на класс).

Проверьте себя

1. Что выражает удельная теплоемкость?
2. Зависит ли удельная теплоемкость от массы вещества, изменения его температуры и рода вещества?

Ход работы

1. Налейте в калориметр 150—180 мл воды комнатной температуры. Измерьте и запишите в таблицу температуру t_1 и массу m_1 этой воды.

2. Подойдите с калориметром к столу учителя и, получив из кастрюли с кипящей водой цилиндр на нитке, сразу же погрузите его в калориметр.

3. На рабочем месте опустите в калориметр с погруженным телом термометр и, перемешивая им воду, наблюдайте за повышением ее температуры.



Рис. 288

4. Когда температура воды в калориметре перестанет расти, запишите в таблицу значение окончательно установившейся температуры t_3 .

5. Определите и запишите изменение температуры воды $\Delta t_1 = t_3 - t_1$ и изменение температуры исследуемого цилиндра $\Delta t_2 = t_3 - t_2$, где t_2 — температура кипения воды.

6. Достаньте цилиндр из калориметра и, промокнув его фильтровальной бумагой, определите на весах его массу m_2 и запишите в таблицу.

7. По формуле $Q_1 = c_1 m_1 (t_3 - t_1)$, где c_1 — удельная теплоемкость воды, равная $4200 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}}$, найдите количество теплоты, полученное водой, и запишите в таблицу.

8. Считая, что отданная металлическим цилиндром теплота Q_2 равна по модулю полученной водой теплоте Q_1 , используя формулу $|Q_2| = c_2 m_2 (t_2 - t_3)$, найдите и запишите в таблицу удельную теплоемкость вещества цилиндра $c_2 = \frac{c_1 m_1 (t_3 - t_1)}{m_2 (t_2 - t_3)}$.

Масса воды m_1 , кг	Температура воды t_1 , $^\circ\text{C}$	Температура кипящей воды t_2 , $^\circ\text{C}$	Температура воды с цилиндром t_3 , $^\circ\text{C}$	Масса цилиндра m_2 , кг	Количество теплоты, полученное водой Q_1 , Дж	Количество теплоты, отданное цилиндром Q_2 , Дж	Удельная теплоемкость вещества c_2 , $\frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}}$

Контрольные вопросы

1. Какому веществу соответствует измеренное в работе значение удельной теплоемкости?

2. Как объяснить расхождение между найденным и табличным значениями удельной теплоемкости вещества цилиндра?

Выводы

Суперзадание

Как, по вашему мнению, на точность полученного результата влияет значение массы взятой для опыта воды?



Лабораторная работа № 3

Сборка электрической цепи и измерение силы тока в ней

Цель: познакомиться с амперметром; научиться собирать электрическую цепь и измерять силу тока в ней.

Оборудование: амперметр лабораторный, источник тока, лампочка на подставке, резистор на панельке, резистор на держателях, ключ, соединительные провода.

Проверьте себя

1. Что представляет собой электрическая цепь?
2. Каким прибором и в каких единицах в СИ измеряется сила тока?

Ход работы

I. Знакомство с амперметром

Рассмотрите внимательно амперметр и ответьте на вопросы.

1. Что обозначают знаки «+» и «-» возле клемм амперметра?
2. Какова цена деления его шкалы? Какой наименьший ток можно измерить этим прибором?
3. Какую максимальную силу тока им можно измерять?

II. Сборка цепи и измерение силы тока

1. Соберите электрическую цепь согласно рисунку 289 и проверьте работу цепи.

2. Измените на противоположное направление тока в цепи (соблюдая полярность клемм амперметра). Запишите, как вы это сделали и как отразилось это на силе тока в цепи и на свечении лампочки.

3. Изобразите в тетради схему собранной цепи и покажите на ней сплошной стрелкой направление тока в цепи, а штриховой стрелкой — направление движения носителей тока.

4. Измерьте и запишите силу тока I_1 , протекающего между клеммой «+» источника и ключом. Начертите схему цепи при этом измерении.

5. Измерьте и запишите значения силы тока I_3 и I_4 в участках цепи 3 и 4.

6. Сделайте вывод о значении силы тока в различных участках простой цепи.

