

Федеральный государственный образовательный стандарт
Образовательная система «Школа 2100»

С.М. Андриюшечкин

ФИЗИКА

8 класс



МОСКВА
БАУСС
2015

УДК 373.167.1:53
ББК 22.3я721
А65

Федеральный государственный образовательный стандарт
Образовательная система «Школа 2100»



Совет координаторов предметных линий Образовательной системы
«Школа 2100» – лауреат премии Правительства РФ в области образования
за теоретическую разработку основ образовательной системы
нового поколения и её практическую реализацию в учебниках

На учебник получены положительные заключения по результатам
научной экспертизы (заключение РАН от 29.09.2011 № 10106-5215/35),
педагогической экспертизы (заключение РАН от 10.01.2014 № 000430)
и общественной экспертизы (заключение НП «Лига образования» от 30.01.2014 № 203)

Руководитель издательской программы –
член-корр. РАО, доктор пед. наук, проф. *Р.Н. Бунеев*

Андрюшечкин, С.М.
А65 **Физика. 8 кл.** : учеб. для организаций, осуществляющих обра-
зовательную деятельность / С.М. Андрюшечкин. – М. : Баласс,
2015. – 240 с. : ил. (Образовательная система «Школа 2100»).

ISBN 978-5-85939-907-9

Учебник «Физика» для 8 класса соответствует Федеральному государствен-
ному образовательному стандарту основного общего образования. Является
продолжением непрерывного курса физики и составной частью комплекта
учебников развивающей Образовательной системы «Школа 2100».

Учебник позволяет организовать изучение курса физики на основе деятель-
ностного подхода, используя в качестве одного из основных методов проблем-
ное обучение.

Может использоваться как учебное пособие.

УДК 373.167.1:53
ББК 22.3я721

Данный учебник в целом и никакая его часть не могут быть скопированы
без разрешения владельца авторских прав

ISBN 978-5-85939-907-9

© Андрюшечкин С.М., 2012
© ООО «Баласс», 2012




Обращение к ученику

Зачем мы будем учиться? В восьмом классе вы продолжите изучение первой ступени школьного курса физики. Вы узнаете, что такое внутренняя энергия и какими способами её можно изменить. Как устроены тепловые двигатели и какие проблемы возникают при их работе. Как производить подсчёт энергии в случае различных тепловых явлений. Вы изучите обширный круг электрических и магнитных явлений, научитесь производить расчёты электрических цепей, пользоваться электроизмерительными приборами. Узнаете, как возникают молния и полярное сияние, как устроен электродвигатель и жёсткий диск компьютера.

Физика как учебный предмет предоставляет вам возможность:

- получить *научные сведения* о том, как устроен окружающий нас мир;
- выяснить, какими *методами* учёные изучают *физические явления*; какие *физические величины* характеризуют эти явления и каким *законам* явления подчиняются;
- развить *свои способности* и *умение применять* полученные знания – научиться работать с приборами и решать задачи.

Приобретённые на уроках физики знания и умения будут основой при изучении других наук о природе и пригодятся вам в жизни. Эти умения (они называются универсальными, то есть пригодными для многих целей) у учеников развиваются при выполнении специальных заданий. Такие задания в учебнике обозначены кружками и фоном условных знаков разного цвета. Каждый цвет соответствует определённой группе умений:

-  организовать свои действия: ставить цель, планировать работу, действовать по плану, оценивать результат;
-  работать с информацией: самостоятельно находить, осмысливать и использовать её;
-  общаться и взаимодействовать с другими людьми, понимать других, сотрудничать.

Как мы будем учиться? Вы продолжаете изучение физики по учебнику Образовательной системы «Школа 2100». Наша Образовательная система стремится помочь вам научиться:

- *планировать* и *организовывать* свои дела,
- *мыслить*,
- *оценивать* результаты работы.

На уроках, точно так же, как и в жизни, вам придётся сталкиваться с противоречивыми фактами и суждениями, неожиданными результатами опытов и наблюдений. Так возникают *проблемные ситуации*. Чем лучше вы научитесь разбираться в возникающих учебных проблемах, тем успешнее будет ваше обучение.

Но достигнуть успеха в учёбе нельзя, если быть только сторонним наблюдателем и исполнителем. Необходимо ваше постоянное *активное участие в совместной деятельности*, организуемой учителем.

Что надо обязательно запомнить? Ни один человек не может знать и запомнить всё. В учебнике приведено много интересных сведений, предложено много заданий, решено много задач. Это максимум, который вы можете изучить и освоить при желании.

Но есть и обязательный **минимум**, который должен освоить каждый. В тематической тетради, которой вы будете пользоваться совместно с учебником, предложены обязательные (минимум) и дополнительные (максимум) домашние задания, опорные конспекты и справочник по физике (минимум).

Как работать с учебником и тематической тетрадью? Учебник «Физика-8» предназначен для вдумчивой работы под руководством учителя в течение всего учебного года. В тексте учебника то, на что вам нужно *обратить внимание*, выделено *курсивом*. То, что необходимо **обязательно запомнить** (желательно дословно), выделено **жирным шрифтом**.

Вашей успешной работе помогут:

Оглавление. Позволяет ориентироваться во всём учебнике.

Содержание раздела учебника. В нём дополнительно указаны названия отдельных частей параграфов. В тексте учебника названия отдельных частей параграфов выделены **цветом**.

Заключение к разделу учебника. В нём кратко перечисляются основные физические понятия, изучавшиеся в данном разделе учебника.

P. S.¹ В постскриптурах упоминаются наиболее интересные проблемы, оставшиеся «за горизонтом» при изучении раздела.

¹ P. S. – Постскриптур (от латинского *post scriptum* – после написанного) – приписка к оконченному и подписанному письму, обыкновенно обозначаемая P. S.

Предметно-именной указатель. Позволяет быстро найти в учебнике значение того или иного понятия или сведения об учёном.

На переднем фёрзаце¹ учебника приведены планы ответов о физических понятиях. Научитесь работать по этим планам. Вы будете пользоваться ими и в дальнейшем (и не только на уроках физики). На заднем форзаце размещены справочные таблицы.

Обязательно обратите внимание на условные обозначения, использованные в учебнике.



– Вопрос, на который следует ответить, прежде чем дальше читать текст учебника.



– Формулировка проблемы.



– Работа в группе.



– Важнейшие понятия, которые необходимо обязательно знать.



– Основные понятия, изученные в параграфе.

Понятия, набранные жирным шрифтом, необходимо знать и уметь применять (минимум).

Понятия, набранные обычным шрифтом, относятся к максимуму.



– Материал для дополнительного чтения (максимум).

Каждый параграф учебника завершается заданиями, выполнение которых поможет вам лучше освоить изучаемый материал; задания содержатся также и в тематической тетради. Приступая к выполнению задания, обратите внимание на условное обозначение, указывающее на характер задания.

¹ Фёрзац – двойной лист бумаги, соединяющий книгу с переплётом.

● – Репродуктивное задание. Ответ на такое задание можно найти непосредственно в учебнике.

● – Продуктивное задание. Ответа на задание в готовом виде нет. Но текст и иллюстрации учебника позволяют «подобрать ключи» к выполнению задания. Такие задания проверяют, можете ли вы применять полученные знания.



– Задания с использованием компьютера (информационных технологий).



– Самостоятельная исследовательская работа.

Успехов!

Раздел 1. ТЕПЛОВЫЕ ЯВЛЕНИЯ

В этом разделе вы выясните, как можно изменить энергию движения и взаимодействия атомов и молекул в газах, жидкостях и твёрдых телах. Вы узнаете, какие физические явления при этом происходят.

Особое внимание в этом разделе будет уделено и «математической физике» – изучению физических величин и соответствующих формул, позволяющих проводить расчёты тепловых процессов.



Вспомните, что вам известно о внутреннем строении газов, жидкостей и твёрдых тел, о понятии «тепловое движение» и величине «температура».

§ 1. Тепловое движение. Температура

Тепловое движение

Абсолютный нуль температуры

Абсолютная шкала температур

§ 2. Внутренняя энергия и способы её изменения

Внутренняя энергия

Способы изменения внутренней энергии

Первый закон термодинамики

Примеры решения задач

§ 3. Виды теплообмена

Теплопроводность

Конвекция

Излучение

§ 4. Теплообмен в природе и технике

§ 5. Горение топлива. Удельная теплота сгорания топлива

Реакция горения топлива

Удельная теплота сгорания топлива

Примеры решения задач

§ 6. Тепловые двигатели

Что такое тепловой двигатель?

Принципиальная схема теплового двигателя

КПД теплового двигателя

Максимально возможный КПД

§ 7. Применение тепловых двигателей

Человек в поисках энергии

Двигатель внутреннего сгорания (ДВС)

Газовые турбины

Ракетные двигатели

Тепловые двигатели и окружающая среда

§ 8. Нагревание и охлаждение вещества

Количество теплоты при нагревании и охлаждении вещества
Удельная теплоёмкость вещества

§ 9. Решение задач по теме «Нагревание и охлаждение вещества»

Классификация задач
Примеры решения задач

§ 10. Лабораторная работа «Определение удельной теплоёмкости»

§ 11. Плавление. Кристаллизация

Плавление
Кристаллизация
Аморфные тела

§ 12. Испарение. Конденсация. Кипение

Испарение
Конденсация
Насыщенный пар
Влажность воздуха
Кипение

§ 13. Теплота плавления. Теплота парообразования

Удельная теплота плавления
Удельная теплота парообразования

§ 14. Решение задач по теме «Тепловые явления»

Самое важное в разделе «Тепловые явления»

P. S.

§ 1. ТЕПЛОВЕ ДВИЖЕНИЕ. ТЕМПЕРАТУРА



Тело тем горячее, чем интенсивнее движутся частицы, из которых оно построено, подобно тому как колокол звучит тем громче, чем сильнее он колеблется.

*Граф Румфорд (1753–1814),
естествоиспытатель и политический деятель*

Вам уже известно (вспомните курс физики 7-го класса), что частицы вещества совершают непрерывное беспорядочное движение.

Тепловое движение. Одна из самых важных идей за всю историю науки – это идея о том, что все тела состоят из отдельных частиц, которые беспорядочно движутся и взаимодействуют друг с другом.

Как образно выразился один из выдающихся физиков, в этой идее содержится невероятное количество информации¹ о мире, стоит лишь приложить к ней немного воображения и чуть соображения. Вообразим, что атомы и молекулы, за которыми мы наблюдаем, каким-то чудесным образом удалось увеличить в 10 миллионов раз. Тогда они представляли бы из себя частицы миллиметрового размера, и их непрерывное хаотическое (беспорядочное) движение можно было бы легко наблюдать.



1.1. Каков характер движения частиц в твёрдых телах, жидкостях и газах?

Наблюдатели смогли бы увидеть, что в твёрдых телах частицы, взаимодействуя между собой, совершают колебания около определённых точек – положений равновесия. В жидкостях частицы, совершая колебания, время от времени перескакивают на свободные места. В газах же атомы и молекулы, находясь друг от друга на расстояниях в десятки раз больших, чем в жидкостях, практически не взаимодействуют. Они беспорядочно движутся, сталкиваясь друг с другом и ударяясь о стенки сосуда, в котором находится газ.



1.2. Какие физические явления, изученные вами в курсе физики 7-го класса, подтверждают существование беспорядочного движения частиц тела?

Бросим по кусочку сахара в стакан с горячей и в стакан с холодной водой. В какой воде сахар растворится за меньшее время? Конечно же, растворение сахара быстрее произойдёт в горячей воде. Это указывает на то, что в горячей воде частицы движутся быстрее, имеют большую кинетическую энергию.

Закроем колбу воронкой, горловина которой затянута упругой резиновой плёнкой (рис. 1, а). Если нагреть воздух в колбе (например, облив колбу горячей водой), то мы увидим, что плёнка выгнется наружу (рис. 1, б). Следовательно, молекулы с большей силой и чаще ударяют о плёнку изнутри, создают большее давление. Это свидетельствует о том, что скорость и энергия движения молекул при нагревании воздуха возросли.

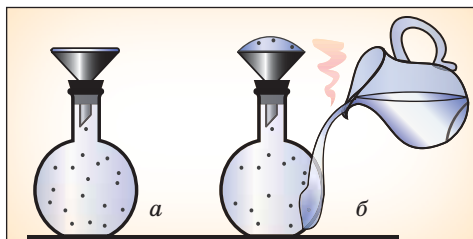


Рис. 1

¹ Информация – все те сведения, которые уменьшают степень неопределённости нашего знания.

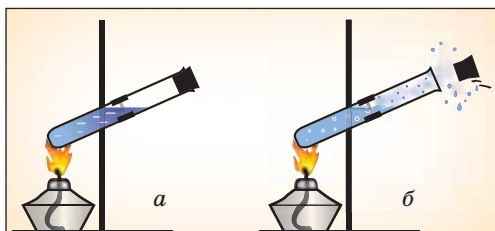


Рис. 2

Нальём в пробирку немного воды, закроем пробирку пробкой и нагреем воду в пробирке (рис. 2, а). Через некоторое время молекулы воды будут двигаться с такой большой скоростью, будут обладать такой большой энергией, что вода превратится в пар и пар выдавит пробку (рис. 2, б). Эти опыты напомнили вам об известном факте: **атомы и молекулы вещества могут обладать различной энергией**. Из курса физики 7-го класса вы также знаете, что энергию движения атомов и молекул характеризуют физической величиной – **температурой**.

Чем больше энергия движения частиц тела, тем выше его температура.

По этой причине движение частиц тела и называют тепловым движением.

Сравним механическое и тепловое движения (таблица 1).

Таблица 1. Сравнение механического и теплового движений

Механическое движение	Тепловое движение
Участвует одно или несколько тел.	Участвуют частицы тела, число частиц очень велико. (Например, в одном грамме воды число молекул в 5000 миллиардов раз больше числа людей на Земле.)
Можно определить траекторию каждого движущегося тела.	Ввиду огромного числа частиц, их беспрестанных столкновений друг с другом траектория отдельной частицы чрезвычайно сложна и движение частиц хаотично.
Можно определить, экспериментально измерив, скорость каждого из движущихся тел, их кинетическую энергию.	Ввиду огромного числа частиц, их беспрестанных столкновений друг с другом можно определить только среднюю энергию движения частиц.
Не связано с температурой.	При увеличении средней кинетической энергии теплового движения частиц тела его температура повышается.

Михаил Васильевич Ломоносов (1711–1765). Учёный-энциклопедист. Родился в семье помора. В возрасте 19 (!) лет ушёл учиться в Славяно-греко-латинскую академию в Москве. Первый русский академик Петербургской академии наук, основатель Московского университета, ныне носящего его имя. Открытия М.В. Ломоносова обогатили многие отрасли знания. Его идеи далеко опередили науку того времени.



Физические явления, обусловленные изменением теплового движения частиц тела, называют тепловыми явлениями.

Кипение воды и плавление льда, нагревание железа и горение топлива – вот только некоторые из примеров тепловых явлений.

Абсолютный нуль температуры. Представим, что средняя кинетическая энергия теплового движения частиц тела уменьшилась. При этом уменьшится температура тела. При дальнейшем уменьшении энергии теплового движения будет дальше уменьшаться и температура. Вообразим, что энергия теплового движения стала равной нулю – тепловое движение частиц тела прекратилось. В этот момент была бы достигнута самая низкая температура, ниже которой быть не может (ведь движение частиц тела уже прекратилось!).

Наименьшая возможная в природе температура получила название абсолютного нуля температуры.

Вот как об этом ещё в середине XVIII века писал великий русский учёный-естествоиспытатель М.В. Ломоносов: «Движение может настолько уменьшиться, что наконец тело достигает совершенного покоя – и никакое дальнейшее уменьшение движения невозможно. Следовательно по необходимости должна существовать наибольшая и последняя степень холода». Это самая низкая температура – абсолютный нуль температуры, равна $-273\text{ }^{\circ}\text{C}$.

В наше время учёные-физики умеют создавать сверхнизкие температуры, близкие к абсолютному нулю температур. Это позволило им открыть новые физические явления, выявить особенности взаимодействия частиц вещества. При более высокой температуре обнаружению таких явлений препятствует интенсивное тепловое движение атомов.



Абсолютная шкала температур.



1.3. Какая температура принята за $0\text{ }^{\circ}\text{C}$, какая температура принята за $100\text{ }^{\circ}\text{C}$?

Английским учёным Кельвином была предложена абсолютная шкала температур. Единица абсолютной температуры называется кельвин (сокращённо обозначается К). По абсолютной шкале температур (шкале Кельвина) за нулевую температуру принят абсолютный нуль температуры:

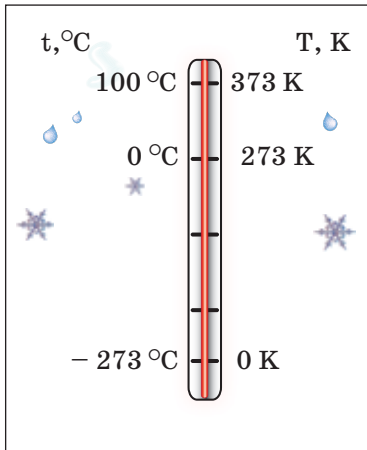


Рис. 3

$$0\text{ К} = -273\text{ }^{\circ}\text{C}.$$

При этом изменение температуры на 1 К соответствует изменению температуры на $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ (рис. 3).

Обозначим абсолютную температуру буквой T , а температуру по шкале Цельсия буквой t . Тогда формула для расчёта абсолютной температуры запишется в виде

$$T = t + 273.$$



1.4. Температура тела здорового человека $36,6\text{ }^{\circ}\text{C}$. Чему равна абсолютная температура человека?



1.5. Температура увеличилась на $5\text{ }^{\circ}\text{C}$. Чему равно при этом увеличение абсолютной температуры?

Тепловое движение, температура, сравнение механического и теплового движений, М.В. Ломоносов, абсолютный нуль температуры, абсолютная шкала температур, кельвин (К).

1.1 ● Сравните тепловое движение частиц (атомов, молекул) в газах, жидкостях, твёрдых телах.

1.2 ● Является ли важным изучение тепловых явлений? Обоснуйте свою точку зрения.

1.3 ● Приведите примеры физических явлений, подтверждающих существование теплового движения молекул.

1.4 ● Предложите опыты, которые бы подтверждали, что температура тела выше, если средняя энергия теплового движения молекул тела больше.

1.5 ● Является ли физически допустимым предложение измерять температуру в джоулях? Если да, то почему это предложение не осуществлено на практике?

§ 2. ВНУТРЕННЯЯ ЭНЕРГИЯ И СПОСОБЫ ЕЁ ИЗМЕНЕНИЯ



Физика и химия должны считать количество своих объектов неизменным и только качество их изменяющимся.

*Р. Майер (1814–1878),
немецкий естествоиспытатель, врач*

Вам уже известно, что в природе выполняется закон сохранения энергии.

Внутренняя энергия. Многочисленные наблюдения и опыты, различные физические явления подтверждают тот факт, что все тела состоят из частиц (атомов, молекул), которые движутся и взаимодействуют между собой. Движущиеся и взаимодействующие частицы тела обладают энергией.

Энергия движения и взаимодействия всех частиц тела (атомов, молекул) составляет его внутреннюю энергию.

Кинетическая и потенциальная энергия тела как целого во внутреннюю энергию не входит.

Всякое тело – воздух в футбольном мяче, вода в стакане, кусочек льда – кроме механической энергии обладает и внутренней энергией.

Механической энергией тело обладает вследствие своего движения как единого целого (кинетическая энергия) и вследствие взаимодействия с другими телами (потенциальная энергия). Внутренней же энергией тело обладает вследствие движения и взаимодействия частиц тела.

Кинетическая энергия тела, как вам известно, определяется массой тела и его скоростью. Потенциальная энергия тела, взаимодействующего с Землёй (рис. 4), вычисляется по формуле

$$E_n = mgh,$$

где m – масса тела, поднятого на высоту h ,
 $g = 9,8 \text{ Н/кг}$.

Потенциальная энергия витков упруго-деформированной пружины зависит от величины деформации (сжатия или растяжения) пружины и её упругих свойств.

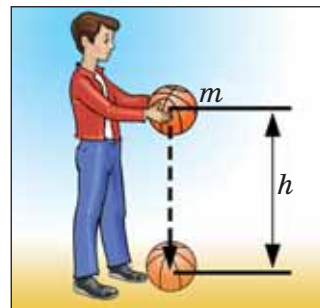


Рис. 4



2.1. В каких единицах измеряется внутренняя энергия тела?

Обсудим, от чего зависит и от чего не зависит внутренняя энергия тела, какими физическими величинами она определяется.



2.2. Какая величина характеризует энергию теплового движения частиц тела?

Во-первых, очевидно, что внутренняя энергия зависит *от числа частиц* (молекул или атомов) тела. Ведь внутренняя энергия – суммарная энергия всех частиц тела. Во-вторых, также ясно, что значение внутренней энергии тела определяется *энергией движения и взаимодействия частиц*, составляющих тело. По этим причинам внутренняя энергия связана с температурой тела. Ведь температура тела тем выше, чем больше энергия теплового движения частиц тела. Внутренняя энергия связана и с объёмом тела. При изменении объёма тела меняется расстояние между частицами, а значит, и энергия их взаимодействия¹. Не зависит внутренняя энергия от механического движения самого тела, его взаимодействия с другими телами. (Если только это не приводит к изменению движения и взаимодействия частиц тела.)

Способы изменения внутренней энергии. Представим, что космический корабль стартовал с Земли. При этом изменилась и кинетическая энергия корабля, и его потенциальная энергия взаимодействия с Землёй. Изменилась ли при этом внутренняя энергия воздуха в космическом корабле? Нет, ведь движение молекул воздуха в космическом корабле осталось прежним, энергия их теплового движения не изменилась.

Можно ли изменить внутреннюю энергию тела? Да, и для этого нужно изменить энергию частиц тела. В дальнейшем внутреннюю энергию будем обозначать U (буква латинского алфавита, читается: у). Изменение физической величины принято обозначать Δ (буква греческого алфавита, читается: дельта). Например,

$$\Delta U = U - U_0,$$

где U – конечное значение внутренней энергии тела,
 U_0 – первоначальное значение внутренней энергии тела.

¹ Молекулы газа практически не взаимодействуют между собой. Поэтому внутренняя энергия газа определяется только его температурой и числом молекул.



Рис. 5

Обратите внимание: изменение внутренней энергии ΔU может быть как положительным, так и отрицательным. Если внутренняя энергия увеличилась, то $\Delta U > 0$ (почему?). Если внутренняя энергия уменьшилась, то $\Delta U < 0$ (почему?).

Какими же способами можно изменить внутреннюю энергию тела? Возьмём металлическую скрепку и несколько раз изогнём её. Скрепка нагреется, значит, её внутренняя энергия увеличится. Измерим температуру свинцовой пластинки (рис. 5, а). Затем ударим по пластинке молотком и вновь измерим её температуру (рис. 5, б). Свинец нагреется, его внутренняя энергия увеличится. Энергично потрите ладонями одна о другую – вы почувствуете, что температура ладоней увеличилась. Следовательно, и в этом случае внутренняя энергия изменилась. Во всех рассмотренных случаях силами, действовавшими на тело, была совершена механическая работа, и это привело к изменению внутренней энергии тела. **Внутреннюю энергию тела можно изменить, совершив работу.**

Можно ли изменить внутреннюю энергию, не совершая над телом работу? Оказывается, да, можно. Опустите металлическую ложку в стакан с горячей водой (будьте осторожны, температура воды не должна быть больше 50–55 °С). Через некоторое время прикоснитесь к ложке, и вы почувствуете, что её температура увеличилась. Значит, увеличилась и внутренняя энергия ложки, хотя механическая работа и не совершалась.

Почему в этом случае изменилась внутренняя энергия? Дело в том, что молекулы воды в процессе теплового движения сталкивались с частицами металла. Но первоначально температура воды была выше температуры ложки. Значит, средняя энергия теплового движения молекул воды была больше средней энергии теплового движения частиц металла. Поэтому при столкновениях молекулы воды передавали часть своей энергии частицам металлической ложки. Это и привело к увеличению внутренней энергии ложки.

Способ изменения внутренней энергии тела без совершения работы называется теплообменом. Например, когда вы наливаете холодное молоко в горячий чай, то внутренняя энергия и молока, и чая, и чайной кружки изменяется за счёт теплообмена.

Энергия, которую тело получает или отдаёт в результате теплообмена, называется количеством теплоты.



2.3. В каких единицах измеряется количество теплоты?

Количество теплоты обозначают Q (буква латинского алфавита, читается: ку). Если в результате теплообмена тело получает энергию (количество теплоты), то $Q > 0$; если в результате теплообмена тело отдаёт некоторое количество теплоты, то $Q < 0$.

Итак, мы выяснили, что внутреннюю энергию тела можно изменить двумя способами. *Первый способ* – необходимо совершить механическую работу. *Второй способ* – без совершения работы. Такой способ изменения внутренней энергии тела называют теплообменом.



2.4. Как формулируется закон сохранения энергии?

Первый закон термодинамики. В середине XIX века была создана первая научная теория тепловых явлений – **термодинамика**. В то время атомарно-молекулярные представления ещё не являлись в науке общепризнанными. По этой причине *в термодинамике тепловые явления изучаются без рассмотрения молекулярного строения тел.*

Одной из основ термодинамики является закон сохранения энергии. **Закон сохранения энергии, применённый к тепловым явлениям, называют первым законом термодинамики.** Первый закон термодинамики устанавливает связь между изменением внутренней энергии тела ΔU , работой A , совершённой силами над телом, и количеством теплоты Q .

Изменение внутренней энергии ΔU некоторого тела может, очевидно, произойти только за счёт энергии окружающих его тел. Изменение же энергии окружающих тел произойдёт при совершении ими работы A и при передаче ими количества теплоты Q . Тогда, в соответствии с законом сохранения энергии, изменение внутренней энергии ΔU равно:

$$\Delta U = A + Q.$$

Изменение внутренней энергии тела равно сумме работы сил, действующих на тело, и количества теплоты, полученного телом.

Примеры решения задач.

Задача 1. Кузнец, ударив молотком по металлической заготовке, совершает над ней работу 0,2 кДж. На сколько изменилась внутренняя энергия металлической заготовки через некоторое время после удара, если ею окружающей среде передано количество теплоты 150 Дж?

<p><i>Дано:</i> Металлическая заготовка $A = 0,2$ кДж $Q = -150$ Дж</p> <hr/> <p>$\Delta U = ?$</p>	<p><i>СИ:</i></p> <p>200 Дж</p>	<p><i>Решение:</i> Воспользуемся первым законом термодинамики: $\Delta U = A + Q$. $\Delta U = 200 \text{ Дж} - 150 \text{ Дж} = 50 \text{ Дж}$, $\Delta U = 50 \text{ Дж}$.</p>
--	---------------------------------	---

Так как изменение внутренней энергии положительно, то это свидетельствует об увеличении внутренней энергии заготовки.

Ответ: $\Delta U = 50$ Дж.



Задача 2. Газ находится в баллоне с подвижным поршнем (рис. 6). При нагревании газа поршень смещается. При этом газ совершил работу 200 Дж, а его внутренняя энергия увеличилась на 100 Дж. Какое количество теплоты было передано газу?

<p><i>Дано:</i> Газ в баллоне с поршнем $A_{\text{газ}} = 200$ Дж $\Delta U = 100$ Дж</p> <hr/> <p>$Q = ?$</p>	<p><i>Решение:</i> Молекулы, ударяя о поршень, действуют на него с определённой силой газового давления $F_{\text{газ}}$. Но и поршень, «сдерживающий натиск молекул», действует на газ силой. Обозначим силу, с которой поршень действует на газ, как F. Тогда $F_{\text{газ}} = F$.</p>
---	--

При расширении газа и смещении им поршня самим газом (телом) будет совершена работа $A_{\text{газ}}$. Эта работа совершается газом над поршнем. Силой F , действующей на газ, будет совершена работа A . Работы A и $A_{\text{газ}}$ численно равны. (Почему? Подсказка. Вспомните, как вычисляется работа постоянной силы, направление которой или совпадает с направлением перемещения, или противоположно ему.)

Но одинаковы ли знаки работы $A_{\text{газ}}$ и работы A ? Если сила и перемещение тела совпадают по направлению, то силой совершается положительная работа. Если же сила и перемещение по направлению противоположны, то работа отрицательна.



2.5. Какой силой, $F_{\text{газ}}$ или F (рис. 6), совершается положительная работа, а какой – отрицательная?

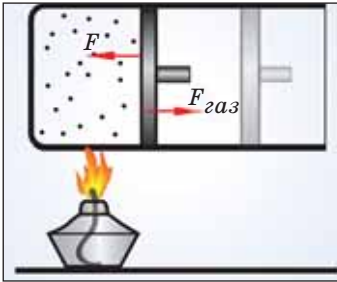


Рис. 6

Следовательно, $A = -A_{газ}$.

В соответствии с первым законом термодинамики

$$\Delta U = A + Q.$$

Или $\Delta U = -A_{газ} + Q.$

Тогда $\Delta U + A_{газ} = Q.$

$$Q = \Delta U + A_{газ}.$$

(Дальнейшие действия по решению задачи выполните самостоятельно.)

Ответ: $Q = 300$ Дж.

В результате решения задачи нами получена иная математическая формула первого закона термодинамики:

$$Q = \Delta U + A_{газ}.$$

Это позволяет дать другую словесную формулировку закона.

Количество теплоты, полученное телом, идёт на изменение его внутренней энергии и совершение этим телом работы.

Внутренняя энергия, способы изменения внутренней энергии тела: механическая работа и теплообмен, количество теплоты, термодинамика, первый закон термодинамики, $\Delta U = A + Q$, $Q = \Delta U + A_{газ}$.



Рис. 7

2.1 ● Баскетболист, получив мяч, бросает его в корзину (рис. 7). Одинакова ли внутренняя энергия воздуха в мяче при броске и в полёте? Ответ обосновать.