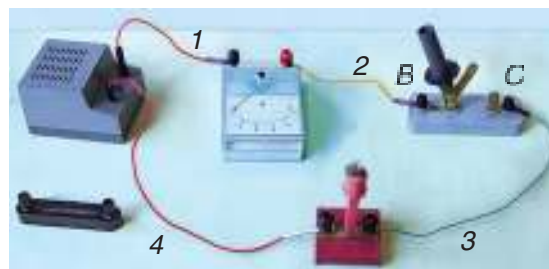


Рис. 289

7. Замените электролампочку поочередно резистором на панельке и резистором на держателях. Измерьте и запишите значения силы тока I' и I'' в них.

8. Какой вывод о значении силы тока можно сделать из проведенных измерений?

Контрольные вопросы

1. Почему сила тока в различных участках цепи одинакова?
2. Отразится ли на свечении лампочки исключение из цепи амперметра? Почему?
3. Какое количество электричества прошло через сечение спирали лампочки за одну минуту горения?

Выводы

Суперзадание

Перенесите провод 3 с клеммы С ключа на клемму В. Освободившуюся клемму ключа соедините дополнительным проводом с клеммой «+» источника. Включив (только с разрешения учителя!) цепь, объясните, как и почему влияет положение ключа на режим работы лампочки и амперметра.



Лабораторная работа № 4

Измерение электрического напряжения и сопротивления проводника

Цель: познакомиться с вольтметром и способом измерения электрического напряжения; научиться измерять сопротивление неизвестного резистора.

Оборудование: источник тока, лабораторные амперметр и вольтметр, лампочка на подставке, резистор на панельке, ключ, соединительные провода.

Проверьте себя

1. Как включается в цепь вольтметр и что он измеряет?
2. Какую зависимость выражает закон Ома?

Ход работы

I. Знакомство с вольтметром

Рассмотрев вольтметр, ответьте на вопросы.

1. Какова цена деления шкалы данного вольтметра?

2. Какое максимальное и минимальное напряжение можно измерять данным вольтметром?

3. Каким должно быть сопротивление вольтметра по сравнению с сопротивлением амперметра? Почему они так сильно различаются?

II. Измерение напряжения

1. Соберите цепь из источника тока, резистора на панельке, амперметра и ключа (рис. 290, а). Измерьте силу тока в резисторе.

2. Разомкнув цепь, добавьте в нее вольтметр (параллельно резистору). Замкните ключ и измерьте напряжение на резисторе. Начертите схему данной цепи.

3. Ответьте на вопрос: как отразилось добавление в цепь вольтметра на показаниях амперметра? Почему?

III. Измерение сопротивления проводника

1. Используя результаты предыдущего опыта, определите сопротивление резистора на панельке по формуле $R = \frac{U}{I}$.

2. Найдите на панельке паспортное значение сопротивления резистора и сравните его с полученным в опыте. Сделайте вывод.

3. Замените в цепи резистор на панельке лампочкой на подставке и определите описанным способом сопротивление ее спирали.

4. Найдите на цоколе лампочки ее номинальное напряжение U_n и силу тока I_n и определите ее сопротивление в номинальном режиме по формуле $R_n = \frac{U_n}{I_n}$.

5. Сравните полученные в п. 3, 4 значения сопротивления и сделайте вывод.

Выводы

Суперзадание

Измерьте сопротивление резистора, применив измененную схему (рис. 290, б). Сравните результат с результатом, полученным в п. 1. Дайте оценку применяемым методам (достоинства, недостатки).

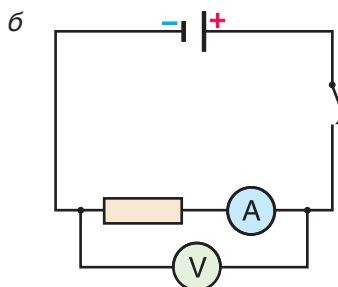
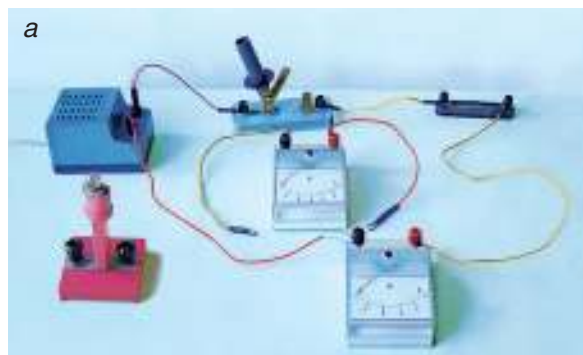


Рис. 290



Лабораторная работа № 5

Изучение последовательного соединения проводников

Цель: научиться собирать последовательную цепь и проводить в ней измерения; опытным путем проверить закономерности такой цепи.