2.2 ● В каких из перечисленных ниже случаев внутренняя энергия тела изменилась за счёт механической работы, а в каких – благодаря теплообмену:

- горячий утюг остыл,
- по гвоздю ударили молотком,
- в чайнике нагрели воду,
- зрители хлопали в ладоши,
- в печи развели огонь,
- Солнце согрело Землю,
- напильник нагрелся при обработке детали,
- напильник нагрелся от рук рабочего,
- кусочек льда опустили в холодную воду?

2.3 ● При расширении газа его температура уменьшилась. Увеличилась или уменьшилась при этом внутренняя энергия газа? Ответ обосновать.

2.4 ● В 1798 году естествоиспытатель и политический деятель граф Румфорд провёл важное наблюдение: при высверливании канала в пушечном стволе выделяется большое количество тепла. На сколько джоулей увеличилась внутренняя энергия сверла, пушечного ствола и воды, применявшейся для их охлаждения, если сверление производилось в течение 2 часов? Механическую мощность приспособления, использовавшегося для вращения сверла, принять равной 1 кВт.

2.5 ● Свинцовый шар массой 2 кг упал на гранитную плиту с высоты 2,5 м. На сколько джоулей при этом изменилась внутренняя энергия шара? Считать, что внутренняя энергия плиты при ударе не изменяется.

§ 3. ВИДЫ ТЕПЛООБМЕНА



С длинной кочергой рук не обожжёшь.

Татарская пословица

Вы уже знаете, что одним из способов изменения внутренней энергии является теплообмен.

Теплопроводность. В эпиграфе к этому параграфу говорится, что «с длинной кочергой рук не обожжёшь». Действительно, это подтверждает житейский опыт, имеющийся у каждого из нас. Но нагреется ли кочерга, если оставить её в пламени камина или костра (рис. 8)? Да, с течением времени кочерга нагреется.



3.1. Почему кочерга нагреется? Каким образом увеличится её внутренняя энергия?

Механическая работа в данном случае не совершалась, следовательно, произошёл теплообмен. При высокой температуре пламени частицы продуктов горения, молекулы воздуха движутся с высокой скоростью, имеют большую кинетическую энергию. Сталкиваясь с частицами металла, они передают им часть своей энергии.



Рис. 8

Энергия движения частиц металла увеличивается, они колеблются более интенсивно. Увеличивается внутренняя энергия вещества, увеличивается его температура. Частицы металла взаимодействуют со своими «соседями», и энергия их движения также увеличивается.

Процесс передачи энергии, при котором сами частицы не перемещаются, но благодаря их взаимодействию энергия передаётся от более горячей части тела к менее горячей, называется теплопроводностью.



Рис. 9

Проведём опыт. К медному стержню с помощью воска прикрепим на одинаковых расстояниях гвоздики (рис. 9). Начнём нагревать конец стержня в пламени свечи или горелки. Постепенно внутренняя энергия стержня повышается благодаря процессу теплопроводности. Температура стержня увеличивается, воск плавится, и гвоздики падают вниз.

Теплопроводность веществ различна. Прикоснитесь к деревянным и металлическим частям стула или стола. На ощупь деревянная поверхность кажется теплее, чем металлическая. Хотя, очевидно, их температура одинакова – ведь они находятся в одном помещении. Это объясняется тем, что теплопроводность металла больше теплопроводности дерева. Энергия, выделяемая рукой, незамедлительно распространяется по металлу, и, в итоге, температура поверхности металла практически не увеличивается. У дерева процесс теплопроводности протекает медленнее, и температура его поверхности повышается. Поэтому дерево и воспринимается на ощупь как более тёплое.



3.2. Каково строение атома (планетарная модель Резерфорда)?

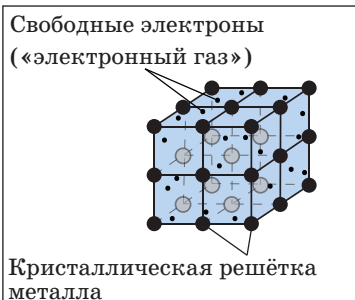


Рис. 10



По какой же причине металлы имеют высокую теплопроводность? Это объясняется особенностями их внутреннего строения. Металлы – кристаллические тела. При образовании кристалла каждый из атомов металла «теряет» по одному-два электрона. Электроны становятся свободными и могут перемещаться по всему объёму металла. Образно металл можно представить как кристаллический «скелет» (остов), наполненный

«электронным газом» (рис. 10). Таким образом, теплопроводность металлов складывается из «решёточной» теплопроводности и «электронной» теплопроводности. «Решёточная» теплопроводность обусловлена распространением энергии благодаря колебаниям кристаллической решётки твёрдого тела. «Электронная» теплопроводность – это перенос энергии подвижными электронами.

У неметаллов (дерево, стекло, резина, различные пластмассы) «электронная» теплопроводность отсутствует, и поэтому теплопроводность таких веществ меньше, чем у металлов.

Ещё меньше теплопроводность жидкостей (за исключением расплавленных металлов). Теплопроводность газов, как правило, меньше теплопроводности жидкостей.

Конвекция¹. Наполним пробирку холодной водой и поместим её верхнюю часть в пламя горелки (рис. 11). Через некоторое время вода в верхнем слое начнёт кипеть, будет образовываться пар. Но пробирку по-прежнему можно держать рукой за её нижнюю часть. Следовательно, внутренняя энергия нижних слоёв воды практически не изменяется при нагреве её верхних слоёв. Значит, теплопроводность не является основной причиной изменения внутренней энергии жидкости (а энергия меняется – ведь вода в верхних слоях кипит!).



Рис. 11



Рис. 12

Рассмотрим некоторый объём воды V , расположенной вблизи горячей стенки пробирки в области пламени горелки (рис. 12). Температура воды в этой области выше, чем температура окружающей воды. Ввиду теплового расширения плотность горячей воды $\rho_{гор}$ меньше плотности $\rho_{хол}$ окружающей её холодной воды.

$$\rho_{гор} < \rho_{хол} \cdot \quad (3.1)$$

¹ От латинского слова *convectio* – привоз, принесение.



3.3. – Как определить массу m вещества, если известны его плотность ρ и объём V ?

- Как вычислить силу тяжести $F_{тяж}$, действующую на тело массой m ?
- Как вычислить архимедову силу $F_{арх}$, действующую на тело объёмом V , погружённое в жидкость плотностью ρ ?

На выделенный объём V горячей воды действуют две силы – сила тяжести и архимедова сила.

$$F_{тяж} = mg.$$

$$m = \rho_{гор} V.$$

Следовательно, $F_{тяж} = \rho_{гор} gV.$ (3.2)

С другой стороны, $F_{арх} = \rho_{хол} gV.$ (3.3)

Сравним значение архимедовой силы и силы тяжести, используя формулы (3.1) – (3.3).

$$F_{арх} > F_{тяж}.$$

Но если архимедова сила *больше* силы тяжести, то горячая вода будет двигаться вверх и всплывать. Её место займёт холодная вода, которая также будет прогрета горячей стенкой. Температура воды повысится – вода вновь всплывёт. Таким образом, всё новые и новые порции воды будут нагреваться горячей стенкой, и внутренняя энергия жидкости будет возрастать.



3.4. Действует ли архимедова сила на тело, погружённое не в жидкость, а в газ?

Аналогичным¹ образом происходит изменение внутренней энергии и в газах. Например, поднимаются вверх слои воздуха, прогретые пламенем костра. Это легко видеть по движению дыма при горении костра.

Теплообмен, происходящий благодаря переносу энергии перемещающимися слоями жидкости или газа, называют конвекцией.

В рассмотренных нами примерах изменение внутренней энергии тел происходило без совершения над ними механической работы. Следовательно, конвекция, наряду с теплопроводностью, один из видов теплообмена. Очевидно, что конвекция может происходить только в жидкостях и газах, потому что только там возникает архимедова сила. Ведь именно выталкивающая (архимедова) сила является причиной «всплытия» более горячих, а потому и менее плотных, слоёв жидкостей и газов.

¹ Аналогия – сходство предметов, явлений, процессов в каких-либо свойствах.

Излучение. Каким образом, например, передаётся энергия от Солнца на Землю? Ведь теплопроводность и конвекция в этом случае не происходят – между Солнцем и Землёй 150 млн км пустоты. Но то, что теплообмен между Солнцем и Землёй действительно есть, сомневаться не приходится. Именно под действием солнечной энергии происходит таяние снега и льда весной, нагреваются воздух, вода, почва.

Наряду с теплопроводностью и конвекцией существует ещё один вид теплообмена – **излучение**.

Учёными установлено, что *любое нагретое тело излучает тепловую энергию*. Только тело, которое имело бы температуру абсолютного нуля, не излучало бы энергию. Во всех остальных случаях и кусок льда, и человек, и тёплая батарея отопительной системы, и горячая спираль электронагревательного прибора постоянно излучают тепловую энергию. У вдумчивого ученика, конечно же, уже возник вопрос: «Но если тело постоянно излучает энергию, то оно, потратив энергию, должно охладиться до температуры абсолютного нуля. Однако этого не наблюдается. Почему?» Дело в том, что всякое тело наряду с излучением энергии одновременно и *поглощает* тепловую энергию, которую излучают окружающие его тела.

Для изучения закономерностей теплового излучения используют теплоприёмник (рис. 13). Он представляет собой жидкостный манометр 1, соединённый резиновой трубкой 2 с металлической коробочкой 3. Тепловая энергия, излучённая каким-либо телом, поглощается коробочкой теплоприёмника. Воздух в коробочке и резиновой трубке нагревается, его давление увеличивается, и столбик жидкости в манометре смещается.

Расположим на расстоянии 15–20 см от теплоприёмника электронагревательный прибор с открытой спиралью (рис. 14). Теплопроводность воздуха невелика, конвективные потоки воздуха от нагретой спирали поднимаются вверх. Таким образом, теплообмен между нагретой спиралью и теплоприёмником осуществляется только благодаря излучению.

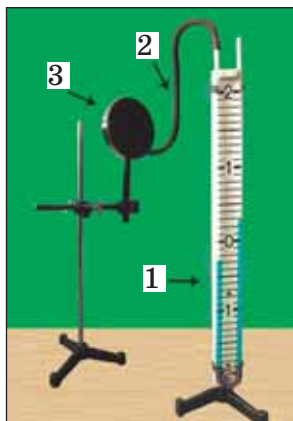


Рис. 13



Рис. 14

Проводя опыт, будем менять накал спирали, увеличивая её температуру. В результате обнаруживается, что чем выше температура спирали, тем больше смещается столбик жидкости в манометре. **При повышении температуры тело излучает каждую секунду больше энергии.**



3.5. Какая величина характеризует быстроту изменения энергии?



Рис. 15

Мощность теплового излучения зависит также и от качества излучающей поверхности. Возьмём металлическую ёмкость, у которой одна из боковых поверхностей выкрашена в белый цвет, а другая – в чёрный (рис. 15). Расположим по обе стороны от ёмкости на одинаковых расстояниях теплоприёмники. Наполним ёмкость горячей водой и пронаблюдаем – как смещаются столбики жидкости в манометрах теплоприёмников. По результатам опыта можно сделать вывод: *тёмная поверхность нагретого тела излучает больше тепловой энергии, чем светлая.*

Если поворачивать теплоприёмник к источнику теплового излучения поочерёдно тёмной и светлой блестящей поверхностями, то также легко сделать вывод о том, что *тёмная поверхность поглощает больше тепловой энергии, чем светлая.* Каждый из вас, вероятно, замечал, что в жаркий летний день «на солнце» лучше находиться в светлой одежде, чем в тёмной.

Теплопроводность, конвекция, излучение.

- 3.1** В железную кружку налит чай. Опишите, как осуществляется теплообмен между чаем и стенками кружки.
- 3.2** Почему пламя спиртовки направлено вверх (см. рис. 9)?
- 3.3** Почему весной снег в городе тает быстрее, чем за городом?
- 3.4** Находясь около костра или камина, вы чувствуете, как нагревается ваше тело. Каким способом в этом случае вам передаётся энергия? Ответ обоснуйте.
- 3.5** Железный чайник наполнили горячей водой и поставили на металлическую плиту. За 10 минут нагретым чайником излучено количество теплоты 20 Дж. Благодаря конвективным потокам окружающему воздуху передано количество теплоты 12 Дж. Посредством теплопроводности металлической плитой получено от чайника количество теплоты 145 Дж. На сколько Джоулей уменьшилась внутренняя энергия воды и чайника? За первую или за десятую минуту произошло большее уменьшение внутренней энергии?

§ 4. ТЕПЛООБМЕН В ПРИРОДЕ И ТЕХНИКЕ



Почему полóва¹ и тёплое укрытие предохраняют снег от таяния?

*Из сочинения Плутарха,
древнегреческого писателя и историка
(около 45 – около 127)
«Застольные беседы»*

Вам уже известны различные виды теплообмена.

В природе, технике, быту мы часто встречаем и практически используем различные виды теплообмена – теплопроводность, конвекцию, излучение.

Например, при проектировании зданий и сооружений учитывают, что разные вещества обладают различной теплопроводностью. Для лучшей теплоизоляции необходимо использовать вещества с малой теплопроводностью. На рисунке 16 показано, как должна отличаться толщина стен из различных строительных материалов, чтобы они имели одинаковые теплоизоляционные свойства.

Обратите внимание, что хорошие теплоизоляционные качества имеют пористые материалы. Это объяснимо – ведь воздух, заполняющий поры, обладает малой теплопроводностью. По этой причине туристы надевают в зимний поход нетесную обувь и не одну, а несколько пар носков. Дачники и садоводы стараются укрыть многолетние насаждения на зиму соломой.

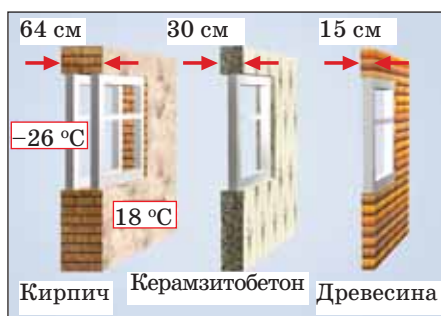


Рис. 16



Рис. 17

¹ Полóва (мякина) – части колосьев, листьев, получаемые при обмолоте злаков (пшеницы, ржи).



Рис. 18

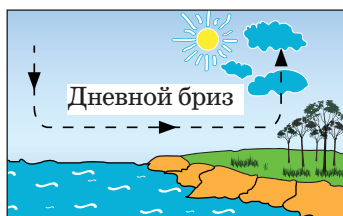


Рис. 19



Рис. 20

Учитывается на практике и явление конвекции. Для нормального теплоснабжения и вентиляции здания батареи отопления устанавливаются внизу, а форточки располагают в верхней части окон (рис. 17). Это позволяет создать устойчивые конвективные потоки воздуха.

Постоянный приток свежего воздуха (тяги) необходим для горения топлива. Для этого над топкой, где сгорает топливо, устанавливают трубу. Воздух над топкой, дым, образующийся при горении топлива, имеют высокую температуру. Значит, плотность этих газов мала. По этой причине горячий воздух и дым «всплывают» по трубе вверх, а холодный воздух поступает в топку и поддерживает горение (рис. 18).



Мощные конвективные потоки воздуха возникают на морских побережьях – это так называемые дневные и ночные бризы. Дневной бриз – это ветер, который дует с моря на побережье, а ночной бриз имеет обратное направление. По какой же причине возникают бризы? Дело в том, что днём суша нагревается быстрее, чем вода, и температура суши выше температуры водоёма. Поэтому нагретый над сушей воздух поднимается вверх, а на его место поступает более холодный воздух с моря. Так возникает дневной бриз (рис. 19). Ночью же суша быстро остывает, а вода сохраняет более высокую температуру. Поэтому ночью возникает движение воздуха с побережья в сторону моря (рис. 20).

В технике часто применяют не естественную, а вынужденную (принудительную) конвекцию (рис. 21).

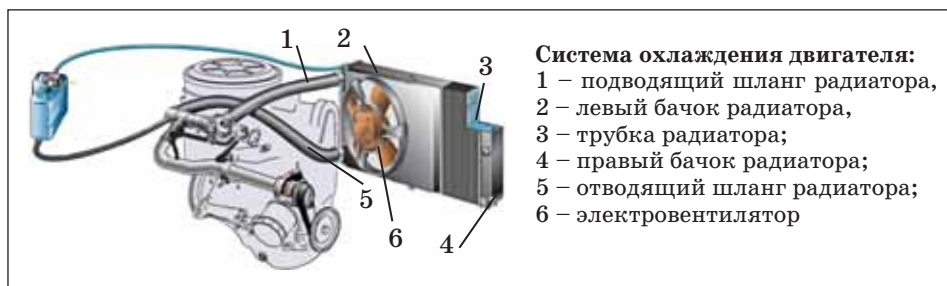


Рис. 21

Самым важным и наиболее мощным источником теплового излучения для обитателей Земли является Солнце. Современная наука установила, каков химический состав и строение Солнца – главной для нас звезды (рис. 22). Солнце состоит в основном из водорода. В центре звезды её верхние слои создают гигантское давление в десятки миллиардов (!) атмосфер, а температура вещества составляет десятки миллионов (!) градусов Цельсия.

При таких условиях в момент столкновения ядер водорода происходит их слияние в ядро другого химического элемента – гелия. В результате этой *термоядерной реакции* выделяется огромное количество энергии.

Область термоядерных реакций простирается не далее 0,3 радиуса Солнца от его центра. Каким же образом выделяющаяся при реакциях энергия достигает наружных слоёв Солнца? Вначале (от 0,3 до 0,7 радиуса Солнца) энергия передаётся от слоя к слою вещества путём излучения. Нижние слои вещества излучают энергию, она поглощается вышележащими слоями, излучается этими слоями, вновь поглощается более высоко расположенными слоями и так далее. Выше (от 0,7 радиуса Солнца до его верхних слоёв), где давление и плотность вещества уже меньше, возникает конвекция. Благодаря конвекции энергия переносится в верхние наружные слои, образующие атмосферу Солнца. Атмосфера Солнца излучает энергию. Температура излучающих слоёв атмосферы Солнца около 6000 °С.

В разнообразном мире звёзд Солнце занимает рядовое место. Выясним, какие значения, в сравнении с Солнцем, имеют такие характеристики звёзд, как температура, размер, мощность излучения и масса. При наблюдении звёздного неба заметно, что цвет звёзд различен; значит, различна и температура поверхности звёзд. Холодные красные звёзды имеют температуру 3000 °С, горячие белые звёзды – от 10 000 °С до 20 000 °С, а голубовато-белые – до 50 000 °С. Наше Солнце – жёлтая звезда.

Существуют звёзды, резко отличающиеся от Солнца по размерам (рис. 23). Звёзды-сверхгиганты больше Солнца в сотни раз, звёзды-гиганты – в десятки раз. Имеются и звёзды-карлики, которые меньше

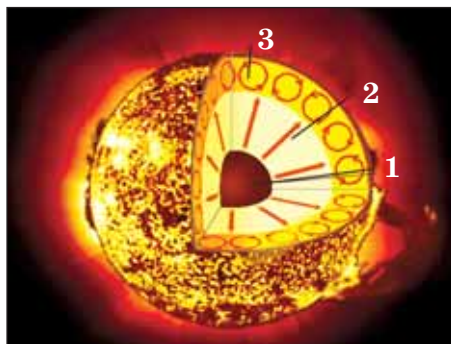


Рис. 22. 1 – ядро; 2 – зона радиации; 3 – зона конвекции

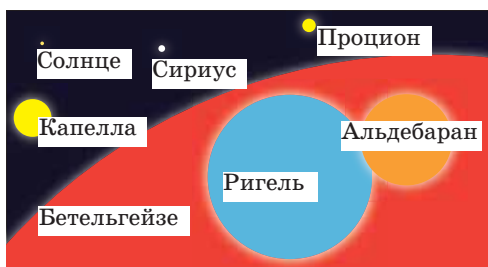


Рис. 23

нашего светила в сто раз, т. е. их размер сравним с размером Земли. У большинства звёзд мощность излучения световой энергии сравнима с мощностью Солнца. Однако известны как звёзды, превосходящие Солнце по мощности в тысячи раз, так и звёзды, чья мощность в десятки раз меньше мощности Солнца.

Масса звёзд в большинстве случаев заключена в пределах от 10 до 0,1 массы Солнца. Любая, даже самая маленькая по массе, звезда массивнее Земли или другой планеты Солнечной системы.



Интересным примером практического применения излучения являются так называемые системы ИК (инфракрасного)-наблюдения. В этих системах используются невидимые глазом человека тепловые лучи, при пересечении которых срабатывают приборы, оповещая, например, о проникновении на охраняемую территорию. Существуют специальные приборы ночного видения, тепловизоры, которые позволяют регистрировать¹ невидимые глазом тепловые лучи, испускаемые нагретым предметом – работающим двигателем автомобиля, телом человека. К примеру, медицинский тепловизор, изображённый на рисунке 24, имеет чувствительность 0,08 °С. Прибор позволяет выделять людей с повышенной температурой из движущейся толпы. (Повышенная температура указывает на возможное вирусное заболевание человека.)

Снимки, получаемые в тепловых лучах с самолёта или космического аппарата, помогают оценить состояние сельскохозяйственных угодий, определить наличие воды в почве (рис. 25).



Рис. 24



Рис. 25

¹ Регистрировать – записывать, отмечать.

Теплоизоляция, теплоснабжение и вентиляция зданий, тяга в трубе, бризы, вынужденная конвекция, излучение Солнца, термоядерный синтез, схема внутреннего строения Солнца, система ИК-наблюдения, тепловизор.

4.1 ● Чтобы избежать перегрева радиотехнических деталей, микросхем, их часто крепят на металлические ребристые пластины – теплоотводы (рис. 26). Почему это позволяет улучшить теплообмен?

4.2 ● Почему выражение «шуба греет» неверно?

4.3 ● Летом воздух в комнате нагревается, получая энергию различными способами: через стекло, которое пропускает солнечную энергию; через открытое окно, в которое входит тёплый воздух; через стены. С каким видом теплообмена мы имеем дело в каждом случае?

4.4 ● Для сохранения чая или кофе горячим используют термосы (рис. 27). Термос состоит из стеклянного баллона 1 с двойными стенками; воздух между стенками выкачан. Внутренние поверхности баллона покрыты блестящим зеркальным металлическим слоем 2. Сосуд закупоривают пробкой 3 и помещают в защитный футляр 4.

Какие особенности устройства термоса позволяют уменьшить теплопроводность, конвекцию, излучение? Можно ли в термосе сохранить мороженое холодным?

4.5 ● При изучении процесса излучения теплоприёмник был соединён с жидкостным манометром и расположен рядом с электроплиткой (см. рис. 14). Теплоприёмником было получено количество теплоты 4,4 Дж. Благодаря этому воздух в теплоприёмнике нагрелся и, расширившись, совершил работу 0,2 Дж. Определите изменение внутренней энергии теплоприёмника и воздуха в нём.

4.6 ● В повести «Мещерская сторона» русского писателя К.Г. Паустовского говорится: «Я вырывал в сене глубокую нору, залезал в неё и всю ночь спал в стого, будто в запертой комнате». Почему сено обладает плохой теплопроводностью?

4.7 ● При полёте космического корабля в околоземном пространстве обшивка корабля нагревается за счёт трения о воздух, а также солнечным излучением. Какая из причин нагревания приобретает большее значение при увеличении высоты полёта? Ответ обоснуйте.

4.8 ● Почему кирпичной дымовой трубой создаётся большая тяга, чем железной трубой такой же высоты?

4.9 ● Почему в печных трубах зимой тяга больше, чем летом?

4.10 ● Какое количество теплоты выделилось при сгорании пороха в патроне, если внутренняя энергия образовавшихся пороховых газов составила 9,5 кДж, а кинетическая энергия вылетевшей пули 2 кДж?



Рис. 26

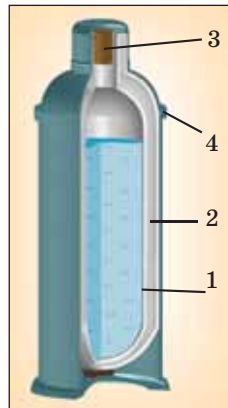


Рис. 27

§ 5. ГОРЕНИЕ ТОПЛИВА. УДЕЛЬНАЯ ТЕПЛОТА СГОРАНИЯ ТОПЛИВА



Одним факелом моря не нагреть.

Древнеиндийская пословица

Вам уже известно, что молекулы вещества состоят из атомов.

Реакция горения топлива. Всё многообразие веществ, встречающихся в природе и созданных человеком, есть результат соединения атомов различных химических элементов. Небольшого (около ста) числа химических элементов оказалось достаточно природе и человеку, чтобы создать несколько миллионов известных на сегодня химических соединений.

Важное место среди них занимают вещества, образующиеся при соединении различных атомов с атомами кислорода. Так, например, при соединении атома углерода с атомами кислорода образуется углекислый газ (рис. 28). При соединении атомов водорода с атомами кислорода образуется водяной пар (рис. 29).

В науке химии реакции такого вида получили название реакций окисления. Также в химии и физике *реакции соединения вещества с кислородом называют реакциями горения.*

При реакции горения происходит объединение отдельных атомов (например, углерода и кислорода) в молекулу нового химического соединения. При этом *энергия электрического взаимодействия* электронов и ядер *уменьшается*. Следовательно, в соответствии с законом сохранения энергии, *увеличивается внутренняя энергия* образовавшегося вещества (продукта горения).

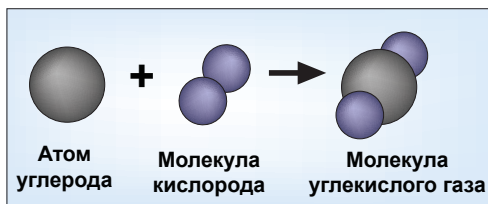


Рис. 28

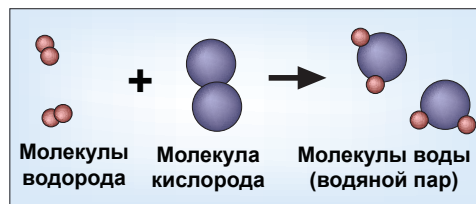


Рис. 29

Температура образовавшихся продуктов горения высока (например, температура пламени спиртовой горелки 1000–1200 °С). По этой причине происходит интенсивное излучение тепловой энергии.

Энергию, выделяющуюся при химической реакции горения топлива, называют теплотой сгорания топлива.

Удельная теплота сгорания топлива. Энергия электрического взаимодействия у разных химических элементов при реакции окисления (горения) изменяется неодинаково. Значит, при сгорании различных видов топлива будет выделяться разная энергия (теплота сгорания).

Для характеристики «энергетического качества» топлива введена физическая величина – *удельная теплота сгорания топлива*.

Удельная теплота сгорания топлива – это физическая величина, равная количеству теплоты, выделяющемуся при полном сгорании одного килограмма топлива.

Обозначается величина буквой q (читается: ку малое).

В таблице 2 приведены значения удельной теплоты сгорания топлива для различных видов топлива.

Таблица 2. Удельная теплота сгорания топлива, МДж/кг

Бензин	46	Спирт	27
Водород	120	Торф	14
Газ природный	44	Топливо дизельное	43
Дрова сухие	10	Уголь бурый	11
Керосин	43	Уголь древесный	34
Порох	3,8	Уголь каменный	27



5.1. Какова единица измерения физической величины «удельная теплота сгорания топлива»?

Что означают цифры, указанные в таблице 2? Например, удельная теплота сгорания природного газа 44 МДж/кг. Это означает, что при полном сгорании 1 кг природного газа выделяется 44 МДж энергии. Сколько энергии выделится при сгорании 2 кг природного газа? Ясно, что выделится 88 МДж энергии (44 МДж/кг · 2 кг = 88 МДж). Какое количество теплоты выделится при сгорании 3 кг природного газа? Выделится 132 МДж. (Как вычислено это значение?)



5.2. Как рассчитать количество теплоты Q , выделяющееся при сгорании топлива? Пусть удельная теплота сгорания топлива q , а масса сгоревшего топлива m .

Количество теплоты, выделяющееся при сгорании топлива (теплоту сгорания), рассчитывают по формуле

$$Q = qm.$$

Примеры решения задач.

Задача 1. Какое количество теплоты выделится при полном сгорании 100 кг топлива, которое на 60 % состоит из бурого угля и на 40 % – из торфа?

Дано:

Два топлива

$m = 100$ кг

Бурый уголь – 60 %

Торф – 40 %

$Q = ?$

Решение:

Энергия выделится и при сгорании бурого угля, и при сгорании торфа. Ясно, что общее количество выделившейся теплоты Q равно

$$Q = Q_{\text{уголь}} + Q_{\text{торф}},$$

где $Q_{\text{уголь}}$ – количество теплоты, выделившееся при сгорании угля, а $Q_{\text{торф}}$ – количество теплоты, выделившееся при сгорании торфа.



5.3. Какие величины необходимо знать для расчёта $Q_{\text{уголь}}$ и $Q_{\text{торф}}$?

Какие из величин уже известны?

Как определить неизвестные величины?

Уголь составляет 60 % от общей массы топлива (по условию задачи масса всего топлива 100 кг), следовательно, масса угля 60 кг. Масса торфа 40 кг.

$$m_{\text{уголь}} = 60 \text{ кг},$$

$$m_{\text{торф}} = 40 \text{ кг}.$$

Удельную теплоту сгорания бурого угля $q_{\text{уголь}}$ и удельную теплоту сгорания торфа $q_{\text{торф}}$ определим из таблицы 2:

$$q_{\text{уголь}} = 11 \text{ МДж/кг},$$

$$q_{\text{торф}} = 14 \text{ МДж/кг}.$$

Окончательно имеем

$$Q = q_{\text{уголь}} m_{\text{уголь}} + q_{\text{торф}} m_{\text{торф}}.$$

(Дальнейшие действия по решению задачи выполните самостоятельно.)

Ответ: $Q = 1200$ МДж.

Задача 2. В цилиндре под подвижным поршнем находится 0,1 г горючего газа в смеси с воздухом (рис. 30). При подаче на свечу зажигания электрического напряжения возникает искра, и горючий газ сгорает. Чему равна удельная теплота сгорания смеси, если продуктами горения совершена работа 3,6 кДж по перемещению поршня, и их внутренняя энергия возросла на 0,60 кДж?