Оборудование: источник тока, два различных резистора на панельках, лабораторные амперметр и вольтметр, ключ, соединительные провода.

Проверьте себя

1. Какое соединение потребителей называют последовательным?
2. Какие главные закономерности выполняются при последовательном соединении потребителей?

Ход работы

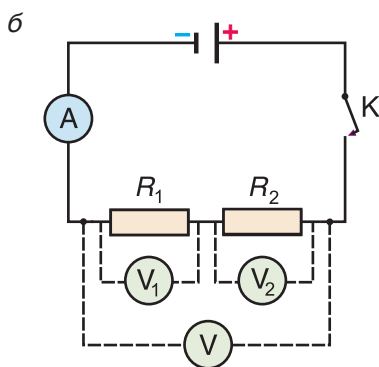
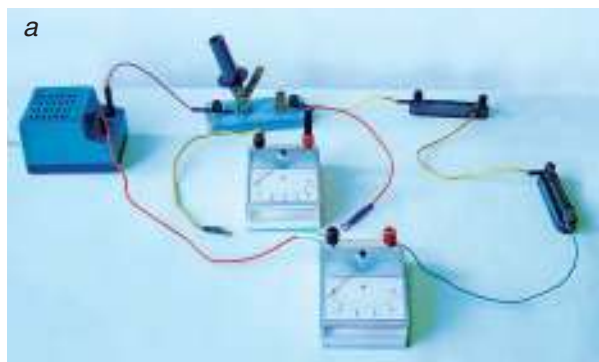


Рис. 291

1. Не используя вольтметр, соберите цепь, показанную на рисунке 291, а.

2. Измерьте силу тока в цепи и запишите в таблицу. В каком из резисторов протекает ток такой силы? Какова сила тока, текущего через источник?

3. Измерьте поочередно напряжения U_1 на первом резисторе, U_2 на втором и напряжение U на участке из двух резисторов, подключая лабораторный вольтметр так, как показано на схеме штриховыми линиями (рис. 291, б); запишите результаты в таблицу.

4. Используя полученные результаты, проверьте справедливость второй закономерности последовательного соединения (см. § 24).

5. Примените закон Ома к участку из двух проводников. Найдите сопротивление этого участка $R = \frac{U}{I}$ и запишите в таблицу.

6. Сравните найденное сопротивление с суммой сопротивлений R_1 и R_2 (указаны на панельках) и сделайте вывод.

Сила тока I , А	Напряжение, В			Сопротивление, Ом			
	U_1	U_2	$U = U_1 + U_2$	R_1	R_2	$R_1 + R_2$	$R = \frac{U}{I}$

Контрольные вопросы

1. Почему последовательное соединение потребителей редко используют в бытовых электрических цепях?

2. Чему равно сопротивление участка цепи, состоящего из N одинаковых резисторов сопротивлением R каждый, соединенных последовательно?

Выводы

Суперзадание

Рассматривая амперметр как третий проводник, соединенный последовательно с двумя резисторами, измерьте напряжение на нем. Изобразите в тетради схему цепи, запишите результаты измерения и объясните их.



Лабораторная работа № 6

Изучение параллельного соединения проводников

Цель: научиться собирать цепь с параллельным соединением и проводить в ней измерения; опытным путем проверить выполнение закономерностей такой цепи.

Оборудование: источник тока, два различных резистора на панельках, амперметр, вольтметр, ключ, соединительные провода.

Проверьте себя

1. Какое соединение потребителей называют параллельным?
2. Какие главные закономерности выполняются при параллельном соединении потребителей?



Рис. 292

Ход работы

I. Сборка электрической цепи и измерение ее основных параметров

1. Соберите цепь согласно рисунку 292, не включая вольтметр. Запишите в таблицу показания амперметра I . Можно ли утверждать, что ток указанной силы протекает в каждом резисторе?

2. Подключите вольтметр к точкам M и N , начертите полную схему в тетради. Напряжение на каком из резисторов измеряет вольтметр?

3. Применяя закон Ома к разветвленному участку MN , найдите его сопротивление $R_{MN} = \frac{U}{I}$.

II. Проверка закономерностей параллельного соединения

1. Определите по надписям на панельках и запишите в таблицу сопротивления резисторов R_1 и R_2 ; по формуле $R = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}$ рассчитайте и запишите в таблицу сопротивление разветвленного участка.