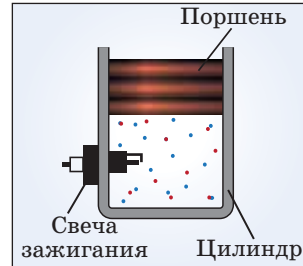


Рис. 30

Дано:

Горение газа
 $m = 0,1 \text{ г}$
 $A_{\text{газ}} = 3,6 \text{ кДж}$
 $\Delta U = 0,60 \text{ кДж}$

$q - ?$

СИ:

3600 Дж
 600 Дж

Решение:

Для определения удельной теплоты сгорания топлива q необходимо знать, какое количество теплоты Q выделится при сгорании топлива массой m .

$$Q = qm.$$

Отсюда

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



5.4. Как формулируется первый закон термодинамики?

В соответствии с первым законом термодинамики

$$Q = \Delta U + A_{\text{газ}}.$$

(Дальнейшие действия по решению задачи выполните самостоятельно.)

Ответ: $q = 42 \text{ МДж/кг}$.



Задача 3. Турист подогревает воду в алюминиевой кружке, используя таблетки сухого горючего. На сколько градусов повысится температура воды в кружке, если известно, что турист использовал 2 таблетки по 10 г каждая? Считать, что на нагревание воды и кружки идёт 20 % энергии, выделяющейся при сгорании топлива. Удельная теплота сгорания топлива 30 МДж/кг. Для нагревания воды и кружки на 1 °С требуется количество теплоты $Q_1 = 2000 \text{ Дж}$. (Вода в кружке не кипит.)

Дано:

Нагревание воды
 $m = 2 \cdot 10 \text{ г}$
 $\text{КПД} = 20 \%$
 $q = 30 \text{ МДж/кг}$
 $Q_1 = 2000 \text{ Дж/}^\circ\text{С}$

$\Delta t - ?$

СИ:

0,02 кг
 $30 \cdot 10^6 \text{ Дж/кг}$

Решение:

Количество теплоты, выделившееся при сгорании топлива, легко определить:

$$Q = qm.$$

Из этого количества теплоты лишь 20 % (0,2) пошло непосредственно на нагревание воды и кружки. Следовательно, количество теплоты, затраченное на нагревание $Q_{нагр}$, равно

$$Q_{нагр} = 0,2 Q.$$

$$Q_{нагр} = 0,2 qm.$$

Итак, нам известно количество теплоты, затраченное на нагревание воды и кружки, – $Q_{нагр}$. Из условия задачи также известно, какое количество теплоты необходимо для нагревания воды и кружки на 1°C , – это Q_1 . Теперь легко сообразить, что вода и кружка нагреются на Δt градусов:

$$\Delta t = \frac{Q_{нагр}}{Q_1}.$$

Или
$$\Delta t = \frac{0,2 qm}{Q_1}.$$

$$\Delta t = \frac{0,2 \cdot 30 \cdot 10^6 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}} \cdot 0,02 \text{ кг}}{2000 \frac{\text{Дж}}{^\circ\text{C}}} = 60^\circ\text{C}.$$

Действия с единицами измерений:

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

Ответ: $\Delta t = 60^\circ\text{C}$.

- 5.1** ● Какое количество теплоты выделяется при полном сгорании 20 кг древесного угля?
- 5.2** ● Сколько энергии выделяется при полном сгорании бензина, объём которого равен 5 л? Плотность бензина 710 кг/м^3 .
- 5.3** ● Какое топливо надо сжечь, чтобы при полном сгорании 2 т этого топлива выделилось энергии $2,8 \cdot 10^7 \text{ кДж}$?
- 5.4** ● На сколько метров следует поднять пудовую гирию (16 кг), чтобы её потенциальная энергия была равна тому количеству теплоты, что выделяется при полном сгорании 10 г пороха?
- 5.5** ● Удельная теплота сгорания сосновых дров несколько выше, чем берёзовых. Почему же выгоднее купить кубометр берёзовых дров, а не сосновых? Цена дров одинакова. Плотность сосны 510 кг/м^3 , плотность берёзы 640 кг/м^3 .

§ 6. ТЕПЛОВЫЕ ДВИГАТЕЛИ



Повсюду, где существует разность температур... возможно получение движущей силы¹.

*С. Карно (1796–1832),
французский учёный и инженер*

Вы уже знаете, что при сгорании топлива выделяется энергия.

Что такое тепловой двигатель? Проведём ещё раз опыт, изображённый на рисунке 2. Мы наблюдаем, что благодаря энергии, выделяющейся при сгорании топлива, внутренняя энергия воды увеличивается, и водяной пар совершает механическую работу, выталкивая пробку. В истории техники первым изобретателем, сконструировавшим устройство, совершающее работу за счёт энергии топлива, считается древнегреческий учёный Герон Александрийский (возможно, около 150–100 гг. до н.э.). В его приборе (рис. 31) струи пара, образующиеся при нагревании воды в шаре, вырывались в разные стороны, и сосуд вращался. Модель² такого прибора легко изготовить, используя жестяную банку, пробку и две стеклянные трубки (рис. 32).



Рис. 31



Рис. 32

¹ Под «движущей силой» С. Карно понимал работу.

² Модель – устройство, воспроизводящее строение и действие какого-либо другого устройства.

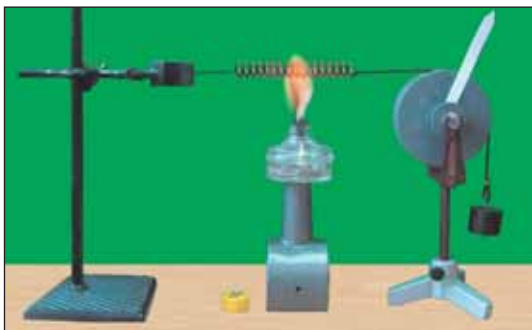


Рис. 33

Расположим железную пружину горизонтально. Один конец пружины закрепим, а другой перекинем через блок и прикрепим к нему груз (рис. 33). Нагреем пружину, она удлинится, и груз опустится вниз – будет совершена механическая работа. Прекратим нагревание. Пружина отдаст некоторое количество теплоты окружающему воздуху, остынет, и груз вернётся в прежнее положение. Если вновь потратить топливо и нагреть пружину, то процесс повторится.

Устройства, которыми совершается механическая работа за счёт внутренней энергии топлива, называются тепловыми двигателями.

Примерами теплового двигателя являются паровая турбина, двигатель внутреннего сгорания, ракетный двигатель. (С их техническим устройством вы познакомитесь в следующем параграфе.)

Принципиальная схема¹ теплового двигателя. Есть ли что-нибудь общее в устройстве, например, автомата Калашникова и тела человека? Оказывается, с точки зрения теории тепловых явлений – термодинамики – и автомат Калашникова, и тело человека объединяет то, что это *тепловые двигатели*. И то, и другое «устройства» совершают механическую работу за счёт энергии топлива (пороха – в патроне автомата, пищи – в организме человека). И в автомате, и в организме человека имеется «нагреватель». «*Нагреватель*» – элемент двигателя, в котором происходит горение (окисление) топлива и который передаёт некоторое количество теплоты «рабочему телу». «*Рабочее тело*» – элемент теплового двигателя, совершающий механическую работу. В автомате Калашникова – это пороховые газы, толкающие пулю по стволу; в организме человека – мышцы, с помощью которых человек совершает движения. В тепловом двигателе, изображённом на рисунке 33, «рабочее тело» – это расширяющаяся при нагревании железная проволока. В приборе Герона (см. рис. 31) «рабочее тело» – расширяющийся водяной пар.

¹ Схема – упрощённое изображение чего-либо.

Что происходит с рабочим телом после совершения им работы в двигателе? Возможны два варианта. *Во-первых*, рабочее тело – «отработанный пар» – может покинуть тепловой двигатель. Горячие пороховые газы вылетают из ствола автомата в воздух, водяной пар в приборе Герона выходит из трубок. *Во-вторых*, рабочее тело может быть охлаждено и возвращено в первоначальное состояние. Так, железная проволока (см. рис. 33), охлаждаясь, отдаёт некоторое количество теплоты окружающему воздуху. Элемент теплового двигателя, которому рабочим телом передаётся некоторое количество теплоты, называют «холодильником». Чаще всего на практике холодильником является атмосфера Земли.

При разработке термодинамики – теории тепловых явлений – учёными был достоверно установлен очень важный факт. Оказывается, энергия, передаваемая рабочим телом холодильнику, для нас *теряет практическую ценность*. Почему? Эту энергию – энергию беспорядочного теплового движения, рассеянную по «холодильнику», невозможно вновь направить в «нагреватель» и превратить в упорядоченное механическое движение двигателя.

Основными обязательными элементами любого теплового двигателя являются: нагреватель, рабочее тело, холодильник.

Каждый из элементов обязательно должен быть (рис. 34). Не будет нагревателя – не будет поступать энергия в двигатель, двигатель не будет действовать. Не будет рабочего тела – не будет совершаться работа, двигатель не будет действовать. Не будет холодильника – не будет возврата двигателя в первоначальное состояние, двигатель не будет действовать.

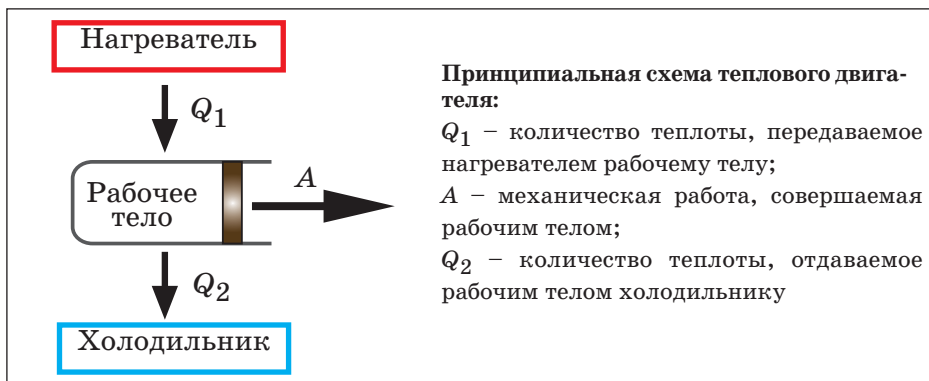


Рис. 34

КПД теплового двигателя. При передаче нагревателем рабочему телу количества теплоты Q_1 часть полученной энергии пойдёт на совершение работы A , а часть будет обязательно передана холодильнику Q_2 .



6.1. Как рассчитать механическую работу, совершённую тепловым двигателем, если известны Q_1 и Q_2 ?

При этом тепловым двигателем будет совершена работа A , равная

$$A = Q_1 - Q_2.$$

И всегда $A < Q_1$ (почему?).



6.2. Как вычисляется КПД простых механизмов?

Чем большую долю составляет механическая работа A двигателя от теплоты сгорания топлива Q_1 , тем двигатель «лучше». Лучше, эффективнее в том смысле, что большая часть энергии топлива идёт на совершение работы, а не передаётся холодильнику, окружающей среде. Физическая величина, показывающая, насколько эффективно используется двигателем энергия топлива, называется коэффициентом полезного действия (КПД) теплового двигателя.

КПД теплового двигателя равен отношению механической работы, совершённой двигателем, к количеству теплоты, полученному двигателем от нагревателя, выраженному в процентах.

$$\text{КПД} = \frac{A}{Q_1} \cdot 100 \%$$



6.3. В каких единицах измеряется КПД?

Механическая работа, совершённая двигателем, всегда меньше количества теплоты, полученного рабочим телом от нагревателя, следовательно, КПД всегда меньше 1 (100 %).

$$\text{КПД} < 1.$$



Максимально возможный КПД. При работе любого теплового двигателя только часть энергии, передаваемой от нагревателя рабочему телу, идёт на совершение механической работы. По этой причине КПД теплового двигателя всегда меньше 1 (100 %).

В этой связи возникает практически важный вопрос: «Если стопроцентный КПД теплового двигателя недостижим в принципе, то к какому же максимально возможному значению КПД должны стремиться создатели тепловых двигателей? Чему равно то предельное значение КПД, которое физически

достижимо?» Законы термодинамики позволили учёным получить ответ на этот вопрос. Оказывается, максимально возможное теоретическое значение КПД теплового двигателя определяется только значениями абсолютной температуры нагревателя T_1 и холодильника T_2 .

$$КПД_{\text{макс}} = \frac{T_1 - T_2}{T_1} \cdot 100 \%$$

Задача. В паровой турбине начальная и конечная температуры пара равны соответственно 550 °С и 40 °С. Определите максимальный КПД турбины.

Дано:

Паровая турбина

$$t_1 = 550 \text{ °С}$$

$$t_2 = 40 \text{ °С}$$

$$КПД_{\text{макс}} - ?$$

СИ:

$$T_1 = 823 \text{ К}$$

$$T_2 = 313 \text{ К}$$

Решение:

Абсолютная температура нагревателя и холодильника соответственно равны:

$$T_1 = t_1 + 273,$$

$$T_2 = t_2 + 273.$$

$$КПД_{\text{макс}} = \frac{T_1 - T_2}{T_1} \cdot 100 \%$$

(Дальнейшие действия по решению задачи выполните самостоятельно.)

Ответ: 62 %.

Фактически же КПД реальных паровых турбин существенно меньше и составляет около 40 %.



6.4. Как следует изменить температуру нагревателя и (или) холодильника, чтобы повысить $КПД_{\text{макс}}$? Что является практически более осуществимым – изменение температуры нагревателя или холодильника?

Тепловой двигатель, принципиальная схема теплового двигателя, **основные элементы теплового двигателя: нагреватель, рабочее тело, холодильник**, **КПД теплового двигателя**, $КПД = \frac{A}{Q_1} \cdot 100 \%$, максимально возможный КПД, $КПД_{\text{макс}} = \frac{T_1 - T_2}{T_1} \cdot 100 \%$.

6.1 ● В тепловой машине за счёт каждого килоджоуля энергии, получаемой от нагревателя, совершается работа 350 Дж. Определите КПД тепловой машины.

6.2 ● Тепловой двигатель мощностью 20 кВт за 5 минут получает от нагревателя количество теплоты 18 МДж. Чему равен КПД теплового двигателя?

6.3 ● Тепловой двигатель получил от нагревателя количество теплоты 800 кДж и отдал в окружающую среду 600 кДж. Каков КПД двигателя?

6.4 ● Количество теплоты, переданное холодильнику, в 3 раза превосходит величину механической работы, совершённой при этом двигателем. Определите КПД такого двигателя.

6.5 ● Представьте, что вам нужно провести экспертизу проекта теплового двигателя, конструктор которого утверждает, что КПД его двигателя будет составлять 100 %. Какие аргументы вы могли бы высказать в опровержение данного утверждения?

§ 7. ПРИМЕНЕНИЕ ТЕПЛОВЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ



Изучение этих машин чрезвычайно интересно, так как их значение велико...

По-видимому, им суждено сделать большой переворот в цивилизованном мире.

С. Карно, французский учёный и инженер

Вы уже знаете, что тепловые двигатели – это устройства, преобразующие тепловую энергию в механическую энергию.

Человек в поисках энергии. Одним из самых ярких событий, произошедших на заре человеческой цивилизации, стало овладение огнём. Пламя костра позволяло греться, разгоняло мрак первобытного леса. Огонь сделал человека даже сильнее физически – благодаря огню пища стала легко усвояемой, ценность продуктов питания повысилась. Появилось гончарное ремесло – ведь только после обжига мягкая глина превращается в прочную керамику. Возникла металлургия – вначале на основе меди и бронзы (сплав меди с другими металлами), потом на основе железа.

Постепенно энергетические потребности человечества росли: развивалось земледелие, расширялась добыча руды, больше производилось орудий труда. Человек приручил животных (лошадей, буйволов, верблюдов). Люди обратились к тем источникам энергии, которые всегда «под рукой» – к текущей воде и ветру (рис. 35). К середине XVIII века повсеместно водяные колёса приводили в движение ткацкие, прядильные, металлообрабатывающие станки. В десятки раз повысилась про-



Рис. 35



Рис. 36

изводительность труда¹. Изобретаются новые станки и машины, строятся фабрики – общество на пороге технической революции. Но по-прежнему вся промышленность «привязана» к рекам. Всё более и более острой становилась необходимость в новых двигателях.

Трудами многих изобретателей создаётся паровая машина. На службу человека была поставлена могучая сила пара. Паровые машины позволили преобразовать в механическую работу энергию, запасённую в древесине, торфе, угле. Это резко изменило картину жизни, дало толчок к ускоренному развитию научных знаний, стало основой развития промышленности и транспорта (рис. 36). В дальнейшем историки назовут середину XIX века временем промышленной революции.

К началу XX века выдающиеся открытия учёных, усилия изобретателей приведут к созданию электрических генераторов и электрических двигателей. Возникнет новая область энергетики – электроэнергетика, человечество вступит в новую эпоху – эпоху электротехники. Построены тепловые, гидравлические и атомные электростанции. И в течение всего этого времени конструкторы, учёные будут разрабатывать новые виды тепловых двигателей, стремясь повысить их КПД и мощность.

Двигатель внутреннего сгорания (ДВС). Двигатель внутреннего сгорания (рис. 37) состоит из цилиндра 1, в котором перемещается поршень 2, соединённый шатуном 3 с коленчатым валом 4.



Рис. 37

¹ Производительность труда характеризует эффективность труда в процессе производства; определяется количеством продукции, произведённой в единицу времени.

При возвратно-поступательном движении поршня (вверх-вниз) вал вращается. Благодаря чему движется поршень? В верхней части цилиндра ДВС имеется два клапана – впускной *5* и выпускной *6*, а также свеча зажигания *7*. При работе двигателя клапаны открываются и закрываются в нужные моменты времени автоматически. Через впускной клапан *5* в цилиндр над поршнем поступает горячая смесь (пары бензина и воздух). Горячая смесь воспламеняется искрой, даваемой свечой *7*. Образуются газообразные продукты горения, их температура достигает 1600–1800 °С, а давление в начальный момент времени 100 атмосфер (10 МПа).

Расширяясь, газы толкают поршень, совершая механическую работу по вращению коленчатого вала. Полный рабочий цикл двигателя происходит за четыре хода поршня (четыре такта¹):

такт 1 – поршень движется вниз, происходит впуск рабочей смеси;

такт 2 – поршень поднимается вверх, происходит сжатие горячей смеси, в конце такта проскакивает искра и воспламеняет горячую смесь;

такт 3 – горячие газы толкают поршень вниз, осуществляется рабочий ход поршня;

такт 4 – поршень движется вверх, происходит выпуск горячих (500–600 °С) отработанных газов в атмосферу.

КПД бензиновых ДВС составляет 20–25 %.

Ещё одним типом двигателя внутреннего сгорания являются *дизели*. В цилиндре дизеля нет свечи зажигания. Каким же образом происходит воспламенение горячей смеси? Во время впуска в цилиндр дизеля поступает не смесь топлива и воздуха, а только воздух. При следующем такте – сжатии – воздух сжимается так сильно, что его температура за счёт быстрого сжатия повышается до 800–900 °С. (Если вам приходилось накачивать шины велосипеда ручным насосом, то вы, наверное, обращали внимание, как при этом нагревается насос.) Эта температура в несколько раз выше температуры горения спички (300 °С). В момент завершения сжатия впрыскивается топливо, которое воспламеняется раскалённым воздухом. Далее происходят заключительные этапы работы двигателя: рабочий ход и выпуск. Благодаря более высокой температуре горения смеси и более полному сгоранию топлива КПД дизельных двигателей выше, чем у бензиновых, и составляет 30–35 %.

Ещё одно преимущество дизеля – использование более низкосортного, а значит, и более дешёвого топлива. Двигатели внутреннего сгорания широко применяют на транспорте и в сельском хозяйстве. Они приводят в движение автомобили и тракторы, тепловозы и пароходы.

¹ По этой причине такие двигатели называют четырёхтактными.

Газовые турбины. Устройство газовых турбин таково, что в них нет необходимости преобразовывать поступательное движение поршня во вращательное движение вала (рис. 38). Газотурбинная установка состоит из воздушного компрессора, камеры сгорания и непосредственно турбины. При работе газотурбинной установки компрессор сжимает атмосферный воздух, увеличивая его давление в 5–10 раз.



Рис. 38

Горячий (почему?) воздух поступает в камеры сгорания, куда впрыскивается и топливо – керосин, мазут. Продукты горения имеют высокую температуру (до 2200 °С) и, расширяясь, движутся с высокой скоростью, вращая лопасти турбины. Таким образом, внутренняя энергия топлива преобразуется в кинетическую энергию струи продуктов горения, а та, в свою очередь, в кинетическую энергию вращения турбины.

КПД газотурбинных установок 25–30 %.

У газотурбинных двигателей нет громоздких частей, при сравнительно небольших размерах двигателя обладают большой мощностью. Поэтому такие двигатели нашли широкое применение в авиации.



Ракетные двигатели. Для сгорания топлива при работе любого теплового двигателя необходим кислород (окислитель). Как же в таком случае обеспечить работу двигателя за пределами атмосферы Земли? Оказывается, это возможно. Основой ракетно-космической техники являются жидкостные ракетные двигатели. Схема жидкостного ракетного двигателя изображена на рисунке 39 (1 – камеры сгорания, 2 – насос подачи окислителя, 3 – насос подачи горючего). Двигатель содержит и запас горючего, и запас окислителя (например, жидкого кислорода). Насосы подают топливо и окислитель в камеру сгорания. Струя газа вылетает из сопла двигателя со скоростью 3–5 км/с, толкая ракету вперед.

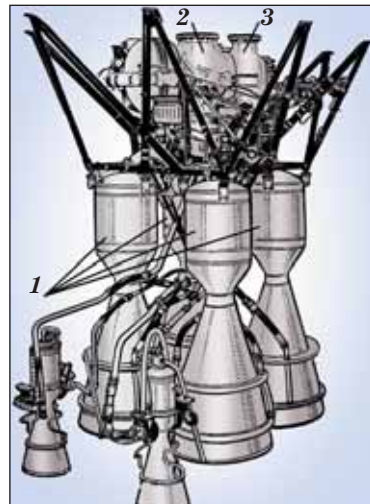


Рис. 39. Ракетный двигатель корабля «Восток». Сила тяги двигателя 1 МН

Именно жидкостный ракетный двигатель был установлен на корабле «Восток», на котором Ю.А. Гагарин 12 апреля 1961 года совершил первый космический полёт вокруг Земли (рис. 40, 41).

КПД ракетного двигателя составляет 8–10 %. Это объясняется тем, что на первоначальном участке полёта значительная часть работы идёт на разгон и сообщение кинетической энергии топливу, которое в итоге сгорит при дальнейшей работе двигателя. (Масса самого космического корабля 5–6 тонн, тогда как масса топлива при старте корабля 300 и более тонн.)



Рис. 40. Исторический старт Юрия Гагарина



Рис. 41. Ю.А. Гагарин – первый в мире космонавт

Тепловые двигатели и окружающая среда. Применение тепловых двигателей наносит существенный урон окружающей среде. В чём же заключаются возникающие при этом экологические¹ проблемы?

Во-первых, работа тепловых машин в соответствии с законами термодинамики не может не сопровождаться неизбежным выделением энергии в окружающую среду. По этой причине средняя температура Земли будет постепенно повышаться. Это создаёт угрозу изменения климата на планете, таяния ледников, повышения уровня Мирового океана.

Во-вторых, горение топлива в двигателях приводит к загрязнению атмосферы различными продуктами сгорания топлива (например, при горении бензина образуется до двухсот вредных веществ). Так, окислы серы и азота, реагируя с атмосферной водой, образуют серную и азотную кислоты. В итоге серные и азотные дожди губят леса, урожаи сельскохозяйственных культур.

В-третьих, сгорание топлива требует затрат атмосферного воздуха. За 2–3 часа работы двигателя автомобиля расходуется столько кислорода, сколько его хватило бы для дыхания человека в течение недели.

¹ Экология – наука, изучающая закономерности взаимодействия общества и окружающей среды, а также практические проблемы охраны окружающей среды.

В наше время эти проблемы приобрели уже характер глобальных (т. е. обще-человеческих), и их решение требует объединения усилий всех стран, всех жителей Земли. Но отказаться от использования тепловых двигателей, составляющих основу мировой энергетики, пока не представляется возможным.



7.1. Что же можно и нужно предпринять в этой ситуации?

Необходимо повышать КПД уже имеющихся видов тепловых двигателей. Следует строить на теплоэлектростанциях более эффективные системы очистки воздуха от продуктов сгорания топлива. Снижению количества вредных выбросов в атмосферу способствует точная регулировка автомобильных двигателей с тем, чтобы в них происходило более полное сгорание топлива. Следует активнее разрабатывать и внедрять, например, двигатели, работающие на смеси водорода и кислорода, «выхлопом» которых являются пары воды. Нужно повсеместно использовать иные, экологически чистые возобновляемые источники энергии – энергию ветра, солнечную энергию. В перспективе основным источником энергии должны стать термоядерные реакторы. В них будут протекать реакции термоядерного синтеза, подобные тем, что происходят внутри Солнца и других звёзд.

В XXI веке для человечества время дешёвой и доступной энергии закончилось. Каждая тонна топлива, отправленная в топку тепловых двигателей, обходится всё дороже и дороже, обостряя экологические проблемы. Поэтому очень важно экономно и разумно расходовать энергетические ресурсы. Лишнее электроосвещение, не утеплённые в зимний период окна и двери домов, вода, капающая из крана, превращаются в масштабах страны в миллионы (!) бесцельно потраченных тонн нефти, угля и газа.

Двигатель внутреннего сгорания, газовая турбина, ракетные двигатели, наука «Экология», проблемы, связанные с использованием тепловых двигателей.

7.1 ● Какие меры по экономному и бережливому использованию энергии вы могли бы предложить?

7.2 ● Заполните обобщающую таблицу:

Тепловой двигатель	Нагреватель	Рабочее тело	Холодильник	КПД	Область применения
Бензиновый ДВС					
Дизель					
Газовая турбина					
Жидкостный ракетный двигатель					

7.3 ● Двигатель междугороднего автобуса развивает силу тяги 4 кН. За 2 часа движения с постоянной скоростью 72 км/ч было израсходовано 45 кг дизельного топлива. Определите КПД двигателя. (Подсказка. Вспомните, как вычисляется механическая работа постоянной силы; как вычисляется путь тела, движущегося с постоянной скоростью.)

7.4 ● Какое количество мазута (по массе) необходимо для обеспечения работы турбины мощностью 40 МВт в течение 8 часов? КПД турбины 40 %. Удельная теплота сгорания мазута 39 МДж/кг.

7.5 ● Модель ракеты с запасом топлива 25 г при вертикальном запуске поднялась на высоту 600 м. Рассматривая модель как тепловую машину, определите её КПД. Масса поднятого полезного груза 28,3 г. Удельная теплота сгорания топлива модели ракеты 5 МДж/кг. Силу сопротивления воздуха не учитывать.

§ 8. НАГРЕВАНИЕ И ОХЛАЖДЕНИЕ ВЕЩЕСТВА



Быстро нагревается – быстро остывает.

Японская пословица

Вам уже известно, что при увеличении средней энергии движения частиц тела его температура повышается.

Количество теплоты при нагревании и охлаждении вещества. Одно из распространённых физических явлений – явление

нагревания и охлаждения вещества. Происходящее при этом изменение температуры оказывает влияние на многие физические процессы. Так, при нагревании твёрдых тел и жидкостей происходит их тепловое расширение, а нагревание газа увеличивает его давление. Охлаждение до определённой температуры ведёт к переходу вещества из одного состояния в другое, например, водяного пара – в воду, воды – в лёд. Повышение температуры нашего тела на один-два градуса приводит к ухудшению самочувствия. Изменение температуры атмосферы преобразует природу, ведёт к смене времён года и сезонным изменениям в растительном и животном мире Земли.

Как вам известно, температура тела изменяется при изменении средней энергии движения частиц тела. Но если изменяется энергия движения частиц, то изменяется – увеличивается или уменьшается – внутренняя энергия тела (почему?).



8.1. Как формулируется первый закон термодинамики?

Пусть над телом не совершается механическая работа. Тогда, в соответствии с первым законом термодинамики, изменение внутренней энергии тела определяется передачей ему некоторого количества теплоты. Таким образом, важно выяснить – от каких величин и как зависит количество теплоты, необходимое для нагревания тела.

Проведём опыт. На две одинаковые лабораторные электроплитки поставим одинаковые металлические стаканчики, в которые нальём воду комнатной температуры (рис. 42).



Рис. 42

Допустим, что в первом сосуде 100 г воды, а во втором – 200 г. Измерим термометрами температуру воды в сосудах; убедимся, что она одинакова. Включим

электроплитки. За равное время электроплитки будут сообщать воде одинаковое количество теплоты. Заметим, за какое время вода нагреется, например, на 5 °С. Мы обнаружим, что во втором сосуде вода нагреется за большее время, чем в первом сосуде. Какой же вывод можно сделать по результатам опыта? *Чем больше масса вещества, тем большее количество теплоты необходимо для его нагревания на определённое число градусов.* Действительно, чем больше масса тела, тем большему числу частиц необходимо сообщить энергию.

Продолжим опыт и нагреем воду не на 5 °С, а, к примеру, на 10 °С. Мы обнаружим, что *для большего изменения температуры* требуется большее время, т. е. телу *нужно передать большее количество теплоты.* Действительно, большее изменение температуры тела означает, что его внутренняя энергия изменилась на большую величину.

Теперь приготовим для опыта в одном стаканчике 200 г воды, а в другой стаканчик нальём 100 г воды и опустим в него стограммовый груз. Вновь некоторое время нагреваем стаканчики так, чтобы изменение их температуры было одинаково. Мы обнаружим, что нагревание 200 г воды требует больше времени, чем нагревание 100 г воды и 100 г металла. Следовательно, *для одинакового изменения температуры различных веществ равной массы требуется разное количество теплоты.*

Обобщая результаты опыта, мы можем сделать вывод.

Количество теплоты, необходимое для нагревания тела, зависит от его массы, величины изменения температуры и рода вещества, из которого состоит тело.