2. Сравните рассчитанное значение с сопротивлением участка R_{MN} , найденным по результатам измерений. Сделайте вывод.

3. Исключите из цепи вольтметр и амперметр. Подключите амперметр между точками M и K ; измерьте и запишите в таблицу силу тока I_1 в резисторе R_1 , а затем, включив амперметр между точками M и L , измерьте и запишите в таблицу силу тока I_2 в резисторе R_2 .

4. Используя полученные значения I_1 и I_2 для силы тока, а также значение силы тока I в неразветвленном участке цепи, докажете справедливость второй закономерности параллельного соединения (см. § 25).

Сила тока, А				Напряжение, В			Сопротивление, Ом			
I	I_1	I_2	$I_1 + I_2$	U_{MN}	U_1	U_2	$R_{MN} = \frac{U}{I}$	R_1	R_2	$R = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}$

Контрольные вопросы

1. Как соединяют (последовательно или параллельно) потребители в квартирной проводке? Почему?
2. Чему равно сопротивление участка цепи из N одинаковых резисторов сопротивлением R каждый, соединенных параллельно?
3. Почему параллельное присоединение к участку цепи дополнительного резистора уменьшает сопротивление участка?

Выводы

Суперзадание

Как переносом только одного провода с клеммы на клемму превратить данное параллельное соединение (см. рис. 292) в последовательное? Какую роль в такой измененной цепи играет ключ?



Лабораторная работа № 7

Измерение фокусного расстояния и оптической силы линзы

Цель: изучить преломление света в различных линзах; измерить характеристики собирающей линзы.

Оборудование: собирающая (№ 1) и рассеивающая (№ 2) линзы на подставках, источник тока, лампочка на подставке, ключ, соединительные провода, экран, мерная лента (рис. 293). (Работа проводится в полузатемненном кабинете.)



Рис. 293

Проверьте себя

1. Что такое фокус линзы?
2. Как преломляют световые лучи собирающая и рассеивающая линзы?

Ход работы

I. Знакомство с различными видами линз

1. Подключите лампочку к источнику тока и установите ее на расстоянии 20—25 см от линзы № 1.

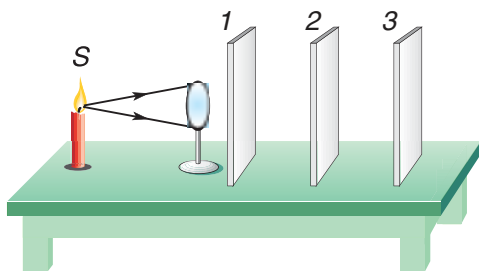


Рис. 294

2. Установите вплотную за линзой экран (рис. 294, положение 1).

3. Медленно отодвигайте экран от линзы (положения 2, 3 и т. д.) до расстояния примерно 50 см и по диаметру светлого пятна на экране наблюдайте, что происходит со световым пучком после преломления в линзе. Каким (сходящимся или расходящимся) является прошедший через линзу пучок?

4. Нарисуйте в тетради примерный ход лучей светового пучка после линзы. Что вы видите в самом узком месте пучка?

5. Повторите все действия (п. 2—4) с линзой № 2. Определите, какая из линз является собирающей, а какая — рассеивающей.

II. Измерение фокусного расстояния и оптической силы линзы

1. Получите на экране изображение какого-либо далекого предмета (лампочки на столе учителя, уличных объектов, видимых через неплотно закрытую штору окна). Из-за значительной удаленности предмета лучи, идущие к линзе № 1 от каждой его точки, можно считать параллельными друг другу, т. е. изображение предмета получается в фокальной плоскости.

2. Измерьте расстояние от линзы № 1 до экрана и запишите значение фокусного расстояния F . Какой результат (завышенный или заниженный) дает нам примененный метод? Почему?

3. По найденному значению фокусного расстояния F вычислите величину оптической силы D линзы.

Контрольные вопросы

1. Почему расстояние от линзы № 1 до изображения далекого предмета можно считать примерно равным фокусному?

2. Можно ли получить пучок параллельных лучей после прохождения через собирающую линзу?

3. Почему оптическую силу рассеивающей линзы считают отрицательной?

Выводы

Суперзадание

Определите, какая из используемых линз (собирающая или рассеивающая) обладает большей по модулю оптической силой.