Удельная теплоёмкость. Тепловые свойства вещества в процессе его нагревания или охлаждения характеризуют физической величиной «удельная теплоёмкость».

Удельная теплоёмкость вещества – это физическая величина, равная количеству теплоты, необходимому для изменения температуры вещества массой 1 кг на 1 °С.

Значения удельной теплоёмкости некоторых веществ приведены в таблице 3.

Таблица 3. Удельная теплоёмкость некоторых веществ, $\frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{С}}$

Алюминий	900	Олово	230
Вода	4200	Песок	790
Дерево (дуб)	2400	Ртуть	140
Железо	450	Свинец	130
Золото	130	Серебро	230
Керосин	2100	Спирт	2500
Кирпич	880	Сталь	460
Латунь	400	Стекло лабораторное	840
Лёд	2100	Цинк	390
Масло подсолнечное	1800	Чугун	540
Медь	380	Эфир	2300

Обозначают удельную теплоёмкость буквой c (читается: це). Что означают числа, указанные в таблице? Например, удельная теплоёмкость латуни (сплав меди и цинка) $c = 400 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{С}}$ (читается: 400 джоулей на килограмм-градус Цельсия). Это означает, что для нагревания 1 кг латуни на 1 °С потребуется количество теплоты 400 Дж. Удельная теплоёмкость серебра $c = 230 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{С}}$. Это означает, что при изменении температуры на 1 °С внутренняя энергия 1 кг серебра изменяется на 230 Дж.



8.2. Какова единица измерения удельной теплоёмкости вещества?

Расчёт количества теплоты при нагревании (охлаждении) вещества.

Обозначим изменение температуры вещества при нагревании (охлаждении) через Δt . Если первоначальная температура t_1 , а конечная t_2 , то Δt легко определить:

$$\Delta t = t_2 - t_1.$$

Пусть, к примеру, при нагревании железного гвоздя его температура выросла от $t_1 = 20^\circ\text{C}$ до $t_2 = 130^\circ\text{C}$.

Тогда

$$\Delta t = 130^\circ\text{C} - 20^\circ\text{C}.$$

$$\Delta t = 110^\circ\text{C}.$$

Или, если температура воды в чайнике первоначально составляла $t_1 = 80^\circ\text{C}$, а затем из-за теплообмена понизилась до $t_2 = 30^\circ\text{C}$, то

$$\Delta t = 30^\circ\text{C} - 80^\circ\text{C}.$$

$$\Delta t = -50^\circ\text{C}.$$

Рассмотрим пример. Какое количество теплоты Q необходимо для нагревания алюминия массой 2 кг на 1°C ? Удельная теплоёмкость алюминия (см. таблицу 3 учебника) $c = 900 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot ^\circ\text{C})$. Ясно, что для нахождения ответа нужно

$$900 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}) \cdot 2 \text{ кг} = 1800 \text{ Дж}/^\circ\text{C}.$$

Следовательно, необходимо количество теплоты $Q = 1800 \text{ Дж}$ для нагревания 2 кг алюминия на 1°C .

Решим следующий пример. Какое количество теплоты Q необходимо для изменения температуры алюминия массой 1 кг на $\Delta t = 5^\circ\text{C}$?

Удельная теплоёмкость алюминия $c = 900 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot ^\circ\text{C})$. Ясно, что для нахождения ответа нужно

$$900 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}) \cdot 5^\circ\text{C} = 4500 \text{ Дж}/\text{кг}.$$

Следовательно, необходимо количество теплоты $Q = 4500 \text{ Дж}$ для изменения температуры 1 кг алюминия на 5°C .

Можно рассмотреть и более «сложный» пример. Какое количество теплоты Q необходимо для изменения температуры алюминия массой 2 кг на $\Delta t = 5^\circ\text{C}$? Удельная теплоёмкость алюминия $c = 900 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot ^\circ\text{C})$. Ясно, что для нахождения ответа нужно

$$Q = 900 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}) \cdot 2 \text{ кг} \cdot 5^\circ\text{C} = 9000 \text{ Дж}.$$

Следовательно, для изменения температуры 2 кг алюминия на 5°C необходимо количество теплоты $Q = 9000 \text{ Дж}$.

Точно такие же рассуждения мы можем провести и при расчёте количества теплоты, выделяющегося при охлаждении вещества.

Обозначим массу вещества буквой m , а изменение его температуры Δt . Тогда формула для расчёта количества теплоты Q при нагревании (охлаждении) имеет вид

$$Q = mc\Delta t.$$

Так как

$$\Delta t = t_2 - t_1,$$

то

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

Обратите внимание, что при нагревании вещества ($t_2 > t_1$) количество теплоты положительно ($Q > 0$). При охлаждении вещества ($t_2 < t_1$) количество теплоты отрицательно ($Q < 0$).

Удельная теплоёмкость вещества, расчёт количества теплоты при нагревании (охлаждении) вещества, $Q = mc\Delta t$, $Q = mc(t_2 - t_1)$.

8.1 ● На что больше расходуется энергии – на нагревание алюминиевой кастрюли или воды, налитой в неё, если их массы одинаковы? Ответ обосновать.

8.2 ● На сколько Дж/(кг·°C) удельная теплоёмкость воды больше удельной теплоёмкости льда? Во сколько раз удельная теплоёмкость воды больше удельной теплоёмкости льда? Почему, по вашему мнению, удельные теплоёмкости воды и льда различны?

8.3 ● На сколько джоулей уменьшится внутренняя энергия пудовой (16 кг) чугунной гири при уменьшении её температуры на 2 °C?

8.4 ● Какое количество теплоты необходимо для нагревания стальной детали массой 5 кг от 20 °C до 120 °C? Теплообмен с окружающей средой не учитывать.

8.5 ● Резко континентальный климат отличается значительными колебаниями температуры воздуха. Он характерен для внутренних частей материков в тех местах, где отсутствуют водоёмы. Какие физические причины, по вашему мнению, обуславливают такие особенности климата?

§ 9. РЕШЕНИЕ ЗАДАЧ ПО ТЕМЕ «НАГРЕВАНИЕ И ОХЛАЖДЕНИЕ ВЕЩЕСТВА»



Если хочешь, чтоб дела твои ладились, берись за них разумно.

Абай (1845–1904), казахский мыслитель, поэт-просветитель

Вы уже знаете:

- формулу для расчёта количества теплоты, необходимого для нагревания или охлаждения вещества;

- формулу для расчёта количества теплоты, выделяющегося при сгорании топлива;

- первый закон термодинамики.

Классификация задач. При решении задач по теме «Нагревание и охлаждение вещества» можно выделить следующие виды задач:

1. *Простейшие задачи.* В задачах нужно определить неизвестную величину, используя формулы для расчёта количества теплоты, необходимого для нагревания вещества:

$$Q = mc\Delta t,$$

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

При этом часто используется формула для расчёта массы тела по его плотности и объёму:

$$m = \rho V.$$

2. *Усложнённые задачи.* В этих задачах учитывается, что нагревание вещества может происходить благодаря энергии, выделяющейся при сгорании топлива:

$$Q_{\text{топл}} = qm_{\text{топл}}.$$

При этом часто принимается во внимание, что непосредственно на нагрев вещества идёт только какая-то часть этого количества теплоты $Q_{\text{топл}}$.

3. *Задачи на тепловой баланс.* Рассматривается случай, когда механическая работа не совершается. При этом нагревание (охлаждение) одного тела происходит за счёт теплообмена – передачи ему количества теплоты другим телом. Ясно, что в соответствии с законом сохранения энергии

$$Q_1 + Q_2 + Q_3 + \dots = 0,$$

где Q_1 – количество теплоты, полученное (отданное) первым телом,

Q_2 – количество теплоты, полученное (отданное) вторым телом, и так далее.

4. *Задачи, связанные с превращением механической энергии во внутреннюю энергию.* В таких задачах рассматривается нагревание вещества за счёт механической работы сил, действующих на тело. Например, совершение работы силой тяжести при падении тела или силой трения при скольжении тела. При решении задач применяют формулы для расчёта работы A постоянной силы F :

$$A = FS$$

или мощности N :

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

а также пути S , пройденного за время t телом, движущимся со скоростью v :

$$S = vt.$$

Примеры решения задач.

Задача 1. Для нагревания слитка неизвестного металла массой 200 г от 70 °С до 80 °С потребовалось количество теплоты 0,8 кДж. Что это за металл? Теплообмен с окружающей средой не учитывать.

<i>Дано:</i> Слиток металла $m = 200$ г $t_1 = 70$ °С $t_2 = 80$ °С $Q = 0,8$ кДж	<i>СИ:</i> $0,2$ кг 800 Дж	<i>Решение:</i> Если был бы известен объём слитка и мы были бы уверены, что слиток сплошной, то тогда можно было бы определить плотность слитка. После этого не составляло бы труда выяснить, из какого металла изготовлен слиток.
Металл – ?		

Но объём слитка неизвестен. Поэтому используем другой вариант – определим удельную теплоёмкость металла.

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

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

$$c = \frac{800 \text{ Дж}}{0,2 \text{ кг} \cdot (80^\circ \text{С} - 70^\circ \text{С})} = 400 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ \text{С}}.$$

Из таблицы 3 учебника мы видим, что такую удельную теплоёмкость имеет латунь.

Ответ: неизвестный металл – латунь.

Задача 2. Сколько дров понадобится, чтобы истопить кирпичную русскую печь? Масса печи 1,5 т, в процессе протапливания температура печи повышается от 20 °С до 70 °С. Считать, что на нагревание кирпичей идёт 25 % энергии, выделяющейся при сгорании топлива.

<i>Дано:</i> Кирпичная печь $t_1 = 20$ °С $t_2 = 70$ °С $c = 880$ Дж/кг · °С $q_{др} = 10$ МДж/кг $m = 1,5$ т	<i>СИ:</i> $1 \cdot 10^7$ Дж/кг 1500 кг	<i>Решение:</i> Для определения массы дров необходимо знать количество теплоты $Q_{др}$, которое выделяется при их сгорании: $Q_{др} = q_{др} m_{др}. \quad (9.1)$
$m_{др} - ?$		Отсюда $m_{др} = \frac{Q_{др}}{q_{др}}. \quad (9.2)$

Количество теплоты Q , необходимое для нагревания печи, равно

$$Q = mc(t_2 - t_1). \quad (9.3)$$

По условию задачи количество теплоты Q , затраченное на нагревание кирпичей, составляет 25% от количества теплоты $Q_{др}$, выделившегося при сгорании дров. Составим пропорцию:

$$\begin{aligned} Q_{др} &- 100 \% \\ Q &- 25 \% . \end{aligned}$$

Тогда

$$Q_{др} = 4Q. \quad (9.4)$$

Используя соотношения (9.1) – (9.4), окончательно получим

$$m_{др} = \frac{4mc(t_2 - t_1)}{q_{др}}.$$

(Дальнейшие действия по решению задачи выполните самостоятельно.)

Ответ: $m_{др} = 26$ кг.



Задача 3. В стеклянную кружку массой 150 г налили 200 г кипятка. Какова будет температура воды и кружки после установления теплового равновесия? Теплообмен с окружающей средой не учитывать. Первоначальная температура кружки была равна 20 °С.

Дано:

Кружка и кипяток
 $m_{cm} = 150$ г
 $c_{cm} = 840$ Дж/кг · °С
 $t_{1cm} = 20$ °С
 $m_в = 200$ г
 $C_в = 4200$ Дж/кг · °С
 $t_{1в} = 100$ °С

СИ:

0,15 кг

0,2 кг

Решение:

Пусть температура теплового равновесия – конечная температура воды и кружки – равна t_2 . Тогда количество теплоты Q_{cm} , полученное стеклянной кружкой при нагревании от температуры t_{1cm} до температуры t_2 , равно

$t_2 - ?$

$$Q_{cm} = m_{cm} c_{cm} (t_2 - t_{1cm}). \quad (9.5)$$

Количество теплоты $Q_в$, отданное водой при её охлаждении от температуры $t_{1в}$ до температуры t_2 , равно

$$Q_в = m_в c_в (t_2 - t_{1в}). \quad (9.6)$$

По условию задачи считается, что теплообмен с окружающей средой не происходит. Это означает, что горячая вода передаёт энергию только более холодной кружке. Тогда в соответствии с законом сохранения энергии

$$Q_{cm} + Q_в = 0.$$

Или с учётом (9.5) и (9.6):

$$\begin{aligned}
 m_{cm} c_{cm} (t_2 - t_{1cm}) + m_{\theta} c_{\theta} (t_2 - t_{1\theta}) &= 0. \\
 m_{cm} c_{cm} t_2 - m_{cm} c_{cm} t_{1cm} + m_{\theta} c_{\theta} t_2 - m_{\theta} c_{\theta} t_{1\theta} &= 0. \\
 (m_{cm} c_{cm} + m_{\theta} c_{\theta}) t_2 - m_{cm} c_{cm} t_{1cm} - m_{\theta} c_{\theta} t_{1\theta} &= 0. \\
 (m_{cm} c_{cm} + m_{\theta} c_{\theta}) t_2 &= m_{cm} c_{cm} t_{1cm} + m_{\theta} c_{\theta} t_{1\theta}. \\
 t_2 &= \frac{m_{cm} c_{cm} t_{1cm} + m_{\theta} c_{\theta} t_{1\theta}}{m_{cm} c_{cm} + m_{\theta} c_{\theta}}.
 \end{aligned}$$

(Дальнейшие действия по решению задачи выполните самостоятельно.)

Ответ: $t_2 = 90^\circ\text{C}$.

Задача 4. При обработке детали слесарь совершил 50 движений стальным напильником, прикладывая постоянную силу 40 Н и перемещая напильник на 10 см при каждом движении. На сколько повысилась температура напильника, если он имеет массу 100 г и на увеличение его внутренней энергии пошло 50 % совершенной работы? Считать, что сила направлена по движению напильника.

Дано:

Напильник

$n = 50$

$F = 40\text{ Н}$

$S_1 = 10\text{ см}$

$m = 100\text{ г}$

50 %

$c = 460\text{ Дж/кг}\cdot^\circ\text{C}$

$\Delta t - ?$

СИ:

0,1 м

0,1 кг

Решение:

За счёт совершаемой слесарем при обработке детали механической работы происходит увеличение внутренней энергии детали, напильника и воздуха.

По условию задачи на изменение внутренней энергии напильника пошло 50 % совершенной работы.

Составим пропорцию:

$$\Delta U - 50 \%$$

$$A - 100 \%.$$

Отсюда

$$\Delta U = 0,5 A.$$

Так как сила постоянна и направлена по движению напильника, то работу A легко определить:

$$A = F S,$$

где S – перемещение напильника за $n = 50$ движений.

$$S = S_1 n,$$

где S_1 – перемещение при одном движении напильника.

$$A = F S_1 n.$$

Следовательно,

$$\Delta U = 0,5 F S_1 n. \quad (9.7)$$

Увеличение внутренней энергии напильника приведёт, очевидно, к повышению его температуры. Допустим, температура повысилась на Δt . Ясно, что через некоторое время, благодаря теплообмену с окружающей средой, внутренняя энергия и температура напильника примут прежние значения.

Какое количество теплоты Q при этом напильник передаст окружающим телам?

$$Q = mc\Delta t.$$

Теплообмен произойдёт за счёт изменения внутренней энергии ΔU напильника.

Следовательно,

$$\Delta U = Q.$$

Или

$$\Delta U = mc\Delta t. \quad (9.8)$$

Из соотношений (9.7) и (9.8) имеем

$$mc\Delta t = 0,5 F S_1 n.$$

$$\Delta t = \frac{F S_1 n}{2mc}.$$

(Дальнейшие действия по решению задачи выполните самостоятельно.)

Ответ: 2 °С.

9.1 ● Сколько олова можно нагреть от комнатной температуры (20 °С) до температуры плавления (232 °С), если сообщить ему количество теплоты 9,8 кДж?

9.2 ● На сколько джоулей уменьшится внутренняя энергия воды в бассейне при её охлаждении от 25 °С до 15 °С? Длина бассейна 25 м, ширина 8 м, глубина 2 м. Бассейн наполнен водой полностью. Плотность воды 1000 кг/м³.

9.3 ● Какой будет температура медной детали массой 450 г, если ей сообщить количество теплоты 8,55 кДж? Первоначальная температура детали 18 °С.

9.4 ● Стальную гирию массой 200 г длительное время держали в кипящей воде. Затем её быстро вынули и поместили в сосуд с водой так, чтобы гирия полностью находилась в воде. До какой температуры нагреется вода в сосуде? Первоначально температура воды в сосуде 20 °С, масса воды 300 г. Теплообмен с окружающей средой не учитывать.

9.5 ● Железную и алюминиевую детали одинаковых размеров поместили в печь, где поддерживается температура 250 °С. У какой из деталей – железной или алюминиевой – в результате продолжительного нагрева внутренняя энергия изменится на большую величину? Ответ обосновать. Первоначальная температура деталей одинакова. Плотность железа 7800 кг/м³, плотность алюминия 2700 кг/м³.

§ 10. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА «ОПРЕДЕЛЕНИЕ УДЕЛЬНОЙ ТЕПЛОЁМКОСТИ»



Желающему делать физико-химические опыты необходимо пользоваться... весом и мерою.

М.В. Ломоносов

Вам уже известен физический смысл величины «удельная теплоёмкость».

Оборудование: металлический цилиндр с крючком на нити, термометр лабораторный, весы с разновесами, измерительный цилиндр (мензурка) с водой комнатной температуры, калориметр, сосуд с кипящей водой (на столе учителя).

В опытах, связанных с изучением тепловых явлений, часто используют прибор – калориметр (рис. 43). Лабораторный калориметр состоит из двух цилиндрических стаканчиков, вложенных один в другой и разделённых воздушным промежутком. Внутренний стаканчик алюминиевый, внешний – пластмассовый. Дно внутреннего стаканчика ребристое, и поэтому внешний и внутренний стаканчики плотно не прилегают друг к другу. Во время проведения опытов во внутренний стаканчик наливают воду или помещают исследуемое вещество.

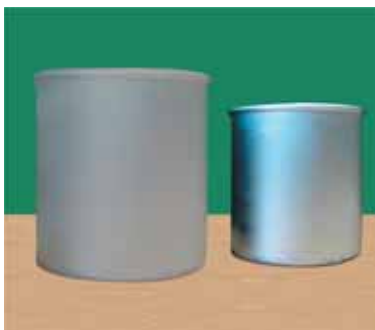


Рис. 43



10.1. Сравните устройство калориметра и термоса (см. рис. 27).

10.2. Как устройство калориметра позволяет уменьшить теплообмен содержащего внутреннего стаканчика с внешней средой?

Указания к работе



Задание 1. Определение удельной теплоёмкости металла.

1. Налейте во внутренний стаканчик калориметра воду (120–140 г) комнатной температуры. Измерьте первоначальную температуру воды. Определите массу воды.

2. Подойдите к столу учителя. Достаньте, держа за нить, из кипящей воды металлический цилиндр и быстро поместите его в воду в калориметре так, чтобы вода полностью покрывала цилиндр. (Первоначальная температура цилиндра $100\text{ }^{\circ}\text{C}$.)

3. Для ускорения теплообмена цилиндра с водой помешайте воду термометром. Измерьте конечную температуру воды.

4. Вычислите, какое количество теплоты получено водой.

5. Пренебрежём теплообменом с окружающей средой и тем, что некоторое количество теплоты расходуется на нагревание алюминиевого стаканчика калориметра. Т. е. будем считать, что энергия, выделяющаяся при охлаждении металлического цилиндра, идёт только на нагревание воды в калориметре.

6. Измерьте массу металлического цилиндра.

7. Зная изменение температуры цилиндра, его массу и количество теплоты, отданное цилиндром воде, определите удельную теплоёмкость металла, из которого изготовлен цилиндр.

8. Сделайте вывод о том, насколько полученный результат соответствует табличному значению.



Задание 2. Уточнение расчёта удельной теплоёмкости металла.

1. Измерьте массу алюминиевого стаканчика калориметра.

2. Вычислите количество теплоты, полученное стаканчиком калориметра в процессе охлаждения металлического цилиндра.

3. Сравните, какое количество теплоты было получено водой в опыте; какое количество теплоты было получено алюминиевым стаканчиком. Сделайте вывод о необходимости повторного вычисления удельной теплоёмкости металла. При необходимости проведите вычисления.

Задание 3. Пусть в вашем распоряжении имеются лабораторный термометр, измерительный цилиндр (мензурка), калориметр и горячая вода. Предложите способ определения массы алюминиевого стаканчика калориметра. Проведите опыт. Получите результат.

Калориметр.

10.1 ● В лабораторной установке имеется вакуумная электрическая лампа накаливания с вольфрамовой нитью массой $0,12\text{ г}$. Температура нити в рабочем состоянии $2300\text{ }^{\circ}\text{C}$. Какая энергия будет излучена нитью после выключения установки и охлаждения нити до комнатной температуры ($20\text{ }^{\circ}\text{C}$)? Удельная теплоёмкость вольфрама $154\text{ Дж}/(\text{кг} \cdot ^{\circ}\text{C})$.

10.2 ● Сколько (по массе) спирта необходимо израсходовать в спиртовке, чтобы 100 г воды нагреть от 20 °С до кипения (100 °С)? Считать, что на нагревание воды идёт 30 % энергии, выделяющейся при сгорании спирта.

10.3 ● На одинаковых газовых горелках нагревают равное количество воды в кастрюлях одинаковой массы. Одна из кастрюль – алюминиевая, другая – чугунная. В какой из кастрюль вода быстрее будет доведена до кипения? Ответ обосновать. Теплообменом с окружающей средой пренебречь.

10.4 ● Две одинаковые бутылки, изготовленные из непрозрачного стекла, доверху наполнили – одну спиртом, а другую – керосином. После этого бутылки плотно закупорили. Предложите способ, как, не открывая бутылки, выяснить, в какой из них находится спирт, а в какой – керосин.

10.5 ● На сколько градусов нагреется стальное сверло электродрели мощностью 650 Вт после двух минут её работы? Масса сверла 50 г. Считать, что на увеличение внутренней энергии сверла идёт 4 % от механической работы, совершённой дрелью.

10.6 ● По оловянной и свинцовой пластинкам ударили молотком с одинаковой силой. У какой из пластин больше изменится температура, если их масса одинакова? Ответ обосновать. Теплообмен с окружающей средой не учитывать.

10.7 ● С какой высоты должна упасть вниз свинцовая дробинка, чтобы её температура после удара увеличилась на 1 °С? Считать, что теплообмен с окружающей средой отсутствует и вся механическая энергия дробинки идёт на увеличение её внутренней энергии.

10.8 ● В стакан с горячим чаем (80 °С) добавили холодное молоко (10 °С), после чего температура чая с молоком стала равной 69 °С. Определите удельную теплоёмкость молока. Удельную теплоёмкость чая считать равной удельной теплоёмкости воды. Масса чая 150 г. Масса молока 30 г. Теплообменом с окружающей средой пренебречь.

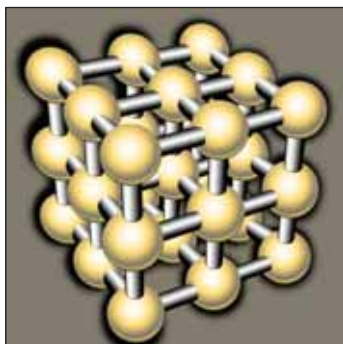
10.9 ● На две одинаковые горелки газовой плиты поставили одинаковые кастрюли. В одну кастрюлю была налита вода, а в другую – такое же количество (по массе) подсолнечного масла. Включив горелки плиты, экспериментатор наблюдал, как меняется температура жидкостей при изменении показаний газового счётчика:

Показания газового счётчика V , м ³	58,63	58,64	58,65	58,66	58,67	58,68
Температура одной жидкости t , °С	22	36	50	63	75	86
Температура другой жидкости t' , °С	22	28	34	40	45	49

Обратившись через несколько дней к результатам опыта, экспериментатор не мог вспомнить, в какой из строчек таблицы им были записаны данные для воды, а в какой – для подсолнечного масла. Помогите экспериментатору исправить его оплошность и укажите, какие данные к какой жидкости относятся. Ответ обосновать.

10.10 ● К 10 литрам горячей воды, температура которой 90 °С, добавили 5 литров холодной воды при температуре 15 °С. Определите температуру смеси. Теплообмен с окружающей средой не учитывать.

§ 11. ПЛАВЛЕНИЕ. КРИСТАЛЛИЗАЦИЯ



И металл плавится, и камень испаряется.

Японская пословица

Вы уже знаете, что возможен переход вещества из твёрдого состояния в жидкое состояние и обратно.

Плавление. Поместим в пробирку с холодной водой кусочки льда. Измерим температуру воды – термометр покажет $0\text{ }^{\circ}\text{C}$. Опустим пробирку в стакан с горячей водой и проследим за показаниями термометра (рис. 44).

Происходит ли в опыте теплообмен между горячей водой и холодной водой со льдом? Да, конечно. Определённое количество теплоты (энергии) передаётся от горячей воды к холодной воде со льдом. Изменяется ли в ходе опыта внутренняя энергия холодной воды со льдом? Да, конечно. В соответствии с первым законом термодинамики изменение внутренней энергии ΔU холодной смеси равно

$$\Delta U = A + Q.$$

В нашем случае

$$A = 0, Q > 0.$$

Значит,

$$\Delta U > 0.$$

Увеличение внутренней энергии холодной воды со льдом должно приводить (вспомните явление нагревания) к увеличению температуры. Но в данном случае температура не изменяется – термометр по-прежнему показывает $0\text{ }^{\circ}\text{C}$.



Рис. 44



11.1. Почему, несмотря на увеличение внутренней энергии, температура не увеличивается (рис. 45, участок *AB* графика)?

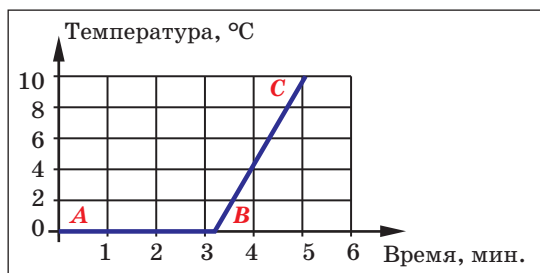


Рис. 45

С течением времени только уменьшается количество льда в воде. Подводимая энергия расходуется на плавление льда — на переход воды из одного агрегатного состояния (твёрдого) в другое (жидкое). Какие же изменения с веществом при этом происходят?



11.2. Каков характер теплового движения частиц твёрдого тела?

Каков характер теплового движения частиц жидкости?

Твёрдые тела, как вы знаете, преимущественно находятся в кристаллическом состоянии. В кристаллах частицы расположены в определённом порядке (образуя так называемую кристаллическую решётку), и частицы совершают колебания у положений равновесия. При увеличении внутренней энергии тела энергия теплового движения частиц возрастает, возрастает и «размах» колебаний. Частицы, увеличив энергию, приобретают возможность всё чаще и чаще совершать «перескоки». В итоге порядок в расположении частиц нарушается — происходит разрушение кристаллической решётки. Так кристаллическое тело превращается в жидкость.

Явление перехода кристаллического вещества в жидкое состояние называют плавлением.

Для осуществления процесса плавления твёрдое тело первоначально нагревают до определенной температуры — температуры плавления.

Температуру, при которой происходит плавление вещества, называют температурой плавления.

Затем вещество должно получить некоторое количество теплоты от окружающих тел, достаточное для разрушения кристаллической решётки, для плавления. (Рис. 45, участок *AB*. На этом участке часть вещества ещё находится в кристаллическом состоянии, а часть уже перешла в жидкое состояние.) Только после того, как вещество полностью расплавится (рис. 45, точка *B*), в дальнейшем будет происходить нагревание жидкости, её температура постепенно повысится (рис. 45, участок *BC*).

Кристаллизация. Что будет происходить, если охлаждать жидкость, уменьшать её внутреннюю энергию? В этом случае «перескоки» частиц будут происходить всё реже и реже. И при достаточном уменьшении энергии теплового движения частиц, при достижении определённой температуры начинается кристаллизация вещества.

Явление перехода вещества из жидкого состояния в кристаллическое состояние называют кристаллизацией.


Для осуществления процесса кристаллизации жидкость необходимо первоначально охладить до определённой температуры – температуры кристаллизации.



Рис. 46

Температуру, при которой происходит кристаллизация вещества, называют температурой кристаллизации.

Затем вещество должно передать некоторое количество теплоты окружающим телам, чтобы было возможно образование кристаллической решётки. Только после того, как вещество полностью кристаллизуется, в дальнейшем будет происходить охлаждение твёрдого тела и понижение его температуры.

 Возьмите твёрдый кристаллический парафин. Нагрейте его. Парафин расплавится при температуре $56\text{ }^{\circ}\text{C}$. Налейте расплавленный парафин в небольшую металлическую ёмкость и, используя лабораторный термометр и секундомер, заметьте, как изменится температура парафина с течением времени (рис. 46). Результаты одного из таких опытов приведены на рисунке 47. Что показал опыт? Первоначально (рис. 47, участок *AB*) происходило охлаждение жидкого парафина. Затем при температуре $56\text{ }^{\circ}\text{C}$ начался процесс его кристаллизации – парафин перешёл в твёрдое состояние. (Рис. 47, участок *BC*: часть парафина находится ещё в жидком состоянии, а часть уже отвердела – кристаллизовалась.) Процесс кристаллизации, как и процесс плавления, происходит при температуре $56\text{ }^{\circ}\text{C}$. Т. е. опыт подтверждает, что температура плавления вещества равна температуре его кристаллизации. Через некоторое время процесс кристаллизации завершается (рис. 47, точка *C*), и далее происходит охлаждение твёрдого вещества (рис. 47, участок *CD*).