ОТВЕТЫ К УПРАЖНЕНИЯМ

Упражнение 5. 2. $Q = 0,36 \text{ МДж}$. 3. $c = 0,25 \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}}$ (олово или серебро). 4. $V_1 = 50 \text{ мл}$. 5. $c = 4,2 \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}}$ (вода). 6. $c_{\text{III}} > c_{\text{II}} > c_{\text{I}}$. 7. $t_2 = 82 \text{ }^\circ\text{C}$. 8. $m_{\text{ц}} = 8,0 \text{ кг}$.

Упражнение 6. 3. Торф или древесные чурки. 5. $q_{\text{I}} = 15 \frac{\text{МДж}}{\text{кг}}$ (торф или древесные чурки); $q_{\text{II}} = 30 \frac{\text{МДж}}{\text{кг}}$ (древесный уголь, каменный уголь марки А-II или кокс); $\frac{Q_{\text{II}}}{Q_{\text{I}}} = 2$. 6. $Q = 218 \text{ МДж}$; I — мазут, II — бензин. 7. $m_{\text{II}} = 0,60 \text{ г}$. 8. $m_{\text{д}} = 0,15 \text{ г}$.

Упражнение 7. 3. $Q = 78 \text{ кДж}$. 4. $\lambda_{\text{I}} = 2,0 \cdot 10^5 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$ (медь); $\lambda_{\text{II}} = 6,7 \cdot 10^4 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$ (золото); $Q = 1,3 \cdot 10^5 \text{ Дж}$. 5. $Q = 1,1 \text{ МДж}$. 6. $t = 84 \text{ }^\circ\text{C}$. 7. $m_2 = 2,2 \text{ кг}$. 8. $m_2 = 38 \text{ кг}$. 9. $m_3 = 1,3 \text{ г}$. 10. $m_{\text{с}} = 0,27 \text{ т}$. 11. $\Delta h = 1 \text{ мм}$. 12. $m_3 = 50 \text{ г}$. 13. $m_{\text{л}} = 0,70 \text{ кг}$.

Упражнение 9. 7. $L = 352 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$ (эфир). 8. а) $Q_1 = 4,5 \text{ МДж}$; б) $Q_2 = 5,2 \text{ МДж}$. 9. $L = 2,1 \cdot 10^5 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$ (воздух); $Q = 6,3 \cdot 10^5 \text{ Дж}$. 10. $m_{\text{л}} = 0,16 \text{ кг}$. 13. $m_3 = 34 \text{ г}$. 14. $m_3 = 1,2 \text{ кг}$.

Упражнение 12. 2. $N = 4,0 \cdot 10^8$. 3. $N = 4,6 \cdot 10^{12}$. 4. $q = 4,8 \cdot 10^{-16} \text{ Кл}$.

Упражнение 13. 5. $A = 8 \text{ нДж}$. 6. $U = 15 \text{ В}$. 7. $P = 0,59 \text{ кВт}$. 8. $U = 0,18 \text{ мВ}$.

Упражнение 14. 3. $q = 9,0 \text{ кКл}$; $N = 5,6 \cdot 10^{22}$. 4. $I = 0,16 \text{ А}$. 5. $I = 1,5 \text{ мкА}$. 6. $q = 1,5 \text{ Кл}$. 9. $I = 0,2 \text{ А}$.

Упражнение 15. 1. $R = 4 \text{ Ом}$. 2. $I = 2 \text{ мА}$. 3. $U = 1,2 \text{ В}$. 4. $R = 10 \text{ Ом}$. 5. $R = 5 \text{ Ом}$. 6. $U = 84 \text{ мВ}$. 7. $l = 12 \text{ м}$. 9. $l_1 = 0,9 \text{ м}$. 10. $R = 2,2 \text{ Ом}$. 11. $R = 32 \text{ Ом}$.

Упражнение 16. 1. $R = 1,1 \text{ кОм}$. 2. $R_0 = 24 \text{ Ом}$; $I_1 = I_2 = 0,5 \text{ А}$; $U_1 = 4,0 \text{ В}$; $U_2 = 8,0 \text{ В}$. 3. $I = 1,0 \text{ А}$; $U_1 = 8,0 \text{ В}$; $U_2 = 4,0 \text{ В}$. 4. $R_2 = 12 \text{ Ом}$. 5. $R = 1 \text{ Ом}$. 6. $I_1 = 0,25 \text{ А}$; $I_2 = 0,38 \text{ А}$; $I_3 = 0,30 \text{ А}$.