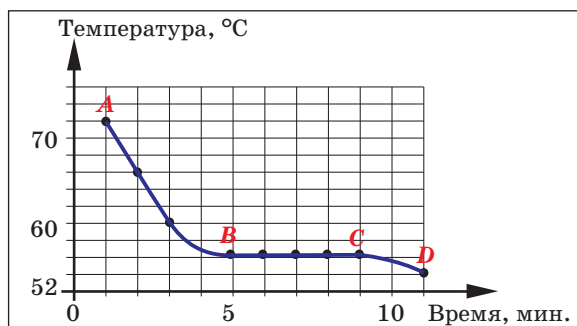


Рис. 47

Значения температур плавления (кристаллизации) некоторых веществ приведены в таблице 4.

Таблица 4. Температура плавления (кристаллизации) некоторых веществ, °С (при нормальном атмосферном давлении)

Алюминий	660	Лёд	0	Свинец	327
Водород	-259	Медь	1085	Серебро	962
Вольфрам	3387	Натрий	98	Спирт	-115
Железо	1535	Олово	232	Сталь	1500
Золото	1064	Платина	1772	Цинк	420
Кислород	-218	Ртуть	-39	Чугун	1200



Аморфные тела. Обратите внимание, в таблице 4 не указаны температуры плавления таких веществ, как, например, стекло или пластмассы.

И это не случайно. Оказывается, имеются вещества, которые мы считаем твёрдыми, но они не имеют кристаллического строения. Такие тела называют аморфными (не имеющими формы). На рисунке 48 изображены условные схемы внутреннего строения кристаллического и аморфного тел. У аморфных тел отсутствует кристаллическое строение, поэтому у них нет определённой температуры плавления.

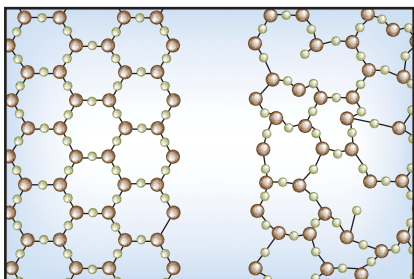


Рис. 48

С повышением температуры происходит их постепенное размягчение, текучесть веществ возрастает, и они не отличаются по своим свойствам от жидкостей. При понижении температуры аморфные тела приобретают свойства сверхгустых и сверхвязких жидкостей, внешне похожих

на твёрдые тела. Но текучесть (хотя и крайне малая) сохраняется у аморфных тел и в этих условиях. Например, учёные обнаружили, что у стёкол в окнах старинных замков нижняя часть толще, чем верхняя. Стекло благодаря текучести за сотни лет сместилось вниз.

Плавление, температура плавления, кристаллизация, температура кристаллизации, аморфные тела.

11.1 При изучении процессов плавления и кристаллизации экспериментатор нагревает слиток металла. На рисунке 49 изображён график зависимости температуры металла от времени. (Мощность нагревателя постоянна, теплообмен с окружающей средой не происходит.) В каком состоянии находится металл в промежутке времени от 5 минут до 10 минут? от 10 минут до 20 минут? от 25 минут до 30 минут? Что это за металл?

11.2 Прокомментируйте высказывание, которое порой встречается в зимний период в средствах массовой информации (радио, телевидение, газеты): «Мороз усилился, столбик ртутного термометра опустился ниже отметки « $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ ».

11.3 Почему в электрических лампах накаливания спираль лампы изготавливают из вольфрама? (Подсказка. Вспомните, как мощность излучения нагретого тела зависит от его температуры.)

11.4 Почему во время весеннего ледохода у реки сравнительно прохладно? (Подсказка. Плавление кристаллического вещества требует определённых затрат энергии.) Почему во время ледохода у реки ветрено? (Подсказка. Прочтите в § 4, как возникают ветры – дневные бризы.)

11.5 Почему зимой во время снегопада обычно становится теплее?

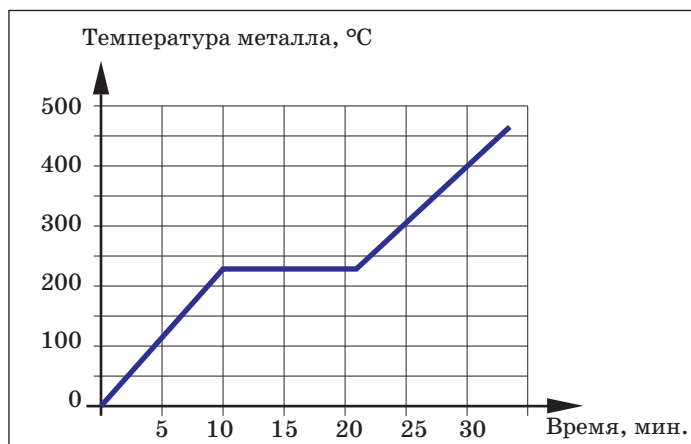


Рис. 49

§ 12. ИСПАРЕНИЕ. КОНДЕНСАЦИЯ. КИПЕНИЕ



Что сильно кипит, быстро испаряется; что сильно бурлит, вырывается наружу.

Монгольская пословица

Вы уже знаете, что возможен переход вещества из жидкого состояния в газообразное состояние и обратно.

Испарение.



12.1. Каков характер теплового движения частиц жидкости?

Налейте немного чая или воды в блюдце и оставьте на столе. Через некоторое время вы обнаружите, что вода «исчезла» – блюдце сухое.



12.2. Что произошло? Как называется это явление?

Вода испарилась – из жидкого состояния перешла в газообразное состояние. Вы знаете, что молекулы жидкости совершают беспорядочное тепловое движение, взаимодействуя между собой. При этом, конечно же, энергия молекул может быть и больше, и меньше среднего значения энергии теплового движения молекул жидкости. Отдельные группы молекул могут получить от остальных молекул определённый избыток энергии. И тогда эта группа молекул преодолевает силы притяжения «соседей»-молекул и покидает жидкость. В итоге испарившаяся жидкость образует пар (газообразное состояние вещества).

Явление перехода вещества из жидкого состояния в газообразное состояние (пар) называют испарением.



12.3. Изменяется ли температура жидкости при её испарении?

Испаряются наиболее «энергичные» молекулы, следовательно, средняя энергия теплового движения оставшихся молекул уменьшается. Значит, и температура жидкости понижается. Это легко заметить в следующем опыте. Возьмите лабораторный термометр, обмотайте шарик резервуара термометра марлей, смоченной в воде комнатной температуры. Вы увидите, что при испарении воды показания термометра уменьшатся. Каждый из вас, наверное, вспомнит то ощущение прохлады, которое возникает после дождя, когда вода испаряется.

Скорость испарения зависит от рода жидкости, от площади, с которой испаряется жидкость. Зависит от воздушных потоков (ветра), которые уносят образовавшийся пар и лишают молекулы возможности вновь вернуться в жидкость. Также скорость испарения зависит от температуры жидкости. Испарение происходит при любой температуре жидкости, но чем выше температура жидкости, тем интенсивнее процесс испарения.

Конденсация.

Подержите зеркало у носика чайника, наполненного горячей водой; вы увидите, как зеркало покроется маленькими капельками воды.



12.4. Что произошло? Как называется это явление?

Явление перехода вещества из газообразного состояния в жидкое состояние называют конденсацией.

Подуйте на ладонь – вы почувствуете прохладу. Температура понизилась, так как произошло испарение воды с кожного покрова. Сложите ладони «лодочкой» и несколько раз выдохните воздух в ладони. Вы ощутите тепло (именно так порой отогревают зимой озябшие руки). Почему? Дело в том, что человек с воздухом выдыхает водяной пар, и *при конденсации водяного пара выделяется энергия*. Когда молекула пара приближается к поверхности жидкости, то она взаимодействует с молекулами жидкости. Под действием сил притяжения со стороны молекул жидкости «налетающая» молекула разгоняется и «бомбардирует» жидкость. В итоге энергия движения молекул жидкости, а значит, и её температура увеличиваются. Вспомните, например, состояние погоды летом перед дождём – становится жарко, душно, «парит». В этот момент как раз и происходит конденсация водяного пара, образуются капельки жидкости. А конденсация, как мы выяснили, и сопровождается выделением энергии.

Насыщенный пар. Рассмотрим более подробно, как происходят испарение и конденсация не в открытом, а в *закрытом сосуде*. Пусть в баллон, из которого предварительно выкачан воздух, введено некоторое количество жидкости (рис. 50, а). Жидкость начинает испаряться, и над ней возникает пар (газообразное состояние). Некоторые из молекул пара (ведь молекулы совершают *беспорядочное* тепловое движение) могут влететь обратно в жидкость – произойдёт конденсация.

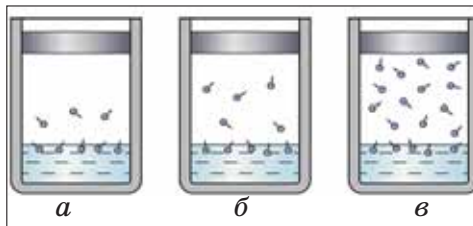


Рис. 50

Первоначально плотность пара мала, и влетает (конденсируется) лишь незначительное число молекул, т.е. процесс испарения преобладает над конденсацией. Это ведёт к тому, что плотность пара повышается. Следовательно, процесс конденсации постепенно нарастает (рис. 50, б). Накопление пара над жидкостью в итоге приводит к тому, что при некоторой плотности пара процессы конденсации и испарения уравниваются друг друга (рис. 50, в). Сколько молекул ежесекундно покидает жидкость (испарение), столько же и возвращается в жидкость (конденсация). Устанавливается равновесие между жидкостью и паром. **Пар, находящийся в равновесии со своей жидкостью, называют насыщенным.**

Может ли пар быть *ненасыщенным*? Конечно, да. Например, жидкости в баллоне (см. рис. 50, а–в) могло быть так мало, что она могла бы испариться полностью.

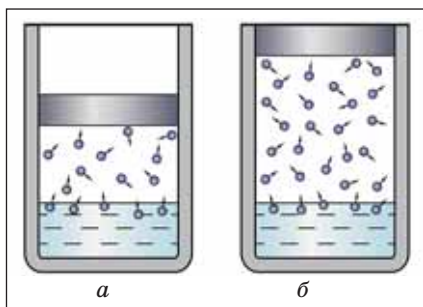
Может ли пар быть *пересыщенным* (т.е. иметь ещё большую плотность и давление, чем насыщенный пар)? Да, но это состояние неустойчиво.

Представим, что поршень в баллоне (рис. 51, а) сдвинули вниз. Тогда объём, занимаемый паром, уменьшится, его плотность станет больше. Больше будет и число молекул, движущихся «в сторону жидкости», т.е. конденсация будет преобладать над испарением, и плотность пара уменьшится до его прежнего значения, пар вновь станет насыщенным.



12.5. Пусть поршень в баллоне поднят вверх (рис. 51, б). Изменится ли плотность пара? (Считать, что жидкость полностью не испаряется.)

Изменение объёма насыщенного пара не приводит к изменению его плотности. При уменьшении объёма избыток пара конденсируется, переходит в жидкость. При увеличении объёма недостаток пара восполняется за счёт испарения жидкости. Если плотность насыщенного



пара не зависит от его объёма, то, следовательно, и **давление насыщенного пара при постоянной температуре не зависит от объёма пара. Давление насыщенного пара зависит только от его температуры.**

В таблице 5 в качестве примера приведены значения давления насыщенного водяного пара в зависимости от температуры.

Рис. 51

Таблица 5. Зависимость давления насыщенного водяного пара от температуры

Температура, °С	0	10	20	30	40	50
Давление, кПа	0,61	1,23	2,33	4,24	7,33	12,3
Температура, °С	60	70	80	90	100	105
Давление, кПа	19,9	31,0	47,3	70,1	101,3	120,3

Как видно из таблицы 5, давление насыщенного водяного пара увеличивается при возрастании температуры. Например, при изменении температуры от 50 °С до 100 °С давление водяного пара увеличивается более чем в 8 раз. Действительно, при повышении температуры жидкость испаряется сильнее. Чтобы процесс конденсации мог уравновесить такое испарение жидкости, плотность, а значит, и давление водяного пара должны быть больше.

Влажность воздуха. Подсчитано, что за год с поверхности всех водоёмов на Земле испаряется почти столько воды, сколько её содержится в Чёрном море. Но благодаря постоянно происходящей конденсации (осадки, дожди) в итоге водяной пар, содержащийся в воздухе, практически никогда не бывает насыщенным. Содержание водяного пара в воздухе характеризует *относительная влажность*. Относительная влажность воздуха – физическая величина, которая показывает, сколько процентов составляет давление водяного пара от давления насыщенного пара при той же температуре.

Обозначается относительная влажность буквой φ (читается: фи).

$$\varphi = \frac{p}{p_{нас}} \cdot 100 \%, \quad (12.1)$$

где p – давление водяного пара в воздухе,

$p_{нас}$ – давление насыщенного водяного пара при той же температуре.

При относительной влажности $\varphi = 100 \%$ пар является насыщенным. Если воздух полностью сухой и в нём нет водяного пара, то $\varphi = 0 \%$.



12.6. Может ли относительная влажность быть больше 100 %?

Влажность воздуха влияет на самочувствие человека. Если влажность мала, то с поверхности кожи человека будет испаряться много воды. Значит, человек будет испытывать чувство жажды. При высокой влажности испарение, наоборот, будет затруднено, а ведь испарение влаги позволяет регулировать температуру тела человека. (Не забывайте, что человек – «тепловая машина», выделяющая тепло в окружающую среду.) Для человека наиболее благоприятна относительная

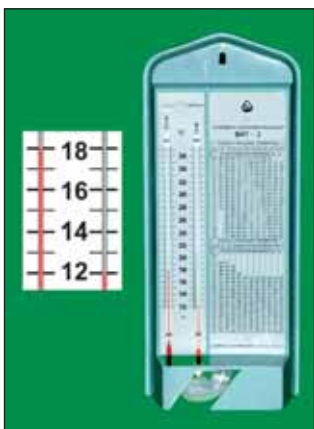


Рис. 52

влажность воздуха 40–60 %. Величина влажности воздуха имеет большое значение для лакокрасочного, кондитерского, ткацкого производств. Необходимо постоянно следить за влажностью воздуха в музеях и библиотеках.

Для определения относительной влажности можно было бы воспользоваться формулой (12.1). Но, как правило, поступают более простым способом. Имеются специальные приборы для определения относительной влажности воздуха.

Один из таких приборов *психрометр*¹ (рис. 52). Психрометр состоит из двух термометров. Резервуар одного из термометров – сухой, а резервуар другого обёрнут в мокрую ткань.



12.7. Какой из термометров показывает температуру окружающего воздуха? Показание какого термометра – «сухого» или «влажного» – меньше и почему?

Таблица 6. Психрометрическая таблица

Показания сухого термометра, °С	Разность показаний сухого и влажного термометров, °С										
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	Относительная влажность, %										
16	100	90	81	71	62	54	46	37	30	22	15
17	100	90	81	72	64	55	47	39	32	24	17
18	100	91	82	73	65	56	49	41	34	27	20
19	100	91	82	74	65	58	50	43	35	29	22
20	100	91	83	74	66	59	51	44	37	30	24
21	100	91	83	75	67	60	52	46	39	32	26
22	100	92	83	76	68	61	54	47	40	34	28
23	100	92	84	76	69	61	55	48	42	36	30
24	100	92	84	77	69	62	56	49	43	37	31
25	100	92	84	77	70	63	57	50	44	38	33

¹ От греческого слова *психрос* – холодный.

Для измерения относительной влажности воздуха с помощью психрометра определяют показания «сухого» термометра и разность между показаниями «сухого» и «влажного» термометров.

Затем по *психрометрической таблице* (табл. 6) на пересечении соответствующей горизонтальной строки и вертикального столбца смотрят, каково значение относительной влажности.



12.8. Как изменится разность показаний сухого и влажного термометров при уменьшении относительной влажности?

12.9. Почему при стопроцентной влажности воздуха разность показаний сухого и влажного термометров психрометра равна нулю?

Кипение. Помимо испарения есть ещё один способ перевести вещество из жидкого состояния в газообразное состояние. Этот способ, конечно же, вам известен – речь идёт о кипении. Как происходит, например, кипение воды? В воде и на стенках сосуда всегда имеются пузырьки воздуха, часто настолько малые, что не видны глазом. На поверхности каждого пузырька непрерывно идёт испарение жидкости и конденсация пара. В результате пузырьки наполнены насыщенным паром. При повышении температуры давление насыщенного пара возрастает (см. табл. 5 учебника). Как только давление пара в пузырьке сравняется с атмосферным давлением (и немного его превысит), пузырёк начнёт увеличиваться в размере¹.



12.10. От чего зависит архимедова сила, действующая на тело, погружённое в жидкость?

При увеличении объёма пузырька увеличивается и действующая на него архимедова сила. Пузырёк отрывается от стенки сосуда и всплывает. Что происходит с пузырьком, всплывшим в верхние (первоначально холодные) слои воды? При попадании в верхние, ещё не прогретые слои жидкости, давление насыщенного пара внутри пузырька уменьшается (почему?), и атмосферное давление захлопывает пузырёк. (Вот почему перед бурным кипением жидкости всегда слышен шум – звуки «гибели» пузырьков.)

После того как вода прогреется, пузырьки пара уже будут достигать поверхности жидкости и лопаться непосредственно там, выбрасывая насыщенный пар в атмосферу. Так происходит *кипение*.

¹ Если быть более точным, то необходимо учесть, что внешнее давление складывается из атмосферного давления и давления столба самой жидкости. Но, как правило, давление столба жидкости (ρgh) мало в сравнении с атмосферным давлением и его можно не учитывать.

Кипение – превращение жидкости в пар путём образования пузырьков пара по всему объёму жидкости.

Нормальное атмосферное давление составляет 101 300 Па. Вновь обратимся к таблице 5 учебника. Такое давление имеет насыщенный пар при температуре 100 °С. Вот почему при нормальном атмосферном давлении вода кипит именно при 100 °С.

Температуру, при которой жидкость кипит, называют температурой кипения.

После достижения жидкостью температуры кипения дальнейшего увеличения температуры не происходит. Почему? Температура жидкости при кипении не увеличивается, так как вся *подводимая нагревателем энергия затрачивается на испарение жидкости*. Ведь внутренняя энергия пара больше внутренней энергии воды той же температуры. Из этого следует один практически важный вывод, который необходимо помнить всякий раз, когда попадаешь на кухню. Интенсивное, с образованием большого количества пара, кипение воды не убыстряет приготовление пищи. Оно лишь ведёт к повышенному и совершенно бесполезному расходу энергии (электрической или тепловой).

Значения температур кипения некоторых веществ (при нормальном атмосферном давлении) приведены в таблице 7.

Таблица 7. Температура кипения веществ при нормальном атмосферном давлении, °С

Ацетон	57	Кислород	-183
Вода	100	Молоко	100
Водород	-253	Ртуть	357
Глицерин	290	Свинец	1750
Железо	2750	Спирт	78



Обратите внимание, температура кипения веществ указана при нормальном атмосферном давлении. Если внешнее давление на жидкость будет больше, то и давление насыщенного пара внутри пузырька тоже должно быть больше. Это достигается при более высокой температуре жидкости. Так, например, в паровом котле, где давление составляет 15 атмосферных давлений, вода закипит только при температуре 200 °С. Избыточное давление (больше, чем атмосферное) создаётся под плотно прилегающей крышкой в кастрюле-скороварке, и вода в ней кипит при температуре 120 °С.

Наоборот, уменьшив давление, мы тем самым позволим воде закипеть при более низкой температуре.

Поставим стакан с водой под колокол воздушного насоса (рис. 53). Откачаем насосом воздух из-под колокола, понизим давление над водой, и она закипит при температуре всего 70 °С или 65 °С. С таким явлением «низкотемпературного кипения» сталкиваются альпинисты. Они высоко в горах, где давление атмосферы меньше нормы, наблюдают кипение воды при температуре меньше 100 °С.



Рис. 53

Испарение, конденсация, насыщенный пар, относительная влажность воздуха, $\varphi = \frac{P}{P_{\text{нас}}} \cdot 100\%$, психрометр, кипение, температура кипения, зависимость температуры кипения от внешнего давления.

12.1 ● Используя таблицу 5 учебника, начертите график зависимости давления насыщенного водяного пара от температуры.

12.2 ● По норме температура в выставочных залах музея изобразительных искусств должна быть $18\text{ °C} \pm 1\text{ °C}$, а относительная влажность воздуха $50\% \pm 5\%$. Допустим, что психрометр, изображённый на рисунке 52 учебника, установлен в таком музее. Соответствуют ли условия хранения картин норме? Ответ обосновать.

12.3 ● На рисунке 54 изображён график зависимости температуры жидкости от времени. На что потребовалось больше энергии – на нагревание жидкости до температуры кипения или на превращение жидкости в пар? Во сколько раз? Мощность нагревателя постоянна. Теплообмен с окружающей средой не учитывать.

12.4 ● В кипящую воду можно спокойно налить растительное масло. Если же в кипящее масло капать воду, то масло разбрызгивается. Почему?

12.5 ● В колбе находилась вода при 0 °С. К колбе подключили насос, и откачиванием пара воду в колбе заморозили. Объясните, почему это возможно.

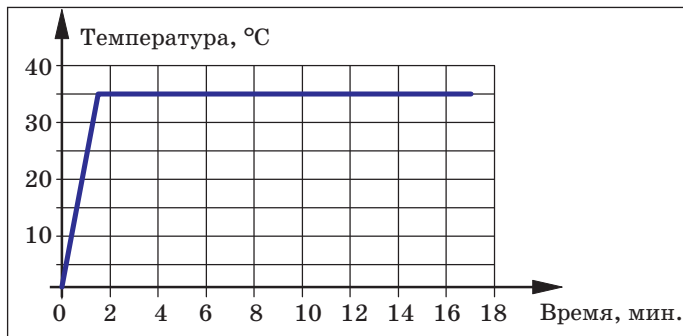
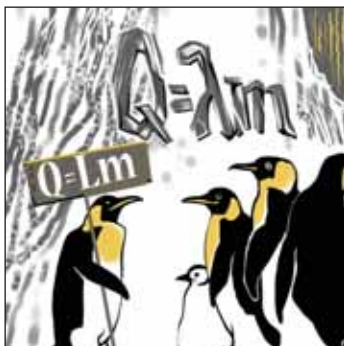


Рис. 54

§ 13. ТЕПЛОТА ПЛАВЛЕНИЯ. ТЕПЛОТА ПАРООБРАЗОВАНИЯ



Обращает на себя внимание большая теплота плавления льда. Это обстоятельство очень важно, так как оно замедляет таяние льда в природе. Будь теплота плавления значительно меньше, весенние паводки были бы во много раз сильнее и кратковременнее.

*Г.С. Ландсберг (1890–1957),
известный российский физик, академик*

Вам уже известно, что при переходе вещества из одного агрегатного состояния в другое его внутренняя энергия изменяется.

Удельная теплота плавления. Обратимся к графику зависимости температуры металла от времени, изображённому на рисунке 49. Горизонтальный участок графика соответствует, как вы знаете, процессу плавления. На этом участке графика температура кристаллического вещества не меняется, а вся энергия, передаваемая веществу нагревателем, расходуется на процесс плавления.

Физическая величина, характеризующая процесс плавления, получила название удельной теплоты плавления.

Удельная теплота плавления – это физическая величина, равная количеству теплоты, необходимому для превращения в жидкость одного килограмма кристаллического вещества, находящегося при температуре плавления.

В таблице 8 приведены значения удельной теплоты плавления некоторых веществ.

Таблица 8. Удельная теплота плавления некоторых веществ, кДж/кг (при нормальном атмосферном давлении)

Алюминий	390	Медь	210	Свинец	24
Железо	270	Олово	58	Серебро	87
Золото	67	Парафин	150	Спирт	110
Лёд (вода)	330	Ртуть	12	Сталь	84

Удельную теплоту плавления обозначают буквой λ (читается: лямбда). Что означают числа, приведённые в таблице 8? Например, удельная теплота плавления льда $\lambda = 330$ кДж/кг. Это означает, что для плавления 1 кг льда, находящегося при температуре плавления (0°C), необходимо количество теплоты 330 кДж.

Удельная теплота плавления олова $\lambda = 58$ кДж/кг. Это означает, что при плавлении (переходе в жидкое состояние) 1 кг олова, предварительно нагретого до температуры плавления (232 °С), его внутренняя энергия увеличивается на 58 кДж.



13.1. Какова единица измерения удельной теплоты плавления?

Как рассчитать количество теплоты $Q_{\text{плав}}$, необходимое для плавления кристаллического вещества, если оно нагрето до температуры плавления? Если масса вещества $m = 1$ кг, то количество теплоты $Q_{\text{плав}}$, очевидно, равно удельной теплоте плавления λ , умноженной на 1 кг. Пусть масса вещества равна m . Тогда количество теплоты, необходимое для плавления вещества, находящегося при температуре плавления, рассчитывается по формуле

$$Q_{\text{плав}} = \lambda m.$$

При обратном процессе – кристаллизации (превращении жидкости в кристаллическое тело) – происходит уменьшение внутренней энергии вещества.



13.2. Сформулируйте определение физической величины – удельной теплоты кристаллизации.

13.3. Какова единица измерения удельной теплоты кристаллизации?

При этом удельная теплота кристаллизации равна удельной теплоте плавления тела. Это следует из закона сохранения энергии. Ведь энергия, выделяющаяся при кристаллизации вещества, не может быть больше или меньше той энергии, что поглощается веществом при его плавлении.

При кристаллизации происходит выделение энергии. Количество теплоты $Q_{\text{крист}}$, выделяющееся при кристаллизации, отрицательно и рассчитывается по формуле

$$Q_{\text{крист}} = -\lambda m.$$

Удельная теплота парообразования. Дно и стенки маленького металлического стаканчика смочим снаружи водой. Поставим стаканчик на стол и нальём в него небольшое количество эфира – быстро испаряющейся жидкости. Чтобы увеличить быстроту испарения, помашем над стаканчиком листом бумаги или картона. При испарении эфира боковые стенки стаканчика покрываются инеем, и он примерзает к столу. Это происходит потому, что жидкость, испаряясь, поглощает энергию, температура стаканчика уменьшается так, что вода замерзает.

Физическая величина, характеризующая процесс испарения, получила название удельной теплоты парообразования.

Удельная теплота парообразования – это физическая величина, равная количеству теплоты, необходимому для превращения в пар одного килограмма жидкости без изменения её температуры.

В таблице 9 приведены значения удельной теплоты парообразования некоторых жидкостей.

Таблица 9. Удельная теплота парообразования некоторых веществ, кДж/кг (при температуре кипения и нормальном атмосферном давлении)

Вода	2300	Спирт	910
Ртуть	290	Эфир	360

Удельную теплоту парообразования обозначают буквой L (читается: эль). Что означают числа, приведённые в таблице 9? Например, удельная теплота парообразования воды $L = 2300$ Дж/кг. Это означает, что для превращения в пар 1 кг воды при температуре кипения $100\text{ }^\circ\text{C}$ необходимо количество теплоты 2300 кДж. Удельная теплота парообразования эфира $L = 360$ кДж/кг. Это означает, что при переходе в газообразное состояние (пар) 1 кг эфира его внутренняя энергия увеличивается на 360 кДж.



13.4. Какова единица измерения удельной теплоты парообразования?

Как рассчитать количество теплоты $Q_{\text{пар}}$, необходимое для перехода вещества из жидкого в газообразное состояние? Если масса вещества $m = 1$ кг, то количество теплоты равно, очевидно, удельной теплоте парообразования L , умноженной на 1 кг. Пусть масса вещества равна m . Тогда количество теплоты, необходимое для парообразования, рассчитывается по формуле

$$Q_{\text{пар}} = Lm.$$

При обратном процессе – конденсации (превращении пара в жидкость) – происходит уменьшение внутренней энергии вещества.



13.5. Сформулируйте определение физической величины – удельной теплоты конденсации.

13.6. Какова единица измерения удельной теплоты конденсации?

При этом удельная теплота конденсации равна удельной теплоте парообразования. (Обоснуйте это утверждение исходя из закона сохранения энергии.)

При конденсации происходит выделение энергии. Количество теплоты $Q_{\text{конд}}$, выделяющееся при конденсации, отрицательно и рассчитывается по формуле

$$Q_{\text{конд}} = -Lm.$$

Энергия, выделяющаяся при конденсации пара, может быть использована практически. Например, на тепловых электростанциях пар после прохождения турбины и совершения механической работы конденсируется. Выделяющаяся при этом энергия используется для нагрева воды, которая поступает в системы отопления зданий.

Удельная теплота плавления, удельная теплота кристаллизации, $Q_{\text{плав}} = \lambda m$, $Q_{\text{крист}} = -\lambda m$, удельная теплота парообразования, удельная теплота конденсации, $Q_{\text{пар}} = Lm$, $Q_{\text{конд}} = -Lm$.

13.1 ● Кусок льда массой 2 кг нагрели от $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ и расплавили. Какое количество теплоты потребовалось для нагревания льда? Какое количество теплоты потребовалось для плавления льда?

13.2 ● В каком случае необходимо большее количество топлива – для плавления 2 кг алюминия или для плавления 3 кг железа? Вещества находятся при температуре плавления.

13.3 ● Сколько пара (по массе) образуется из стогоградусной воды, если увеличить её внутреннюю энергию на 460 кДж?

13.4 ● Сколько льда, имеющего температуру $0\text{ }^{\circ}\text{C}$, может быть расплавлено, если использовать то количество теплоты, что выделилось при конденсации 2 м^3 стогоградусного водяного пара? Плотность водяного пара при данной температуре $0,59\text{ кг/м}^3$.

13.5 ● На рисунке 55 изображены графики зависимости изменения температуры от времени для двух твёрдых тел. Массы тел, условия нагревания и мощности нагревателей одинаковы. У какого из этих тел выше температура плавления? У какого тела больше удельная теплота плавления? Одинаковы ли удельные теплоёмкости тел в твёрдом и жидком состояниях?