Упражнение 17. 1. $R = 120 \text{ Ом}$. 2. $R_{\text{посл}} = 0,32 \text{ кОм}$. 3. $R_2 = 80 \text{ Ом}$. 4. $I_A = I_D = 5 \text{ мА}$; $I_B = 3 \text{ мА}$; $I_C = 2 \text{ мА}$.

Упражнение 18. 1. $A = 0,24 \text{ кДж}$; $P = 60 \text{ Вт}$. 2. $A = 0,65 \text{ Дж}$. 3. $A = 0,29 \text{ МДж}$; $P = 1,2 \text{ кВт}$. 4. $P = 1,6 \text{ кВт}$; $I_1 = 7,3 \text{ А}$; $R_2 = 7,5 \text{ Ом}$. 5. $t = 1 \text{ ч}$. 6. $t = 23 \text{ с}$. 7. а) В первой; б) во второй.

Упражнение 21. 4. $H = 5 \text{ м}$.

Упражнение 22. 6. $\varphi_1 = 64^\circ$ (к горизонту). 7. $\Delta\varphi = 20^\circ$.

ПРЕДМЕТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ

- Ампер 79
- Внутренняя энергия 6
- Вольт 73
- Главный фокус линзы 145
- Горение 30
- Диоптрия 146
- Диэлектрик 56
- Закон Джоуля — Ленца 103
 - Ома для участка цепи 86
 - прямолинейного распространения света 123
- Законы отражения света 133
- Заряд отрицательный 54, 64
 - положительный 54, 64
 - электрический 64
- Излучение 18
- Ион 68
- Испарение 40
- Источник тока 81
- Источники света 124
- Кипение 44
- Количество теплоты 9
- Конвекция 16
- Конденсация 44
- Кристаллизация 33
- Кулон 65, 79
- Линза 144
 - рассеивающая 145
 - собирающая 145
- Магнит 110
- Магнитное поле 114
 - — катушки с током 120
 - — прямого проводника 119
- Мощность тока 102
- Нейтрон 68
- Ом 88
- Оптическая сила линзы 146
- Оптический центр линзы 144
- Парообразование 40
- Плавление 32
- Проводник 56
- Протон 68
- Работа тока 102
- Световой луч 126
- Сила тока 79
- Скорость света 128
- Соединение проводников параллельное 98
 - — последовательное 94
- Сопротивление 86
- Температура кипения 45, 46
 - плавления 32, 33
- Теплопередача 9
- Теплопроводность 13
- Угол отражения 132
 - падения 132
 - преломления 140

Удельная теплоемкость вещества 22, 24

— теплота парообразования 46

— — плавления 33, 36

— — сгорания топлива 28, 29

Удельное сопротивление вещества 89, 90

Уравнение теплового баланса 23

Фокальная плоскость 145

Фокус 145

Электризация 61

Электрическое напряжение 71

Электромагнит 120

Электрометр 54

Электрон 64, 68

Электроскоп 54

Ядро атома 68

Приложение

Рисунки, отмеченные знаком , можно «оживить» (преобразовать в видеоролик) с помощью смартфона или планшета. Для этого вам понадобятся программа HP Reveal и доступ в Интернет.

HP Reveal работает на смартфонах и планшетах с операционной системой Android 4.0 и выше, iOS 8.0 и выше. На работу программы влияют продуктивность процессора и скорость Интернет-соединения. Программа требует, чтобы заряд аккумулятора превышал 15 %.

HP Reveal загружает большой объем информации, поэтому выход в Интернет лучше осуществлять через WiFi.

Чтобы установить программу HP Reveal на смартфон или планшет с операционной системой Android, необходимо:

1) открыть Play Маркет  и набрать в поиске HP Reveal;

2) выбрать приложение HP Reveal .

В открывшемся окне нажать кнопку **УСТАНОВИТЬ** → **ПРИНЯТЬ**;

3) после установки нажать кнопку **ОТКРЫТЬ**. Провести по экрану справа налево несколько раз;

4) когда появится экран регистрации, нажать **SIGN UP**, ввести имя пользователя (Username), пароль (Password), нажать кнопку **JOIN** (рис. 295);

5) в строке меню



нажать кнопку  и набрать в строке поиска physics8;

6) нажать  → FOLLOW →

→ .

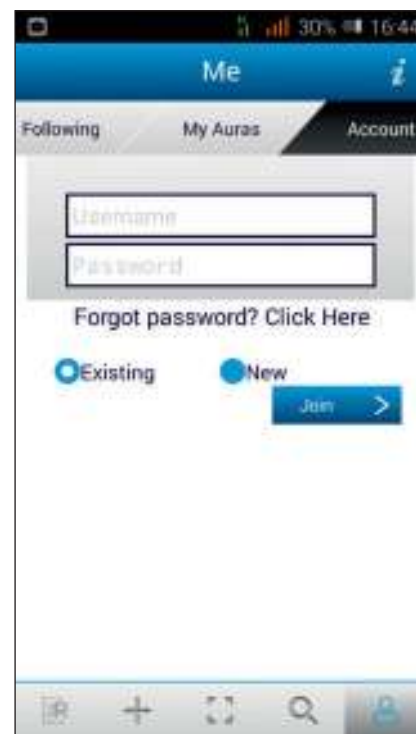


Рис. 295

Теперь программой можно пользоваться. Наведите камеру на рисунок, отмеченный знаком , так, чтобы рисунок полностью поместился на экране, и немного подождите, не двигая смартфон или планшет. Круги в центре должны изменить форму. Таким образом программа сообщает, что распознала рисунок, видеоматериал можно будет посмотреть через несколько секунд. Для того чтобы развернуть видеоролик, дотроньтесь до него.

Видеоролики опытов размещены также на национальном образовательном портале <http://adu.by>.

Учебное издание

Исаченкова Лариса Артемовна
Лещинский Юрий Дмитриевич
Дорофейчик Владимир Владимирович

ФИЗИКА

Учебное пособие для 8 класса
учреждений общего среднего образования
с русским языком обучения

Зав. редакцией *Г. А. Бабаева*. Редактор *Н. М. Алганова*. Художественные редакторы
Л. В. Павленко, А. И. Резанович. Техническое редактирование и компьютерная верстка
Л. И. Шевко. Корректоры *В. С. Бабеня, А. В. Алешко*.

Подписано в печать 12.04.2018. Формат $84 \times 108^{1/16}$. Бумага офсетная. Гарнитура
школьная. Печать офсетная. Усл. печ. л. 18,48+0,42 форз. Уч.-изд. л. 10,77+0,73 форз.
Тираж 115 350 экз. Заказ .

Издательское республиканское унитарное предприятие «Народная асвета»
Министерства информации Республики Беларусь.

Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя,
распространителя печатных изданий 1/2 от 08.07.2013.
Пр. Победителей, 11, 220004, Минск, Республика Беларусь.

ОАО «Полиграфкомбинат им. Я. Коласа».
Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя,
распространителя печатных изданий № 2/3 от 04.10.2013.
Ул. Корженевского, 20, 220024, Минск, Республика Беларусь.

Правообладатель Народная асвета

(Название и номер учреждения образования)

Учебный год	Имя и фамилия учащегося	Состояние учебного пособия при получении	Оценка учащемуся за пользование учебным пособием
20 /			
20 /			
20 /			
20 /			
20 /			

ТЕМПЕРАТУРЫ НЕКОТОРЫХ ФИЗИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ И ОБЪЕКТОВ

СКОРОСТЬ СВЕТА В РАЗЛИЧНЫХ СРЕДАХ (при 20 °С)

ТЕМПЕРАТУРА (°С)		СКОРОСТЬ (км/с)
-272,999988	Минимальная, достигнутая экспериментально	В вакууме 299 792
-268,93	Кипения гелия	В воздухе (при нормальных условиях) 299 705
-160	Наименьшая, измеренная на поверхности Луны	В воде (пресной) 225 408
до -83	Воздуха на высоте 20 км	В этиловом спирте 220 435
+28,5	Плавления цезия	В олеиновой кислоте 205 337
+1600—1800	Пламени газовой горелки	В глицерине 203 940
+2500—3300	Нити миниатюрной лампы накаливания	В стекле (зависит от состава стекла) 199 861—157 785
+6000	Поверхности Солнца	В кристаллическом кварце 194 670
+10 000—20 000	Термической ионизации атомов	В алмазе 123 881
+10 ⁷ и выше	Термоядерной реакции	
+10 ⁸ и выше	В эпицентре взрыва водородной бомбы	
+10 ⁸ и выше	Высокотемпературной плазмы	