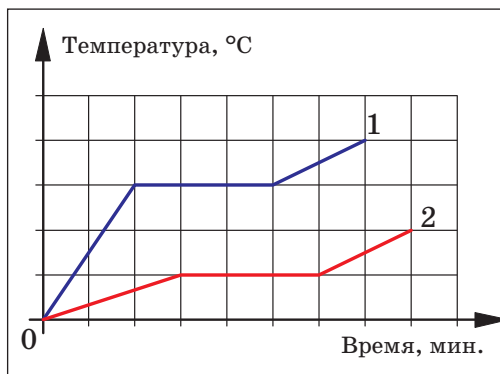


Рис. 55

§ 14. РЕШЕНИЕ ЗАДАЧ ПО ТЕМЕ «ТЕПЛОВЫЕ ЯВЛЕНИЯ»



Решение задач... тренирует в умении прикладывать теоретические знания к решению практических проблем.

*П.Л. Капица (1894–1984),
выдающийся российский физик,
лауреат Нобелевской премии*

Вы уже знаете, как рассчитывать количество теплоты для различных тепловых процессов.

Задача 1. Когда выделяется больше энергии – при конденсации стоградусного водяного пара или при охлаждении такого же количества кипятка ($100\text{ }^\circ\text{C}$) до $0\text{ }^\circ\text{C}$? Во сколько раз?

Дано:

Конденсация
и охлаждение воды

$$t_1 = 100\text{ }^\circ\text{C}$$

$$t_2 = 0\text{ }^\circ\text{C}$$

$$\frac{Q_{\text{конд}}}{Q_{\text{охл}}} - ?$$

Решение:

Пусть масса водяного пара и масса кипятка составляют m . Тогда при конденсации выделяется количество теплоты $Q_{\text{конд}}$, равное

$$Q_{\text{конд}} = -Lm, \quad (14.1)$$

где L – удельная теплота парообразования воды.

При охлаждении выделяется количество теплоты $Q_{\text{охл}}$, равное

$$Q_{\text{охл}} = mc(t_2 - t_1), \quad (14.2)$$

где c – удельная теплоёмкость воды.

Используя соотношения (14.1) и (14.2), найдём искомое отношение:

$$\frac{Q_{\text{конд}}}{Q_{\text{охл}}} = \frac{-L}{c(t_2 - t_1)}.$$

$$\frac{Q_{\text{конд}}}{Q_{\text{охл}}} = \frac{-2\,300\,000\text{ Дж/кг}}{4200\frac{\text{Дж}}{\text{кг}\cdot^\circ\text{C}}(0\text{ }^\circ\text{C} - 100\text{ }^\circ\text{C})} = 5,5.$$

Вычисления показывают, что количество теплоты, выделяющееся при конденсации водяного пара, в 5,5 раза больше того количества теплоты, что выделяется при охлаждении воды (даже до температуры $0\text{ }^\circ\text{C}$). Вот почему ожог водяным паром опаснее, чем ожог кипятком!

Ответ: при конденсации пара выделяется в 5,5 раза больше тепла, чем при охлаждении такого же количества кипятка до $0\text{ }^\circ\text{C}$.

Задача 2. Из морозильной камеры холодильника извлекли 1,5 кг льда при температуре $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$. Лёд поместили в кастрюлю и начали нагревать на газовой горелке. Сколько газа потребуется, чтобы превратить весь лёд в пар? Считать, что вода получает 40 % энергии, выделяющейся при сгорании топлива.

Дано:

Лёд – в пар

$m = 1,5\text{ кг}$

$t_1 = -10\text{ }^{\circ}\text{C}$

$c_{\text{л}} = 2100\text{ Дж}/(\text{кг}\cdot^{\circ}\text{C})$

$c_{\text{в}} = 4200\text{ Дж}/(\text{кг}\cdot^{\circ}\text{C})$

$\lambda = 330\text{ кДж}/\text{кг}$

$L = 2300\text{ кДж}/\text{кг}$

$q = 44\text{ МДж}/\text{кг}$

40 %

$m_{\text{топл}} = ?$

СИ:

$3,3 \cdot 10^5\text{ Дж}/\text{кг}$

$2,3 \cdot 10^6\text{ Дж}/\text{кг}$

$4,4 \cdot 10^7\text{ Дж}/\text{кг}$

Решение:

Какие физические явления происходят при превращении льда в пар? Это – нагревание льда, плавление льда, нагревание воды, парообразование. Начертим график изменения температуры воды, находящейся в кастрюле, от времени (рис. 56). Какие физические процессы отражает каждый из участков графика?

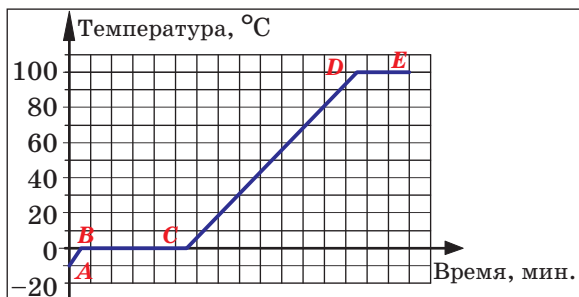


Рис. 56

Результаты анализа¹ приведены в таблице:

Участок графика	Происходящий физический процесс	Формула для расчёта количества теплоты
AB	Нагревание льда от температуры t_1 до $0\text{ }^{\circ}\text{C}$	$Q_1 = mc_{\text{л}}(0\text{ }^{\circ}\text{C} - t_1)$
BC	Плавление льда	$Q_2 = \lambda m$
CD	Нагревание воды от $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $100\text{ }^{\circ}\text{C}$	$Q_3 = mc_{\text{в}}(100\text{ }^{\circ}\text{C} - 0\text{ }^{\circ}\text{C})$
DE	Парообразование	$Q_4 = Lm$

¹ Анализировать – исследовать что-либо путём рассмотрения отдельных сторон, свойств.

Количество теплоты Q , необходимое для превращения всего льда в пар, равно

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4.$$

По условию задачи это количество теплоты составляет 40 % от всей энергии топлива $Q_{\text{топл}}$, выделяющейся при сгорании газа. Составим пропорцию:

$$\begin{aligned} Q_{\text{топл}} &= 100 \% \\ Q &= 40 \% \end{aligned}$$

Учтём также, что количество теплоты $Q_{\text{топл}}$ рассчитывается по известной формуле

$$Q_{\text{топл}} = qm_{\text{топл}}.$$

(Дальнейшие действия по решению задачи выполните самостоятельно.)

Ответ: $m_{\text{топл}} = 0,26$ кг.



Задача 3. На рисунке 57 показан график изменения температуры некоторого кристаллического вещества, нагреваемого на горелке полезной тепловой мощностью 0,1 кВт, от времени. (График построен без учёта теплообмена с окружающей средой.)

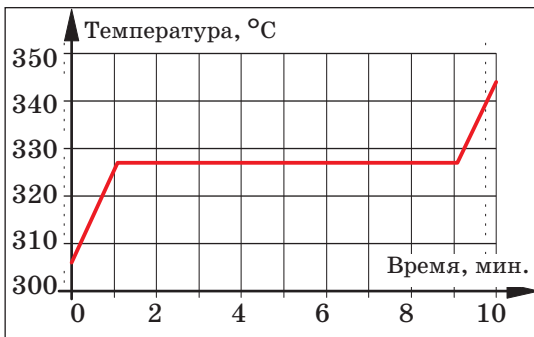


Рис. 57

Определите температуру плавления, удельную теплоту плавления вещества. В каком состоянии – твёрдом или жидком – удельная теплоёмкость вещества больше? Масса вещества 2 кг.

Дано:
Вещество. График
 $N = 0,1$ кВт
 $m = 2$ кг

$t_{\text{пл}} - ?$
 $\lambda - ?$

СИ:
100 Вт

Решение:

Из анализа графика (рис. 57) ясно, что участок АВ соответствует нагреванию кристаллического вещества. Участок ВС – плавление вещества, переход из твёрдого состояния в жидкое. Участок CD – нагревание вещества, уже находящегося в жидком состоянии.

Из графика видно, что температура плавления равна $t_{пл} = 327\text{ }^\circ\text{C}$.

За первую минуту (вещество в твёрдом состоянии) температура изменилась на $21\text{ }^\circ\text{C}$. За время с девятой по десятую минуту (вещество в жидком состоянии) температура изменилась на $18\text{ }^\circ\text{C}$. Но и за первую, и за десятую минуту веществом получено одно и то же количество теплоты. Следовательно, в жидком состоянии удельная теплоёмкость вещества больше.

Плавление вещества длилось 8 минут. За это время от нагревателя было получено количество теплоты $Q_{нагр}$, равное

$$Q_{нагр} = Nt,$$

где t – время плавления вещества.

Полученная энергия пошла на плавление вещества. Количество теплоты $Q_{плав}$, необходимое для плавления кристаллического вещества, рассчитывается по известной формуле

$$Q_{плав} = \lambda m.$$

По условию задачи теплообмен с окружающей средой отсутствует, следовательно,

$$Q_{плав} = Q_{нагр}.$$

(Дальнейшие действия по решению задачи выполните самостоятельно.)

Ответ: $t_{пл} = 327\text{ }^\circ\text{C}$, $\lambda = 24\text{ кДж/кг}$.

Задача 4. Паровая турбина (давление пара 240 атмосфер, температура пара $560\text{ }^\circ\text{C}$) имеет коэффициент полезного действия 40 %. Сколько льда можно было бы расплавить тем количеством теплоты, что поступает в «холодильник» (окружающую среду) за сутки работы такой паровой турбины? Мощность турбины 300 МВт.

Дано:

Паровая турбина

КПД = 40 %

$t = 24$ часа

$N = 300$ МВт

$\lambda = 330$ кДж/кг

$m - ?$

СИ:

86 400 с

$3 \cdot 10^8$ Вт

$3,3 \cdot 10^5$ Дж/кг

Решение:

Количество теплоты, полученное «холодильником» при работе тепловой машины $Q_{хол}$, очевидно, равно

$$Q_{хол} = Q_1 - A, \quad (14.3)$$

где Q_1 – количество теплоты,

переданное тепловой машине (турбине) «нагревателем», A – механическая работа, совершённая турбиной мощностью N за время t .

$$A = Nt. \quad (14.4)$$

Коэффициент полезного действия тепловой машины по определению равен

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

Отсюда

$$Q_1 = \frac{A \cdot 100 \%}{\text{КПД}}. \quad (14.5)$$

Из соотношений (14.3) – (14.5) имеем

$$Q_{\text{хол}} = Nt \left(\frac{100 \%}{\text{КПД}} - 1 \right).$$

По условию задачи данное количество теплоты предлагается расходовать на плавление льда.

$$Q_{\text{плав}} = Q_{\text{хол}}.$$

$$Q_{\text{плав}} = \lambda m.$$

Отсюда

$$m = \frac{Nt \left(\frac{100 \%}{\text{КПД}} - 1 \right)}{\lambda}.$$

$$m = \frac{3 \cdot 10^8 \text{ Вт} \cdot 86\,400 \text{ с} \left(\frac{100 \%}{40 \%} - 1 \right)}{3,3 \cdot 10^5 \text{ Дж / кг}} = 12 \cdot 10^7 \text{ кг}.$$

$$m = 120\,000 \text{ т}.$$

Действия с единицами измерений выполните самостоятельно.

Ответ: $m = 120\,000 \text{ т}$.

14.1 ● В бак с водой по трубе поступает 1 кг стоградусного пара. После конденсации пара температура воды в баке возросла на 35 °С. Если вместо пара поступит 1 кг стоградусной воды, то температура воды в баке возрастёт только на 5 °С. Объясните, почему степень нагрева воды различна.

14.2 ● В стальной баллон массой 80 кг впустили стоградусный водяной пар. После того, как часть пара сконденсировалась, температура баллона возросла до 100 °С. Какая масса воды перешла из газообразного состояния в жидкое состояние? Первоначальная температура баллона 20 °С. Теплообмен с окружающей средой не учитывать.

14.3 ● Сравните внутреннюю энергию свинца массой 0,5 кг в твёрдом и жидком состояниях при температуре плавления.

14.4 ● Сколько льда следует бросить в кипяток, чтобы вода охладилась до 0 °С? Температура льда 0 °С. Масса кипятка 2 кг.

14.5 ● В погожий зимний день мальчик массой 45 кг скатывается на лёгких санках с ледяной горки высотой 4 м. Оцените, какое количество льда растает под полозьями санок к моменту их остановки.

Самое важное в разделе «Тепловые явления»

1. Частицы тела совершают непрерывное беспорядочное тепловое движение. Чем больше энергия теплового движения, тем выше температура тела.

2. Внутренняя энергия тела U может быть изменена двумя способами:

- путём совершения механической работы над телом;
- при теплообмене.

Энергию в случае теплообмена называют количеством теплоты Q .
Виды теплообмена: теплопроводность, конвекция, излучение.

3. В тепловых явлениях, как и в других природных процессах, выполняется закон сохранения энергии:

$$\Delta U = A + Q.$$

4. Тепловые машины – устройства, позволяющие превратить внутреннюю энергию топлива в механическую энергию.

$$\text{КПД} < 1 \text{ (всегда!).}$$

Создание тепловых машин способствовало техническому прогрессу.

5. Процессы

- горения топлива $Q = qm$,
- нагревания и охлаждения вещества $Q = mc\Delta t$,
- плавления и кристаллизации вещества $Q = \pm \lambda m$,
- парообразования и конденсации вещества $Q = \pm Lm$

связаны с выделением (поглощением) энергии.

I.1 ● С поверхности кожи человека и его лёгких за сутки испаряется до 2 кг воды. Какое количество теплоты каждую секунду передаётся организмом человека окружающей среде благодаря процессу испарения?

I.2 ● Тело человека, как и другой нагретый предмет, излучает тепловую энергию. Мощность тела человека как излучателя энергии составляет около 0,1 кВт. Сколько воды можно было бы нагреть от комнатной температуры до кипения, используя энергию, излучённую человеком за сутки?

I.3 ● Определите КПД двигателя мотоцикла, если при средней мощности двигателя 9 кВт за 1 час его работы расходует 4 л бензина. Плотность бензина 710 кг/м³.

I.4 ● Как изменился бы, по вашему мнению, климат Земли, если удельная теплоёмкость воды, удельная теплота плавления льда, удельная теплота парообразования воды были бы в 10 раз меньше?



I.5. Предложите способ определения удельной теплоёмкости свинца, располагая свинцовой дробью, лабораторным термометром, измерительной линейкой и картонным футляром.

P. S.



Тепловые явления изучены нами весьма основательно. В большинстве случаев вы теперь не только знаете, почему происходит то или иное явление, но и умеете производить «энергетические» расчёты.

Несмотря на это, есть ещё множество вопросов, к рассмотрению которых мы даже не приступали. Есть проблемы, которые даже и не упоминались. Например:

1. Как рассчитать внутреннюю энергию тела.
2. Какими математическими соотношениями описываются явления теплопроводности, конвекции, излучения.
3. В природе энергия (количество теплоты) всегда передаётся от более горячего тела к более холодному. Почему в природе невозможен обратный процесс? Ведь подобные процессы не противоречили бы закону сохранения энергии. «Холодные» тела уменьшали бы свою внутреннюю энергию, а «горячие» тела на такое же число джоулей увеличивали бы свою внутреннюю энергию. При этом энергетический баланс сохранялся бы. Но такие «энергетически допустимые» процессы в природе не наблюдаются. (И учёными объяснена причина их невозможности.)
4. Каков принцип действия холодильных установок.
5. Как, зная внутреннее строение вещества, предсказать, каковы будут значения удельной теплоёмкости, температуры плавления и других величин, характеризующих тепловые свойства вещества.

Раздел 2. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ЯВЛЕНИЯ

В этом разделе вы приступаете к изучению электрических явлений. Узнаете, по какой причине происходит взаимодействие электрически заряженных частиц. Изучите такое важное с практической точки зрения явление, как электрический ток; выясните, при каких условиях он возникает и какими действиями сопровождается. Ознакомьтесь с важнейшими законами, которые позволяют проводить расчёты электрических цепей.

§ 15. Электрическое взаимодействие. Проводники и изоляторы

Вспомним известное

Электризация тел

Взаимодействие заряженных тел

Закон сохранения электрического заряда

Проводники и изоляторы

Единица измерения заряда

§ 16. Электрическое поле. Конденсаторы

Как взаимодействуют электрические заряды

Материя – вещество и поле

Электромагнитное поле и электромагнитная волна

Конденсаторы

§ 17. Электрический ток

Физическое явление электрический ток

Признаки явления

§ 18. Электрическая цепь

Элементы электрической цепи

Практическая работа «Сборка простейших электрических цепей»

§ 19. Сила тока

Ток – явление, сила тока – величина

Формула, определяющая силу тока

Как измеряют силу тока

Лабораторная работа «Измерение силы тока»

§ 20. Электрическое напряжение

Напряжение

Формула, определяющая напряжение

Как измеряют напряжение

Лабораторная работа «Измерение напряжения»

- § 21. Закон Ома для участка цепи. Электрическое сопротивление
 - Закон Ома для участка цепи
 - Сопротивление
 - Примеры решения задач
- § 22. Лабораторная работа «Определение сопротивления участка цепи»
- § 23. Удельное сопротивление. Реостаты
 - Сопротивление проводника
 - Удельное сопротивление
 - Реостаты
 - Практическая работа «Регулировка силы тока реостатом»
- § 24. Решение задач по теме «Расчёт сопротивления проводников»
 - Классификация задач
 - Примеры решения задач
- § 25. Последовательное и параллельное соединение проводников
 - Последовательное соединение
 - Параллельное соединение
 - Расчёт сопротивления цепи при последовательном и параллельном соединении проводников
 - Пример расчёта сопротивления электрической цепи
- § 26. Лабораторная работа
 - «Изучение последовательного соединения проводников»
- § 27. Лабораторная работа
 - «Изучение параллельного соединения проводников»
- § 28. Мощность и работа тока
 - Мощность тока
 - Работа тока
 - Вывод формулы для расчёта работы и мощности тока
 - Примеры решения задач
 - Лабораторная работа «Определение мощности и работы тока»
- § 29. Закон Джоуля и Ленца. Электронагревательные приборы
 - Закон Джоуля и Ленца
 - Примеры решения задач
 - Электронагревательные приборы
 - Короткое замыкание. Предохранители
- § 30. Лабораторная работа
 - «Определение КПД электронагревателя воды»
 - КПД электронагревателя воды
 - Лабораторная работа

Самое важное в разделе «Электрические явления»

P. S.

§ 15. ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ. ПРОВОДНИКИ И ИЗОЛЯТОРЫ



Электричество, как положительное, так и отрицательное, разделяется на определённые элементарные количества, которые играют роль атомов электричества.

Г. Гельмгольц (1821–1894), немецкий учёный, впервые математически обосновавший закон сохранения энергии

Вам уже известно, что в природе существуют электрически заряженные частицы, что они взаимодействуют.

Вспомним известное. Переходя от рассмотрения тепловых явлений к изучению явлений электрических, напомним основные научные факты, уже известные вам. Вещество состоит из отдельных частиц – молекул и атомов. Атом, как было установлено английским учёным Резерфордом, содержит массивное **ядро** малых (даже по атомным масштабам) размеров. Вокруг ядра движутся лёгкие частицы – **электроны**.

Ядро, в свою очередь, состоит из отдельных частиц – *протонов и нейтронов* (рис. 58).

Установлено, что ядро и электроны взаимодействуют *электрическими силами*. В электрическом взаимодействии участвуют не любые, а только *электрически заряженные частицы*. «Способность» частицы к участию в электрическом взаимодействии характеризуют физической величиной – *электрическим зарядом частицы*. Чем больше электрический заряд каждой частицы, тем больше (при прочих равных условиях) сила электрического взаимодействия между ними. Существуют **отрицательно и положительно заряженные частицы**.

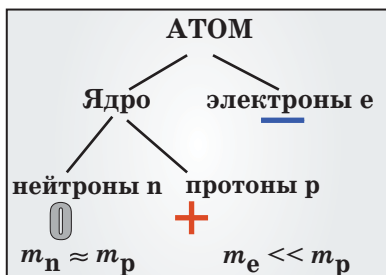


Рис. 58

Знаки зарядов		Направление сил
+	+	
-	-	
+	-	

Рис. 59

Так, электрон – отрицательно заряженная частица, протон – положительно заряженная частица, а нейтрон – частица нейтральная, не имеет электрического заряда. Одноимённо заряженные частицы, взаимодействуя, отталкиваются, а разноимённо заряженные – притягиваются (рис. 59).

Установлено, что электрический заряд частицы не может быть каким угодно. Оказывается, наименьшая «порция» электричества, наименьший электрический заряд, которым может обладать частица в свободном состоянии, – это *заряд электрона*¹. Заряд любой частицы либо равен заряду электрона по величине (как, например, у протона), либо отличается от заряда электрона в кратное число раз.

Электризация тел. Как вы знаете, заряд ядра атома равен общему заряду всех электронов атома (рис. 60). Таким образом, атом – электрически нейтральная система. Но часто – при взаимодействии атомов в молекулах вещества, в результате столкновения атомов, при облучении вещества светом и по другим причинам – атом теряет один или несколько электронов либо, наоборот, приобретает избыточные электроны. В этих случаях атом превращается в электрически заряженную частицу, которую называют ионом. **Положительные или отрицательные ионы – это атомы с недостающим или избыточным числом электронов.**

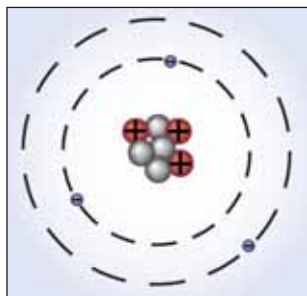


Рис. 60. Условная модель атома лития. Ядро атома состоит из трёх протонов и четырёх нейтронов. В электронной оболочке атома три электрона

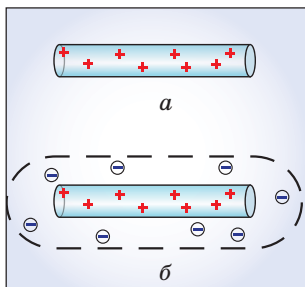


Рис. 61

Представим, что, например, в жидком стекле число положительных ионов преобладает над числом отрицательно заряженных частиц. Охладим жидкое стекло. В результате образуется твёрдое вещество, обладающее определённым электрическим зарядом. К примеру, стеклянная палочка будет иметь положительный заряд (рис. 61, а). В окружающем воздухе всегда имеются отрицательно заряженные ионы, которые притягиваются к стеклянной палочке и создают на ней «шкурку» поверхностного отрицательного заряда (рис. 61, б). В итоге стеклянная палочка будет электрически нейтральна.

¹ То есть электрический заряд *дискретен*. Дискретность – прерывность, раздельность.

«Шкурку» поверхностного заряда достаточно легко удалить, например, потерев стекло о шёлк (рис. 62). Тогда электрический заряд палочки не будет скомпенсирован, палочка «приобретёт» положительный заряд. **Явление разделения электрических зарядов тела называется электризацией¹.**

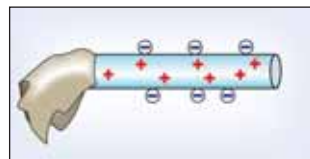


Рис. 62

Электризацию тел удобно наблюдать, используя прибор – *электрометр* (рис. 63). Прикоснёмся к металлическому стержню 1 электрометра наэлектризованной стеклянной палочкой. (Какой заряд имеет стеклянная палочка?) Часть электронов со стержня и металлической стрелки 2 прибора перейдёт на стеклянную палочку.



Рис. 63



15.1. Каков знак электрического заряда электрона?

И стержень, и стрелка прибора будут иметь положительный заряд. Уберём стеклянную палочку. Стержень 1 и стрелка 2, заряженные одноимённо, отталкиваются. Стрелка электрометра отклоняется от вертикали тем сильнее, чем больший заряд приобрёл прибор.

Явление электризации используется в современных копировальных и печатных устройствах (ксероксах, лазерных принтерах).

В автомобильной промышленности явление электризации используется для покраски кузовов автомобилей. В специальных камерах краска распыляется и одновременно приобретает отрицательный заряд. Кузову же автомобиля сообщают положительный заряд, и краска оседает равномерно по всей поверхности. (Почему?)

Электризация может быть и вредной. Так, взаимодействие наэлектризованных волокон затрудняет работу ткацкого станка ввиду сильного отталкивания волокон. (Вспомните, как ведут себя сухие волосы при расчёсывании их пластмассовой расчёской.) Электризуется самолёт в полёте при трении о воздух. Если после посадки к самолёту приставить металлический трап, то произойдёт электрический разряд, что может вызвать пожар. По этой причине с корпуса самолёта опускают на землю металлический трос, чтобы заряженные частицы «ушли» в землю.

¹ С явлением электризации люди знакомы тысячи лет (оно было известно ещё в Древней Греции). Однако до настоящего времени учёными не разработана общая теория электризации, которая бы объясняла все случаи этого явления.

Взаимодействие заряженных тел. Используя явление электризации, можно провести ряд опытов и выяснить, как сила электрического взаимодействия зависит от зарядов тел и расстояния между ними. Возьмём легкие гильзы, изготовленные из металлической фольги и закреплённые на шёлковых нитях. Подвесим их так, чтобы они были параллельны друг другу (рис. 64, а). С помощью наэлектризованной палочки сообщим гильзам одноимённый электрический заряд. Гильзы, отталкиваясь, разойдутся, нити подвеса отклонятся от вертикали. Изменяя расстояние между гильзами, мы убедимся, что *сила электрического взаимодействия уменьшается при увеличении расстояния между заряженными телами* (рис. 64, б, в).

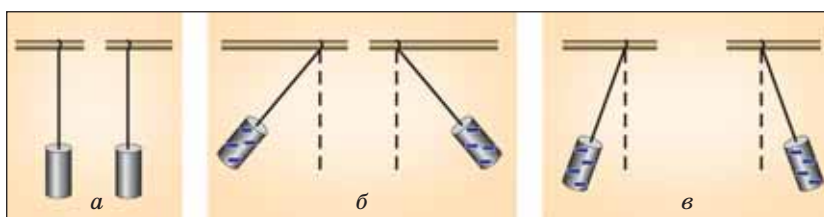


Рис. 64

Зависит ли сила взаимодействия между заряженными частицами от величины зарядов, а если зависит, то как? Для ответа на этот вопрос нужно пронаблюдать, как меняется взаимодействие гильз при изменении заряда на них. Каким же образом можно изменить заряд гильзы? Способ есть. Необходимо к одной из заряженных гильз прикоснуться такой же, но незаряженной гильзой (рис. 65, а). Уберём дополнительную гильзу и убедимся, что при уменьшении заряда каждого из тел сила взаимодействия уменьшается (рис. 65, б, в).

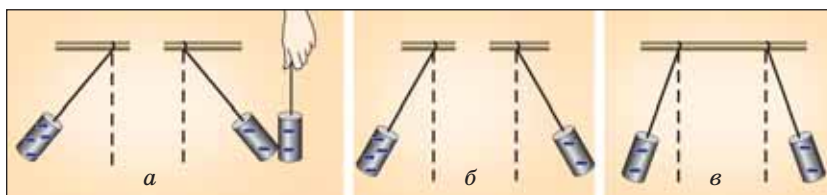


Рис. 65

Таким образом, сила электрического взаимодействия между двумя неподвижными заряженными телами увеличивается при увеличении заряда любого из них и уменьшается при увеличении расстояния между ними.

Математическая формула закона взаимодействия неподвижных электрических зарядов была установлена французским учёным Ш. Кулоном в 1785 г. Для этого на специальной установке – крутильных весах – им были проведены измерения силы притяжения и отталкивания между заряженными шариками малых размеров.

Закон сохранения электрического заряда. При электризации происходит разделение электрических зарядов. Но возникают ли при этом новые электрические заряды?! Проведём опыт. Снабдим электрометры металлическими шарами (рис. 66, а). Возьмём полоску полиэтиленовой плёнки, поднесём её к одному из электрометров и убедимся, что заряд полиэтилена первоначально равен нулю. Наэлектризуем один из шаров электрометра, энергично потерев о шар полиэтиленом. Удалим полиэтилен от электрометра. Убедимся, что электрометр действительно приобрел заряд – стрелка электрометра отклонилась от вертикали (рис. 66, б).

Приобрела ли полиэтиленовая плёнка заряд при электризации? Поднесём плёнку (не прикасаясь!) к шару другого электрометра и обнаружим, что стрелка этого электрометра тоже отклоняется (рис. 66, в). Итак, *при электризации происходит именно разделение зарядов*: и электрометр, и полиэтилен приобрели электрический заряд.

Проверим, что сумма этих зарядов, как и раньше, равна нулю. Положим полиэтиленовую плёнку на шар заряженного электрометра, и он полностью разрядится, стрелка прибора вернётся в первоначальное вертикальное положение (рис. 66, г).

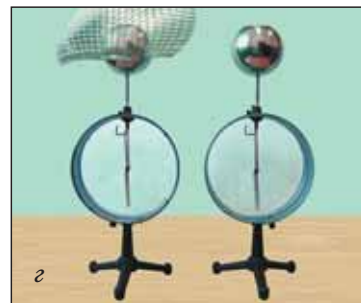
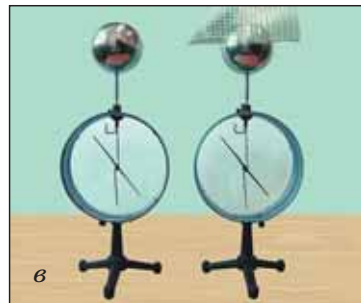


Рис. 66

Опыт убеждает нас, что при электризации новые электрические заряды не возникают. В системе (группе тел) происходит только перераспределение уже имеющихся зарядов, но не появление в ней новых зарядов. Множество различных наблюдений и опытов, проведённых учёными с заряженными телами, заряженными частицами, позволили сформулировать ещё один закон сохранения¹ – *закон сохранения электрического заряда*.

Алгебраическая сумма электрических зарядов всех частиц замкнутой системы не меняется, какие бы процессы ни происходили в системе.

Так же, как и закон сохранения энергии, закон сохранения электрического заряда является важнейшим (фундаментальным) законом природы.

Проводники и изоляторы. Прикоснёмся одной рукой к электрометру, а другой рукой к водопроводному крану. Электрометр разрядится, «потеряет заряд». Почему? Имеющиеся на электрометре заряженные частицы перейдут на тело человека и через него уйдут в землю². Разрядится электрометр и в том случае, если соединить его с землёй железной или алюминиевой проволокой. Но если электрометр соединить с землёй стеклянной палочкой, резиновой трубкой, пластмассовой линейкой, капроновой нитью, то разрядка прибора не наблюдается.

Таким образом, *по электрическим свойствам вещества можно разделить на проводники и изоляторы (их ещё называют диэлектриками)*.

Проводниками являются металлы, водные растворы солей, кислот и оснований, тело человека, влажная почва. Изоляторы – стекло, резина, пластмассы, сухая древесина, машинное масло, бензин, керосин, чистый сухой воздух.

Учёные пришли к мысли о разделении веществ на проводники и изоляторы (диэлектрики) ещё в первой трети XVIII века. И лишь в дальнейшем, значительно позже, было обнаружено, что помимо проводников и изоляторов существуют и полупроводники – вещества с особыми электрическими свойствами. Самым распространённым в природе полупроводником является кремний – химический элемент четвёртой группы периодической системы. (В земной коре по массе его содержится около 30 %.) В наше время кристаллы полупроводниковых материалов являются основой таких современных устройств, как компьютеры, сотовые телефоны, видеокамеры и так далее.

¹ Вам уже известен закон сохранения энергии.

² Как говорят в таких случаях – «произведено заземление прибора».



Единица измерения заряда. Электрический заряд, как и любая физическая величина, может быть измерен. Единица измерения электрического заряда получила название «кулон» (сокращенно Кл) в честь французского физика Ш. Кулона. На практике применяют и другие единицы, дольные кулону: $1 \text{ мКл} = 0,001 \text{ Кл}$, $1 \text{ мкКл} = 0,000001 \text{ Кл}$.

Заряд в один кулон – это очень большой заряд. Если металлический шар диаметром в 1 м попробовать зарядить отрицательно до заряда в 1 Кл, то сделать это не удастся! Почему? Чтобы зарядить шар отрицательно, ему необходимо сообщить избыток электронов – отрицательно заряженных частиц. Однако электроны с такой силой будут отталкиваться друг от друга, что разлетятся, не удержатся на шаре. В опытах по электризации, описанных в параграфе, заряженные тела имели заряд в одну миллиардную – одну миллионную долю кулона.

Наименьший заряд, встречающийся в природе, как вы знаете, это заряд электрона. Заряд электрона отрицателен, он равен $-1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$.

Атом содержит ядро и электроны, электрические силы, положительно и отрицательно заряженные частицы, ионы, электризация тел, зависимость силы электрического взаимодействия заряженных тел от величины их зарядов и расстояния между ними, закон сохранения заряда, проводники и изоляторы, полупроводники, единица измерения заряда – кулон.

15.1 ● Ядро атома хлора содержит 17 протонов и 18 нейтронов. Сколько электронов содержит электронная оболочка атома в нейтральном состоянии? Сколько электронов должна содержать электронная оболочка, чтобы атом хлора стал отрицательным ионом?

15.2 ● При налипании топлива в цистерну бензовоза и при движении бензовоза его корпус соединён с землёй цепью, несколько звеньев которой обязательно волочатся по дороге. Зачем это делают?

15.3 ● При взаимодействии частицы фотон с веществом происходит её превращение в частицы электрон и позитрон. Каковы знак и величина электрического заряда позитрона? Фотон – электрически нейтральная частица.

15.4 ● На рисунке 67 изображено устройство электроскопа – прибора, при помощи которого выясняют, наэлектризовано ли тело. В приборе через пластмассовую пробку 1 пропущен металлический стержень 2, на конце которого укреплены два листочка из тонкой бумаги 3. Если к металлическому стержню прибора прикоснуться наэлектризованным телом, то листочки электроскопа разойдутся. Объясните принцип действия прибора. От чего, по вашему мнению, зависит угол расхождения листочков электроскопа?

15.5 ● Известно, что металлы обладают и хорошей электропроводностью, и хорошей теплопроводностью. Является ли это случайным совпадением или объясняется особенностями внутреннего строения металлов? Почему металлы – проводники?

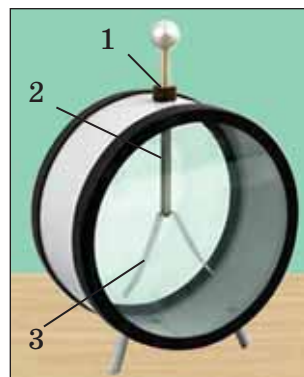
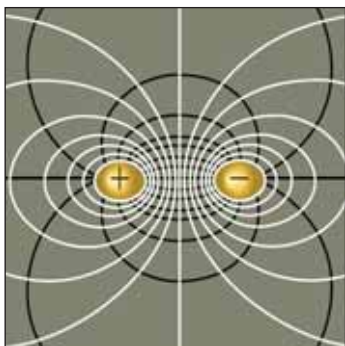


Рис. 67

§ 16. ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ ПОЛЕ. КОНДЕНСАТОРЫ



Фарадей искал сущность реальных явлений, протекающих в среде.

Д.К. Максвелл

Вы уже знаете, что электрически заряженные частицы взаимодействуют.

Как взаимодействуют электрические заряды. Не возникало ли у вас при изучении предыдущего параграфа желание задать вопросы: «Каким образом происходит взаимодействие заряженных частиц? Как заряженные частицы узнают о существовании других заряженных частиц, к которым они должны притягиваться или отталкиваться с определённой силой? Как, например, протон – ядро атома водорода – чувствует электрон, находящийся на расстоянии, в 100 000 раз большем размеров протона? Как протон определяет, с какой силой он должен притягивать электрон?» Действительно, такие вопросы вполне закономерны! Ведь, рассматривая в предыдущем параграфе особенности электрических сил, мы не обсуждали, *каков механизм взаимодействия заряженных частиц.*

Материя – вещество и поле. Поиски ответов на поставленные вопросы для учёных-физиков были нелегки. Высказывались гипотезы (предположения), создавались научные теории, проводились эксперименты. Не сразу и не просто пришло понимание, была найдена истина. Первым верные соображения высказал выдающийся английский физик М. Фарадей (1791–1867). Он предположил, что в пространстве вокруг электрических заряженных частиц существует *электрическое поле.*

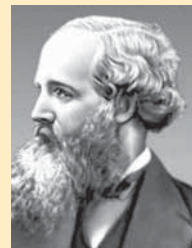


Майкл Фарадей (1791–1867). Великий английский учёный. Впервые ввёл в науку представление об электрическом и магнитном полях. Экспериментально обнаружил единство электромагнитных явлений. Установил законы электролиза, провёл опыты по сжиганию газов.

Джеймс Клерк Максвелл (1831–1879). Великий английский физик. Создатель теории электромагнитного поля. Полученные им уравнения позволяют производить расчёты электромагнитных явлений.

Один из основателей молекулярной физики.

Труды по оптике, теории упругости, истории физики.



Что же такое электрическое поле? Всё, что действительно, реально существует в природе, в науке называют *материей*. Капелька воды, крупинка поваренной соли, воздух, атом железа, радиоволна – материальны, они существуют реально. До Фарадея науке была известна только одна форма материи – *вещество*, которое, как вы знаете, состоит из атомов и молекул. **Фарадей же предположил, что существует ещё одна форма материи – поле.**

Вокруг электрических зарядов существует особая форма материи – электрическое поле.

Согласно идее Фарадея электрические частицы непосредственно не взаимодействуют. Как же осуществляется электрическое взаимодействие? *Электрическое поле одной заряженной частицы действует на другую заряженную частицу*, и наоборот – электрическое поле второй заряженной частицы действует на первую частицу.

Главное свойство электрического поля – его действие на заряженные частицы с некоторой силой.

Высказанная М. Фарадеем идея о существовании электрического поля вокруг заряженных частиц требовала теоретического осмысления и экспериментальной проверки.

Электромагнитное поле и электромагнитная волна. Развивая идеи М. Фарадея, знаменитый английский физик Дж.К. Максвелл разработал теорию электромагнитного поля. **Максвелл выяснил, что электрическое поле – одна из форм электромагнитного поля.** «Электромагнитное поле, – писал учёный, – это та часть пространства, которая содержит в себе и окружает тела, находящиеся в электрическом или магнитном состоянии». Историки науки часто называют Максвелла «Ньютоном электромагнетизма». Действительно, Ньютон установил законы движения вещества – от отдельных частиц до гигантских галактик. Максвелл же установил законы электромагнитного поля, законы движения иной, отличной от вещества, формы материи.

Из теории Максвелла, в частности, следовало, что *при быстрых колебаниях электрически заряженных частиц* создаваемое ими электромагнитное поле меняется и *возникают электромагнитные волны* (например, радиоволны). *Немецкий физик Г. Герц провёл опыты и обнаружил электромагнитные волны* (рис. 68). Он измерил скорость электромагнитных волн; скорость, как и предсказывала теория, оказалась равна скорости света (300 000 км/с). Тем самым реальность электромагнитного поля получила экспериментальное подтверждение!

В 1895 году русский физик А.С. Попов изобретает первый радиопередатчик и радиоприёмник (рис. 69). С этого момента идеи Фарадея и Максвелла получают практическое воплощение. В наши дни мы уже не мыслим свою жизнь без радиосвязи, телевидения, сотовых телефонов. Эти и множество других технических устройств изобретены и работают только благодаря тому, что **в природе реально существует особая форма материи – электромагнитное поле.**



Рис. 68. Экспериментальная установка Г. Герца по изучению электромагнитных волн

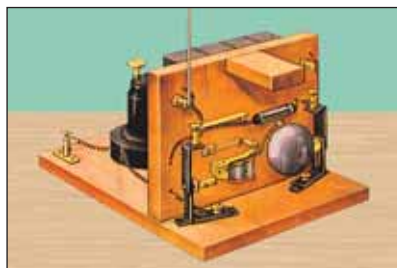


Рис. 69. Радиоприёмник А.С. Попова



Конденсаторы. К положительно заряженной гильзе, подвешенной на нити, поднесём положительно заряженную стеклянную палочку (рис. 70). Гильза придёт в движение и оттолкнётся. Почему? Теперь вслед за Фарадеем и Максвеллом мы готовы объяснить результаты опыта.

Вокруг заряженной стеклянной палочки существует электрическое поле. Это поле действует на заряды, находящиеся на гильзе, с некоторой силой. В результате гильза приходит в движение и отклоняется, поднявшись на некоторую высоту. Гильза, придя в движение, изменяет свою механическую энергию. Это возможно только тогда, когда электрическое поле совершает механическую работу, когда *электрическое поле обладает энергией.*

Ясно, что, чем больше заряд, находящийся на стеклянной палочке, тем сильнее электрическое поле, тем больше его энергия.

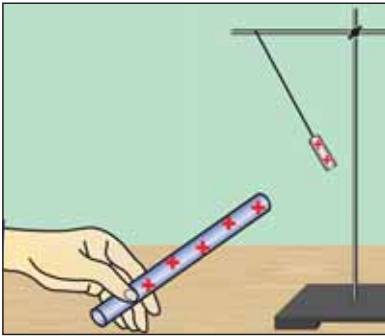


Рис. 70

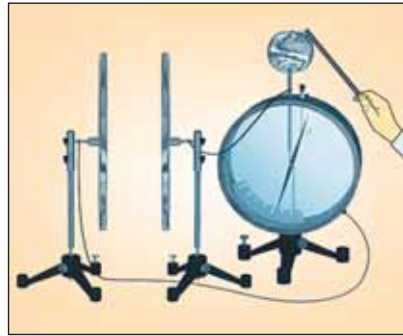


Рис. 71

Для накопления зарядов, энергии электрического поля созданы специальные приборы – конденсаторы. Простейший конденсатор представляет собой две плоские металлические пластины, разделённые слоем изолятора (рис. 71). При зарядке конденсатора одной из его пластин сообщают положительный заряд, а другой – отрицательный. Конденсаторы являются неотъемлемыми элементами практически всех радиотехнических устройств.

Способность конденсатора накапливать заряд (его электрическая ёмкость) зависит от размеров пластин и свойств диэлектрика, находящегося между пластинами конденсатора. Перемещая пластины конденсатора относительно друг друга, получают конденсатор переменной ёмкости (рис. 72). Конденсаторы можно соединять в батареи (рис. 73).

Если сообщить батарее конденсаторов электрический заряд, а затем замкнуть контакты (клеммы) батареи, то произойдёт электрический разряд. При этом наблюдается переход энергии электрического поля в световую и тепловую энергию. Опыт показывает, что чем больше заряд, накопленный конденсатором, тем больше энергия электрического поля.



Рис. 72

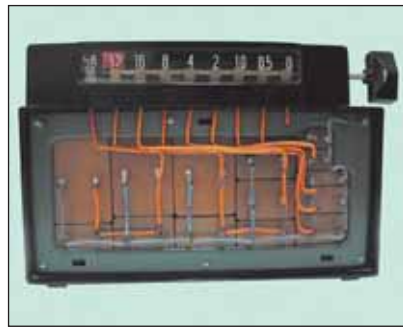


Рис. 73



16.1. Правила безопасности труда запрещают прикасаться к зажимам конденсатора даже после отключения установки от электрической сети. Почему? К каким последствиям может привести нарушение этого правила?

Электрическое поле, М. Фарадей, Дж.К. Максвелл, электромагнитное поле, электромагнитные волны, Г. Герц, А.С. Попов, конденсатор.

- 16.1** Укажите главные отличительные свойства электрического поля.
- 16.2** Как можно обнаружить электрическое поле?
- 16.3** Заряженная частица под действием электрического поля перемещается на расстояние 40 см по направлению силы, действующей на частицу со стороны электрического поля. С какой силой электрическое поле действовало на заряженную частицу, если полем совершена работа 0,008 мДж?
- 16.4** Почему при включении электроприборов или сотового телефона на экране телевизора или мониторе компьютера зачастую возникают помехи?
- 16.5** Лампа фотовспышки питается от конденсатора. Средняя мощность фотовспышки 15 кВт, продолжительность разрядки конденсатора 2,4 мс. Определите энергию электрического поля конденсатора.

§ 17. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ТОК



Дрейф – движение чего-нибудь (корабля, льдов), несомого течением.

«Словарь русского языка» С.И. Ожегова

Вам уже известно, что электрические заряды могут перемещаться в проводниках.

Физическое явление электрический ток.

Сообщим шару электрометра некоторый, например, отрицательный электрический заряд (рис. 74, а). Вокруг заряженных частиц, как вы знаете, существует электрическое поле. Поле будет действовать на заряженные частицы (электроны). Частицы с шара сместятся на стержень и стрелку прибора. Чем больше заряженных частиц переместится, тем на больший угол отклонится стрелка электрометра. Дальнейшее движение зарядов прекратится, так как вокруг электрометра сухой воздух (изолятор).

Металлическим стержнем на изолирующей ручке соединим заряженный электрометр 1 с незаряженным электрометром 2. Что произойдёт при этом? Металл – проводник, в нём имеются свободные электроны.

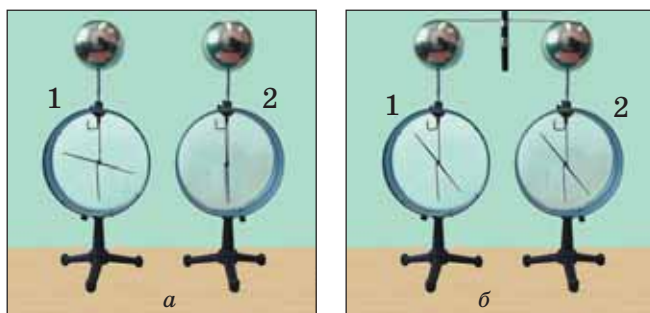


Рис. 74

Под действием электрического поля электроны с электрометра 1 переместятся на незаряженный электрометр 2 (рис. 74, б). Когда электроны в проводнике прекратят движение? После того как электрометр 2 приобретёт электрический заряд и электрические поля электрометров компенсируют друг друга.

В этом опыте мы наблюдали новое физическое явление – электрический ток.

Электрический ток – направленное (упорядоченное) движение заряженных частиц.

За направление электрического тока было принято направление, в котором под действием электрического поля движутся положительно заряженные частицы. Такой выбор направления тока не является удачным, так как часто электрический ток создаётся движением электронов – отрицательно заряженных частиц. И в таких случаях получается, что условное направление тока и направление реального движения электронов противоположны.

При каких условиях существует электрический ток? Во-первых, необходимо наличие свободных заряженных частиц. В нашем опыте такими заряженными частицами являются свободные электроны металлического проводника. Во-вторых, необходимо электрическое поле, которое действовало бы с некоторой силой на заряженные частицы, приводя их в направленное движение. В нашем опыте электрическое поле в проводнике создавалось избыточными заряженными частицами электрометра 1. В отсутствие электрического поля заряженные частицы, например свободные электроны в металле, тоже движутся. Они участвуют в тепловом движении. Но тепловое движение – это движение беспорядочное (хаотическое). И только при наличии электрического поля заряженные частицы начинают помимо хаотического движения смещаться упорядоченно, направленно двигаться – дрейфовать вдоль поля.



Рис. 75

Возьмём конденсатор и зарядим его. Замкнём пластины конденсатора проводником с неоновой лампочкой¹ – лампочка ярко вспыхнет (рис. 75). Пока конденсатор не разрядился, пока заряды на пластинах конденсатора создавали в проводнике электрическое поле – ток шёл, существовало направленное (упорядоченное) движение заряженных частиц.

Для того чтобы электрический ток существовал длительное время, необходимо специальное устройство для поддержания в проводнике электрического поля. Такое устройство называют источником тока (более точно его следовало бы назвать источником электрического поля).

Признаки явления. Подключим к источнику тока нихромовый или константановый проводник² (рис. 76). При прохождении тока проводник порой нагревается так сильно, что раскаляется докрасна.

Электрический ток производит тепловое действие. Тепловое действие широко используется на практике. Именно тепловое действие тока лежит в основе работы электрических ламп накаливания, различных электронагревательных приборов – электрических плит, утюгов, чайников и так далее (рис. 77).

Электрический ток производит химическое действие. Подключим к источнику тока угольные стержни и опустим их в водный раствор медного купороса (рис. 78). При прохождении тока через раствор купороса на одном из угольных стержней осаждается слой меди (медный купорос – кристаллическое вещество $\text{Cu SO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$). Благодаря

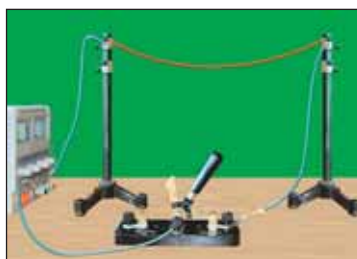


Рис. 76



Рис. 77

¹ Такие лампы наполнены газом – неоном, который светится при прохождении тока.

² Нихром – сплав никеля и хрома, константан – сплав меди и никеля с добавлением марганца.

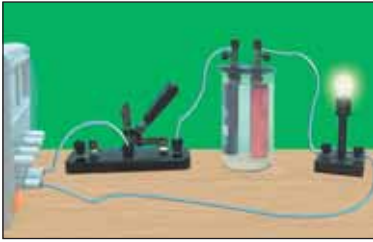


Рис. 78



Рис. 79

химическому действию тока был установлен состав воды – при пропускании тока через воду она разлагается на водород и кислород (жидкость разлагается на два газа!).

Электрический ток производит магнитное действие. Про-наблюдаем это действие. Расположим рядом с проводником магнитную стрелку (рис. 79). При прохождении электрического тока по проводнику магнитная стрелка поворачивается.

Магнитное действие тока лежит в основе работы многих измерительных электрических приборов. Один из таких приборов – **амперметр** (рис. 80). Схематически устройство амперметра показано на рисунке 81. Прибор содержит рамку 1, по которой может проходить ток. Вблизи рамки расположен магнит 2. Когда по рамке идёт ток, то благодаря магнитному действию тока рамка поворачивается вокруг оси на некоторый угол. Поворот рамки 1 легко заметить по повороту стрелки 3, прикреплённой к этой рамке. Дальнейшему повороту рамки препятствуют пружины 4. Чем больше заряженных частиц ежесекундно проходит через прибор, чем больше ток – тем больше угол поворота стрелки.



Рис. 80

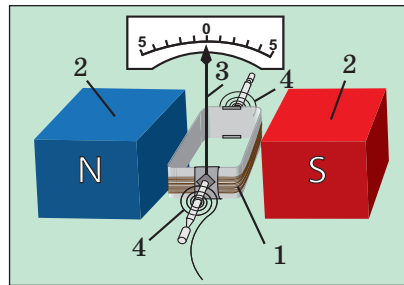


Рис. 81

Итак, электрический ток производит тепловое, химическое и магнитное действие. Но можно ли из них выделить одно, наиболее характерное?

При очень низких температурах обнаружено явление, о котором вы, наверное, слышали – сверхпроводимость. При сверхпроводимости электрический ток не производит теплового действия – электрический ток проходит по проводнику, но никакое количество теплоты в проводнике не выделяется. Химическое действие также наблюдается не всегда – десятки лет электрический ток может проходить по металлическим проводникам и в них не происходит никаких химических изменений. В отличие от теплового и химического действий, магнитное действие электрического тока наблюдается всегда, во всех случаях, при любых условиях. Образно говоря, именно магнитное действие – «визитная карточка» электрического тока.

Электрический ток; признаки явления: тепловое действие, химическое действие, магнитное действие; амперметр.



Рис. 82

17.1 ● Подготовьте ответ об электрическом токе по плану ответа о физическом явлении.

17.2 ● Будет ли наблюдаться электрический ток, если шары электрометров (рис. 74) соединить пластмассовой линейкой? Ответ обосновать.

17.3 ● Почему при подключении лампочки к заряженному конденсатору ток через лампочку существует лишь краткий момент времени?

17.4 ● Является ли электрическим током молния, возникающая между Землёй и грозовым облаком (рис. 82)? Грозное облако заряжено отрицательно.

17.5 ● Каков принцип действия амперметра (рис. 80)?

§ 18. ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ ЦЕПЬ



Возьмёмся за руки, друзья,
чтоб не пропасть поодиночке.

*Строчки из песни «Союз друзей»
российского поэта В.Ш. Окуджавы*

Вам уже известно, что такое электрический ток.

Элементы электрической цепи. Источники тока, потребители, измерительные приборы, выключатели, соединённые между собой проводниками, образуют *электрическую цепь*.

Источники тока имеют самую разную конструкцию, в них происходит преобразование различных видов энергии в энергию электрическую. Например, в *гальванических*¹ элементах происходит превращение химической энергии в электрическую энергию. Простейший такой элемент состоит из цинковой и медной пластин, помещённых в раствор серной кислоты (рис. 83). Сами пластинки называют *электродами*. При химической реакции с кислотой электроды приобретают избыточный заряд. Так, цинк растворяется, положительные ионы «уходят» в раствор, а сама цинковая пластина приобретает отрицательный заряд (отрицательный электрод гальванического элемента). Пластинка меди приобретает положительный заряд (положительный электрод элемента). Положительный электрод источника – **анод**. Отрицательный электрод – **катод**. Между заряженными электродами существует электрическое поле, и если электроды элемента (цинковую и медную пластины) замкнуть металлическим проводником, то и в проводнике возникнет электрическое поле. Под действием электрического поля источника свободные электроны в металле начнут двигаться упорядоченно, возникнет электрический ток.

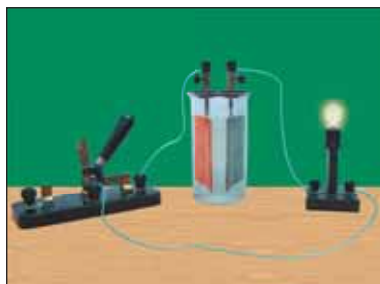


Рис. 83

Очень часто применяются сухие гальванические элементы («батарейки»). В таких элементах пространство между положительным и отрицательным электродами заполнено химически активным веществом, которое находится не в жидком, а в пастообразном состоянии. Протекающие в таком элементе химические реакции приводят к перераспределению электрических зарядов и возникновению электрического поля на электродах элемента.

Помимо одноразовых химических источников тока существуют и *аккумуляторы*². Химические реакции, протекающие в аккумуляторах, обратимы, поэтому аккумуляторы можно повторно заряжать. Так, например, широко распространены свинцовые (кислотные) аккумуляторы, используемые в автомобилях. Положительным электродом в нём является свинец, отрицательным – диоксид свинца. Оба электрода погружены в раствор серной кислоты.

¹ Гальваническими элементы названы в честь Л. Гальвани (1737–1798), итальянского учёного, одного из основателей учения об электричестве.

² Аккумулятор – устройство для накопления энергии с целью её последующего использования.

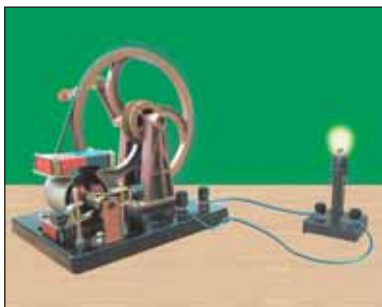


Рис. 84



Рис. 85



Рис. 86

При работе такого аккумулятора протекают химические реакции, и плотность раствора уменьшается с $1,30 \text{ г/см}^3$ до $1,20 \text{ г/см}^3$. Для перезарядки аккумулятор соединяют с другим источником тока. За счёт энергии электрического поля этого источника электроны переходят в аккумуляторе с одного электрода на другой; химические реакции в аккумуляторе идут в обратном порядке, плотность раствора вновь становится равной $1,30 \text{ г/см}^3$.

В *электрических генераторах*¹, установленных на электростанциях, разделение зарядов происходит за счёт магнитного действия. В таких источниках тока происходит преобразование механической энергии в электрическую энергию. (Модель подобного генератора изображена на рисунке 84.)

В *термоэлементах* осуществляется преобразование тепловой энергии (рис. 85). В простейшем случае термоэлемент изготавливают из двух проволок из различных металлов. При нагревании места спая металлов происходит превращение их внутренней энергии в электрическую энергию.

На основе некоторых веществ могут быть изготовлены *фотоэлементы*. При освещении фотоэлемента происходит превращение световой энергии (рис. 86). Солнечные батареи, состоящие из фотоэлементов, – основной источник энергии для космических станций и спутников.

Возможны и другие конструкции источников тока. Но, как бы ни были устроены источники тока, их роль всегда одна и та же – создание и поддержание электрического поля в цепи. Без этого, как вы знаете, невозможно направленное движение заряженных частиц по электрической цепи – электрический ток.




¹ Генератор – устройство (аппарат, машина), производящее что-либо.

К потребителям, включённым в цепь, относятся электрические лампы, нагревательные приборы, двигатели и другие устройства, в которых происходит превращение энергии электрического поля (энергии электрического тока) в другие формы энергии – световую, тепловую, механическую.

Электроизмерительные приборы позволяют контролировать ток в электрической цепи, а выключатели – замыкать или размыкать электрическую цепь или её отдельные элементы.

Схема электрической цепи. Чертёж электрической цепи, выполненный с использованием условных обозначений отдельных элементов цепи, называют схемой электрической цепи. Условные обозначения отдельных элементов указаны в таблице 10.

Таблица 10. Условные обозначения, применяемые на схемах

Гальванический элемент или аккумулятор		Ключ, выключатель	
Батарея элементов и аккумуляторов		Электрическая лампа	
Соединение проводников		Электрический звонок	
Пересечение проводов (без электрического соединения)		Проводник с постоянным сопротивлением (резистор)	
Зажимы для подключения какого-нибудь прибора		Плавкий предохранитель	

Практическая работа «Сборка электрических цепей».

Оборудование: источник тока, низковольтные лампы на подставках, резисторы, ключ, соединительные провода.

Указания к работе

Задание 1. Ознакомьтесь с инструкцией по правилам безопасности труда для учащихся.

Задание 2. Соберите электрическую цепь, схема которой изображена на рисунке 87. При сборке электрической цепи нужно придерживаться следующих правил:

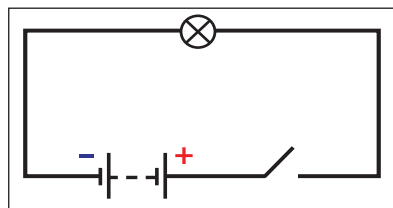


Рис. 87

1. Проверьте, что источник тока выключен.
2. Сборку электрической цепи начинайте от положительной клеммы источника тока. Соединяйте с помощью проводников отдельные элементы электрической цепи в полном соответствии со схемой. При соблюдении этого правила вы смещаетесь по цепи от «+» к «-», то есть в направлении, принятом за направление тока.
3. После завершения сборки электрической цепи ещё раз сравните её со схемой.
4. Продемонстрируйте собранную цепь учителю и, получив разрешение, включите источник тока, убедитесь в работоспособности цепи.

Задание 3. Соберите электрические цепи, схемы которых изображены на рисунке 88, а, б. Сделайте вывод, одинаковое ли тепловое действие производит ток, проходя по спирали лампы Л1 в этих цепях. Как это может быть объяснено?

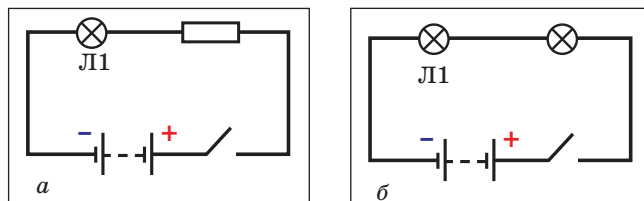


Рис. 88

Электрическая цепь – источник тока, потребитель, электроизмерительный прибор, выключатель, анод, катод, гальванический элемент, аккумулятор, электрический генератор, термоэлемент, фотоэлемент, схема электрической цепи, условные обозначения, применяемые на схемах.

- 18.1 Сравните гальванический элемент и аккумулятор, термоэлемент и фотоэлемент.
- 18.2 Начертите схему электрической цепи, изображённой на рисунке 89.
- 18.3 На рисунке 90 изображена схема электрической цепи, состоящей из источника тока, электрической лампы и двух выключателей. Где можно практически применить такую цепь? (Подсказка. Такая цепь позволит экономить электроэнергию.)

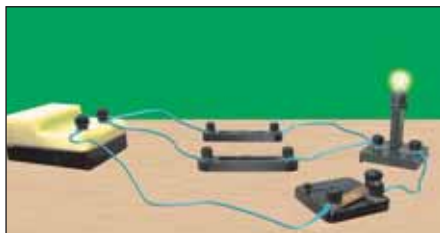


Рис. 89

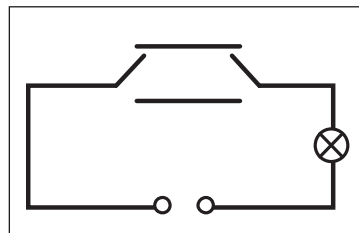


Рис. 90

18.4 ● В одной из книг упоминается следующий факт: М. Фарадей приходил на лекции в фетровой шляпе, доставал из кармана горсть медных и цинковых монет, флакон с раствором кислоты и ножницы. Как вы думаете, для чего Фарадею был нужен такой странный комплект предметов? (Фетр (от французского **feutre** – войлок) – материал, полученный валянием пуха кролика, зайца, а также овечьей шерсти.)

18.5 ● Начертите схему электрической цепи, которая содержала бы один аккумулятор, два выключателя, одну лампу и один электрический звонок. Цепь должна работать так, чтобы лампу и звонок можно было бы включать отдельно.

§ 19. СИЛА ТОКА



Пора и нам переходить к «степени и мере» в электрических явлениях, или мы не физики.

Из книги «О природе» М.М. Балашова, известного учителя физики, г. Москва

Вы уже знаете, что электрический ток производит тепловое, химическое и магнитное действия.

Ток – явление, сила тока – величина. Если ключ в цепи, изображённой на рисунке 91, замкнут, то электрическая лампочка светится, а магнитная стрелка повернута от своего первоначального положения на некоторый угол. Результаты опыта нам ясны. Электрическое поле, создаваемое источником тока (аккумулятором), действует на свободные электроны, и в цепи возникает их направленное, упорядоченное движение – электрический ток. А электрический ток как раз и производит тепловое и магнитное действия. Включим в электрическую цепь ещё один источник тока (рис. 92).



Рис. 91



Рис. 92

Изменилось ли действие тока? Да. Лампа светит ярче – тепловое действие тока увеличилось. Магнитная стрелка повернута на больший угол – магнитное действие тока увеличилось.



19.1 Почему же ток производит большее действие?

Два источника тока создают в проводнике более сильное электрическое поле, которое действует на заряженные частицы (свободные электроны) с большей силой. По этой причине заряженные частицы движутся по цепи с большей скоростью, каждую секунду проходит больший заряд через спираль лампы, через поперечное сечение проводника.

Физическая величина, характеризующая электрический ток, получила название **сила тока**. Сила тока определяется величиной заряда, проходящего по проводнику в единицу времени.

Чем больший заряд каждую секунду проходит по проводнику, тем больше сила тока в проводнике.

Значит, тем сильнее нагревается проводник, тем больше выделяется вещества при электрохимических реакциях, тем сильнее магнитное действие тока.

Силу тока обозначают буквой I (читается: и). **Единица силы тока – ампер** (сокращённо обозначается А). Так единица силы тока названа в честь А.М. Ампера, французского учёного, выполнившего важные исследования в области электричества и магнетизма.

Можно подсчитать, что при силе тока в 1 А за 1 с через поперечное сечение проводника проходит столько электронов, что их число в миллиард раз превышает количество всех жителей на Земле.

На практике применяют также кратные и дольные единицы ампера:

$$1 \text{ кА} = 1000 \text{ А},$$

$$1 \text{ мА} = 0,001 \text{ А},$$

$$1 \text{ мкА} = 0,000001 \text{ А}.$$



Андре Мари Ампер (1775–1836). Великий французский физик и математик. Один из основоположников электромагнетизма, ввёл в физику понятие «электрический ток».

Обнаружил взаимодействие проводников с током, разработал теорию магнетизма.

Так, например, лампа карманного фонарика рассчитана на силу тока 0,28 А. При нагревании утюга и работе электрического чайника сила тока в цепи 4–7 А. Сила тока молнии достигает 100 000 А (100 кА).

В основу определения силы тока – ампера – учёными было положено магнитное действие тока. Причём единица силы тока – ампер – является основной единицей измерения Международной системы единиц (СИ). Единицы измерения других электрических величин являются вспомогательными и определяются через основные единицы измерения¹.



Формула, определяющая силу тока. Сила тока, как уже говорилось, определяется величиной заряда, проходящего через поперечное сечение проводника в единицу времени. Заряд принято обозначать буквой q (читается: ку). Пусть за время t через поперечное сечение проводника переносится заряд q . Тогда сила тока I может быть рассчитана по формуле

$$I = \frac{q}{t}. \quad (19.1)$$

Эта формула, определяющая силу тока, позволяет установить связь между единицей заряда кулон и единицей силы тока ампер. Из соотношения (19.1) легко выразить заряд:

$$q = It.$$

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

Вы знаете, что заряд в 1 Кл очень велик. Но в проводнике, который в целом электрически нейтрален, при прохождении тока переносится значительный заряд. Так, например, если вы включите настольную лампу, то за одну минуту по проводам пройдёт заряд 10–20 Кл.

Пример решения задачи.

Электрический ток при силе тока 1 мА безопасен для человека. Какой заряд проходит за 1 с при таком токе? Сколько электронов должно проходить через поперечное сечение проводника каждую секунду, чтобы создавать такую силу тока?

<p><i>Дано:</i> Безопасный ток $I = 1 \text{ мА}$ $t = 1 \text{ с}$ $q_e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$ <hr/> q – ? N – ?</p>	<p><i>СИ:</i> 0,001 А</p>	<p><i>Решение:</i> Заряд q определим, используя соотношение (19.1). Зная заряд q, проходящий каждую секунду через поперечное сечение проводника, и заряд электрона, легко определить и число электронов N.</p>
--	--------------------------------	--

¹ Международная система единиц содержит семь основных единиц. Среди них уже известные вам единицы: метр, килограмм, секунда и ампер.

Итак,

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

Отсюда

$$q = It.$$

Ясно, что

$$N = \frac{q}{|q_e|}.$$

$$q = 0,001 \text{ А} \cdot 1 \text{ с}, q = 0,001 \text{ Кл.}$$

$$N = \frac{10^{-3} \text{ Кл}}{1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}} = 0,6 \cdot 10^{16}, N = 6 \cdot 10^{15} \text{ (огромное число!).}$$

Ответ: $q = 0,001 \text{ Кл}, N = 6 \cdot 10^{15}$.

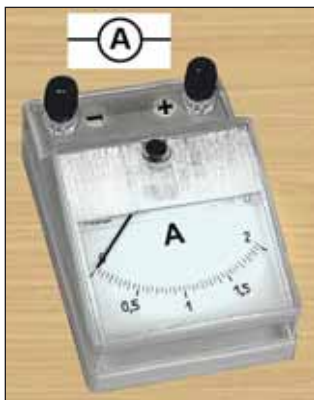


Рис. 93

Как измеряют силу тока. Силу тока в электрических цепях измеряют прибором – амперметром (рис. 80). В приборе, как вы знаете, использовано магнитное действие тока. Внешний вид школьного лабораторного амперметра и условное обозначение прибора показаны на рисунке 93.



19.2. Определите цену деления и пределы измерения лабораторного амперметра (рис. 93). Что произойдёт с прибором, если сила тока в цепи будет больше предела измерения прибора?

Если необходимо измерить силу тока, например в электрической лампе (рис. 94, а), то цепь разрывают и перед лампой (рис. 94, б) или после лампы (рис. 94, в) включают в цепь амперметр. Такое соединение называют *последовательным*.



Рис. 94

Амперметр включают в цепь последовательно с тем потребителем, силу тока в котором необходимо измерить. Включают амперметр в цепь обязательно с соблюдением полярности. Вблизи клемм прибора на его корпусе имеются знаки «+» и «-». К клемме амперметра, у которой стоит знак «+», должен быть подключён провод, идущий от положительного электрода источника тока. К клемме амперметра, у которой стоит знак «-», подсоединяют провод, идущий от отрицательного электрода источника тока.

Лабораторная работа «Измерение силы тока».

Оборудование: источник тока, амперметр лабораторный, лампочка на подставке, резисторы, ключ, соединительные провода.

Указания к работе



Задание 1. Соберите, используя лабораторное оборудование, электрические цепи по рисунку 94, б, в. Начертите схемы собранных электрических цепей. Измерьте силу тока. Сделайте вывод, одинакова ли сила тока в цепи до лампы и после лампы. Обоснуйте вывод.



Задание 2. Соберите цепь по схеме, изображённой на рисунке 95. Измерьте силу тока в точках 1, 2, 3.



19.3. Как соединены резисторы R_1 и R_2 в цепи, схема которой изображена на рисунке 95?

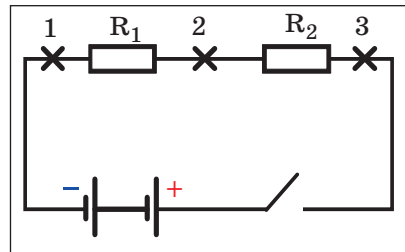


Рис. 95

Сделайте вывод – одинакова ли сила тока, проходящего через резисторы R_1 и R_2 . Обоснуйте вывод.

Сила тока, А.М. Ампер, ампер, $I = \frac{q}{t}$, амперметр, правила включения амперметра в электрическую цепь.

19.1 ● Допущены ли ошибки при сборке электрических цепей, изображённых на рисунке 96, а, б? Если да, то какие?

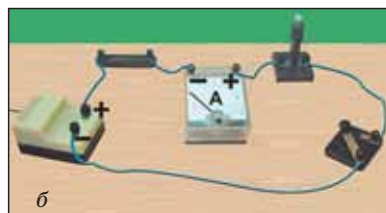
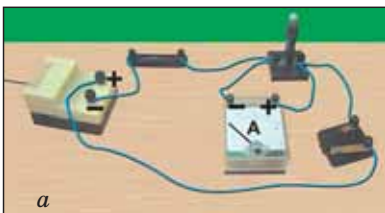


Рис. 96

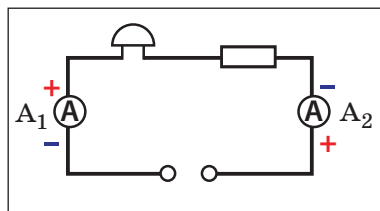


Рис. 97

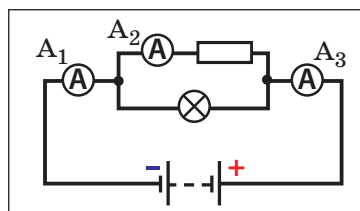


Рис. 98

19.2 В электрической цепи, схема которой изображена на рисунке 97, амперметр A_1 показывает значение силы тока $0,45$ А. Верно ли в цепь включён амперметр A_2 ? Если верно, то каково показание амперметра A_2 ? Укажите направление тока в данной цепи.

19.3 В различных электрических цепях сила тока равна $I_1 = 0,35$ кА, $I_2 = 280$ мА, $I_3 = 800$ мкА. Выразите силу тока в амперах.

Электрический ток, в случае его прохождения через организм человека, опасен для жизни при силе тока $0,05$ А. Выразите это значение силы тока в миллиамперах.

19.4 Одинаковы ли показания амперметров A_1 , A_2 , A_3 , включённых в цепь, схема которой изображена на рисунке 98? Ответ обосновать.

19.5 Расчёты, проведённые учёными-физиками, показывают, что скорость направленного движения электронов в металлическом проводнике меньше 1 мм/с. Почему же тогда при замыкании ключа ток возникает во всей цепи практически мгновенно?

§ 20. ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ НАПРЯЖЕНИЕ



Безопасное электрическое напряжение (сухое помещение) – 36 вольт.

*Справочник по физике и технике,
автор А.С. Енохович*

Вы уже знаете, что электрическим полем совершается работа по перемещению заряженных частиц.

Напряжение. Как вам известно, физическое явление электрический ток характеризуется величиной силой тока. Чем больше сила тока в цепи, тем больше действие, производимое током, например нагревание проводника (рис. 99). В продолжение опыта соберём электрическую цепь, в которую включим последовательно несколько потребителей – электрических ламп L_1 , L_2 (рис. 100).

Несмотря на одинаковую силу тока, тепловое действие тока в лампе L_1 и лампе L_2 различно!

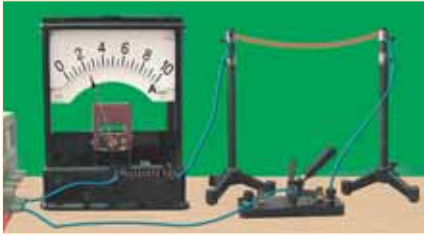


Рис. 99

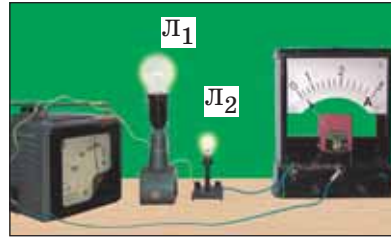


Рис. 100



20.1. Почему действие тока неодинаково на различных участках электрической цепи?

Выделение тепловой энергии происходит в электрической цепи благодаря тому, что электрическое поле совершает работу. Следовательно, *на разных участках цепи электрическое поле совершает (даже при одинаковой силе тока) различную работу.*

Физическая величина, характеризующая работу электрического поля на участке цепи, получила название *электрическое напряжение* (или просто напряжение). *Напряжение на участке электрической цепи равно работе электрического поля по перемещению единичного электрического заряда на данном участке цепи.*

Чем большая работа совершается электрическим полем на данном участке цепи, тем больше напряжение.

Напряжение обозначается буквой U (читается: у). Единица измерения напряжения – вольт (сокращённо обозначается В). Так единица напряжения названа в честь А. Вольта, итальянского учёного, сконструировавшего первый химический источник тока – гальванический элемент. Если напряжение на участке цепи равно 1 В, то электрическое поле за 1 с при силе тока 1 А совершает на этом участке цепи работу в 1 Дж. (Такой работы было бы достаточно для подъёма стограммового груза на 1 метр.)

Алессандро Вольта (1745–1827). Известный итальянский физик, один из основателей учения об электричестве. Изобрёл ряд электрических приборов (электрометр, электроскоп, конденсатор). Создал первый химический элемент тока (1800 г., вольтов столб), поместив пластины из меди и цинка в кислоту и тем самым получив непрерывный электрический ток.



На практике применяют также кратные и дольные единицы напряжения:

$$1 \text{ МВ} = 1\,000\,000 \text{ В},$$

$$1 \text{ кВ} = 1000 \text{ В},$$

$$1 \text{ мВ} = 0,001 \text{ В}.$$

Так, к примеру, напряжение на лампе карманного фонарика 4,5 В, напряжение питания бытовой электроаппаратуры 220 В (это уже значительная величина напряжения, представляет опасность для жизни человека). Напряжение в линиях электропередачи – до 1 МВ, а напряжение между облаками и землёй при образовании молнии достигает миллиарда вольт.



Формула, определяющая напряжение. Напряжение, как уже говорилось, определяется работой, совершённой электрическим полем при перемещении единичного заряда. Пусть при перемещении заряда q по участку цепи электрическим полем совершена работа A . Тогда напряжение U на концах данного участка электрической цепи может быть рассчитано по формуле

$$U = \frac{A}{q}. \quad (20.1)$$

Эта формула, определяющая электрическое напряжение, позволяет установить связь единицы напряжения вольт с другими единицами международной системы (СИ).

Из соотношения (20.1) следует, что

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

Пример решения задачи.

Напряжение на участке цепи равно 20 В. Какая работа совершается электрическим полем по перемещению зарядов на этом участке за 1 мин., если сила тока в участке цепи 2 А?

Дано:

Участок цепи

$$U = 20 \text{ В}$$

$$t = 1 \text{ мин}$$

$$I = 2 \text{ А}$$

$$A = ?$$

СИ:

$$60 \text{ с}$$

Решение:

Для вычисления работы A , совершённой электрическим полем на участке цепи, необходимо знать напряжение U на этом участке и заряд, прошедший по цепи. Заряд можно определить, если воспользоваться формулой, определяющей силу тока.

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

$$A = Uq. \quad (20.2)$$

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

Итак,

отсюда

Тогда

$$q = It . \quad (20.3)$$

Из соотношений (20.2) и (20.3) определим работу A электрического поля:

$$A = UIt.$$

$$A = 20 \text{ В} \cdot 2 \text{ А} \cdot 60 \text{ с}.$$

$$A = 2400 \text{ В} \cdot \text{А} \cdot \text{с}.$$

$$A = 2400 \text{ В} \cdot \text{Кл}.$$

$$A = 2400 \text{ Дж}.$$

$$A = 2,4 \text{ кДж}.$$

Ответ: 2,4 кДж.

Как измеряют напряжение. Напряжение на участке цепи измеряют прибором – *вольтметром*. В вольтметре, как и в амперметре, использовано магнитное действие тока. Внешний вид школьного лабораторного вольтметра и условное обозначение прибора показаны на рисунке 101.

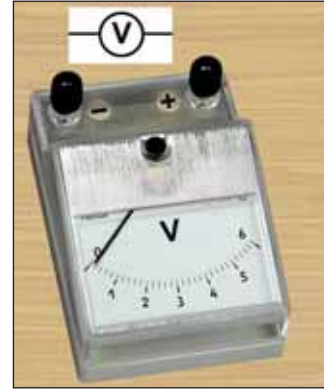


Рис. 101



20.2. Определите цену деления и пределы измерения лабораторного вольтметра (рис. 101). Что произойдёт с прибором, если напряжение на участке цепи будет больше предела измерения вольтметра?

Если необходимо измерить, например, напряжение на электрической лампе, то цепь не разрывают, как это делают при включении амперметра. Одну клемму вольтметра подключают к началу участка цепи, содержащего лампу, а вторую клемму – к концу участка цепи (рис. 102). Такое соединение называют *параллельным*.

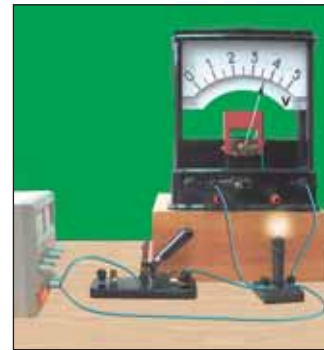


Рис. 102

Вольтметр подключается параллельно тому участку цепи, на котором необходимо измерить напряжение. Подключают вольтметр к участку цепи обязательно с **соблюдением полярности**. Вблизи клемм прибора на его корпусе имеются знаки «+» и «-». К клемме вольтметра, у которой стоит знак «+», должен быть подключён провод, идущий от положительного электрода источника тока. К клемме вольтметра, у которой стоит знак «-», подсоединяют провод, идущий от отрицательного источника тока.

Лабораторная работа «Измерение напряжения».

Оборудование: источник тока, вольтметр лабораторный, низковольтная лампа на подставке, резисторы, ключ, соединительные провода.

Указания к работе



Задание 1. Соберите, используя лабораторное оборудование, электрическую цепь по рисунку 94, а. Измерьте напряжение на лампе.



Задание 2. Соберите электрическую цепь по схеме, изображённой на рисунке 95. Измерьте напряжение на источнике тока при разомкнутом ключе. Замкните ключ, вновь измерьте напряжение на источнике тока; сравните результаты.



Задание 3. Используя предыдущую электрическую цепь, измерьте напряжение U_1 на резисторе R_1 , измерьте напряжение U_2 на резисторе R_2 . Измерьте напряжение U на обоих резисторах. Сделайте вывод, выполняется ли соотношение $U = U_1 + U_2$. Обоснуйте вывод.

Напряжение, А. Вольт, вольт, $U = \frac{A}{q}$, вольтметр, правила включения вольтметра в электрическую цепь.

20.1 ● Допущены ли ошибки при сборке электрических цепей, изображённых на рисунке 103, а, б? Если да, то какие?

20.2 ● В электрической цепи, схема которой изображена на рисунке 104, вольтметр V_1 показывает некоторое отличное от нуля значение напряжения. Верно ли включён в цепь вольтметр V_2 ? Укажите направление тока в цепи.

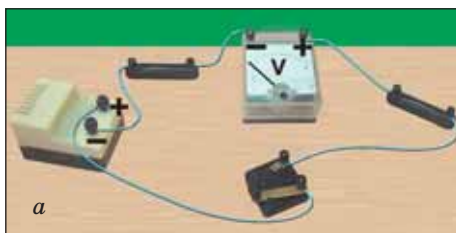


Рис. 103

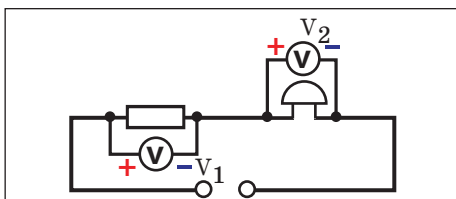
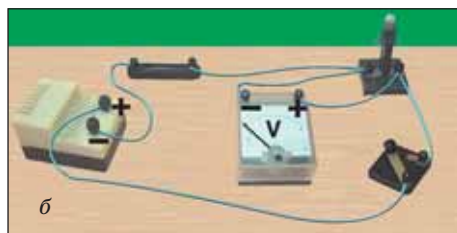


Рис. 104

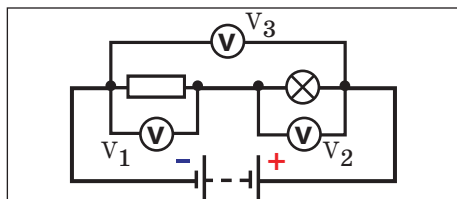


Рис. 105

20.3 ● Напряжения на различных участках электрической цепи равно: $U_1 = 0,02$ кВ, $U_2 = 630$ мВ, $U_3 = 400$ мкВ. Выразите напряжение в вольтах.

20.4 ● В электрической цепи, схема которой изображена на рисунке 105, вольтметр V_1 показывает напряжение 0,5 В, вольтметр V_2 – напряжение 3 В. Каково показание вольтметра V_3 ? Ответ обосновать.

20.5 ● На участке электрической цепи при напряжении 200 В электрическим полем за 1 мин. совершается работа 2,4 кДж. Какова мощность тока?

§ 21. ЗАКОН ОМА ДЛЯ УЧАСТКА ЦЕПИ. ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ



Требуются очень глубокие знания, чтобы заметить простейшие, но подлинные соотношения вещей между собой.

*Г.Х. Лихтенберг (1742–1799),
немецкий писатель, учёный*

Вам уже известно, что законами в физике называют важные зависимости между явлениями, величинами.

Закон Ома.



- 21.1. При каких условиях возникает электрический ток?
 21.2. Какова роль источника тока в электрической цепи?
 21.3. Какая физическая величина определяется зарядом, прошедшим по проводнику за единицу времени?
 21.4. Как тепловое, химическое, магнитное действия тока зависят от силы тока?
 21.5. Какое превращение энергии происходит, например, при тепловом действии тока?
 21.6. Совершается ли электрическим полем работа на участке электрической цепи при наличии в ней тока?
 21.7. Какая физическая величина характеризует работу электрического поля, совершаемую им на участке цепи?
 21.8. Влияет ли напряжение на участке цепи на величину силы тока на этом участке цепи?



При поисках ответа на последний вопрос нам необходимо выяснить, как зависит сила тока в проводнике от приложенного к нему напряжения. Проведём эксперимент. Соберём электрическую цепь (рис. 106, а). Измерим напряжение на исследуемом участке цепи и силу тока на этом участке. Соединим последовательно с данным проводником один, два, три и так далее проводника-резистора (рис. 106, б–г).

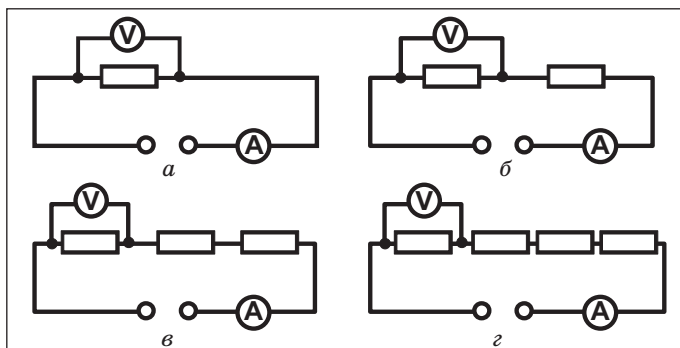


Рис. 106

Так как электрическое поле, создаваемое источником, будет совершать работу не в одном проводнике, а в нескольких, то, очевидно, напряжение на исследуемом участке цепи изменится. Данные, полученные в одном из таких опытов, приведены в таблице 11.

Таблица 11. Зависимость силы тока I в участке цепи от напряжения U на концах этого участка

$U, \text{В}$	4,0	2,7	2,0	1,6	1,3	0
$I, \text{А}$	2,0	1,3	1,0	0,8	0,6	0

По полученным в опыте данным построим график зависимости силы тока I от напряжения U (рис. 107)¹. График является прямой линией – графиком прямо пропорциональной зависимости.

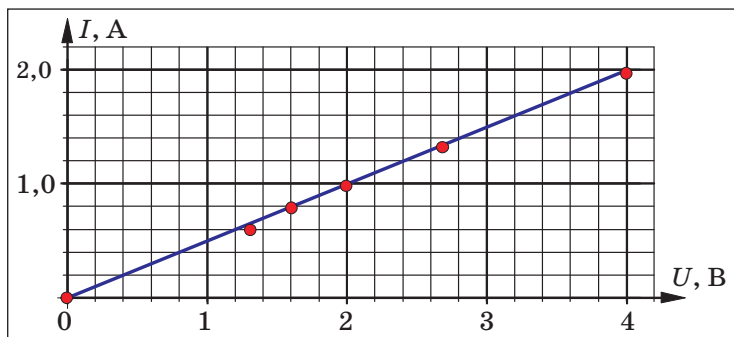


Рис. 107

¹ При самостоятельном проведении опыта вы, вероятнее всего, получите другие значения силы тока и напряжения. Это зависит от того, какой источник тока и какие проводники-резисторы будут использованы в опыте.

Георг Симон Ом (1787–1854). Известный немецкий физик. Открыл закон зависимости силы тока в проводнике от напряжения на концах проводника. Установил зависимость сопротивления проводника от его размеров и материала проводника. Труды по акустике (науке о звуках).



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

$$I \sim U.$$

(Знак \sim это знак прямо пропорциональной зависимости.)

Этот закон был экспериментально открыт немецким физиком Г. Омом и носит название **закон Ома для участка цепи**.

Для того чтобы записать математическое выражение закона Ома в виде равенства, необходимо ввести коэффициент пропорциональности между силой тока I и напряжением U . Обозначим коэффициент пропорциональности как $\frac{1}{R}$ и запишем:

$$I = \frac{1}{R}U,$$

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



21.9. Как изменится сила тока в участке цепи, если при неизменном напряжении величина R возрастёт в 2 раза? в 4 раза?

Сопротивление.

Прделаем опыт (рис. 108). На участке цепи между точками С и D будем включать различные проводники. Регулируя источник тока, каждый раз будем добиваться того, чтобы напряжение на участке CD было одним и тем же. Проведя опыт, мы обнаружим, что при разных проводниках сила тока в цепи различна.

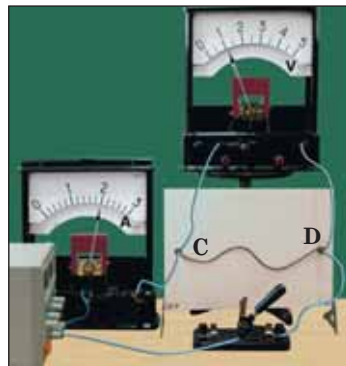


Рис. 108



21.10. Препятствует ли проводник прохождению тока в цепи? По каким признакам можно судить об этом?

Физическая величина, характеризующая способность проводника препятствовать прохождению тока, получила название *электрическое сопротивление* (или просто *сопротивление*). **Сопротивление – величина, характеризующая противодействие проводника электрическому току.** При одном и том же значении напряжения чем больше сопротивление проводника, тем меньше сила тока в проводнике.

Обратимся к математической записи закона Ома. Из неё следует, что чем больше величина R , тем меньше сила тока в участке цепи.

Таким образом, мы вправе считать величину R сопротивлением проводника.

Сила тока I в участке цепи численно равна отношению напряжения на концах этого участка U к его сопротивлению R .

$$I = \frac{U}{R}. \quad (21.1)$$

Единица сопротивления – ом (сокращённо обозначается Ом). Выразим сопротивление R из формулы закона Ома:

$$R = \frac{U}{I}. \quad (21.2)$$

Сопротивление проводника равно 1 Ом, если при напряжении на концах проводника 1 В сила тока в проводнике 1 А.

На практике применяются также кратные и дольные единицы сопротивления:

$$1 \text{ МОм} = 1\,000\,000 \text{ Ом},$$

$$1 \text{ кОм} = 1000 \text{ Ом},$$

$$1 \text{ мОм} = 0,001 \text{ Ом}.$$

Так, например, 100 м медной проволоки диаметром 1 мм имеют сопротивление 2 Ом. Спираль бытовой лампы накаливания (в рабочем состоянии) обладает сопротивлением 500 Ом. Сопротивление тела человека от конца одной руки до конца другой руки (при неповреждённой коже рук) около 15 кОм. В особо неблагоприятных условиях (влажные руки, повреждение кожного покрова) электрическое сопротивление человека может снизиться до 500 Ом.

Примеры решения задач.

Задача 1. Какое напряжение покажет вольтметр (рис. 109), если сопротивление проволочной спирали 6 Ом?

Дано:
Электрическая
цепь
 $R = 6 \text{ Ом}$

 $U - ?$

Решение:
Какие величины необходимо знать, чтобы рассчитать напряжение на участке цепи? Нужно знать сопротивление R участка и силу тока I в участке цепи. Силу тока определим по показанию амперметра: $I = 1,5 \text{ А}$.

По закону Ома для участка цепи

отсюда
$$I = \frac{U}{R},$$

$$U = IR.$$

$$U = 1,5 \text{ А} \cdot 6 \text{ Ом} = 9 \text{ В}.$$

Действия с единицами измерений:

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

Ответ: $U = 9 \text{ В}$.

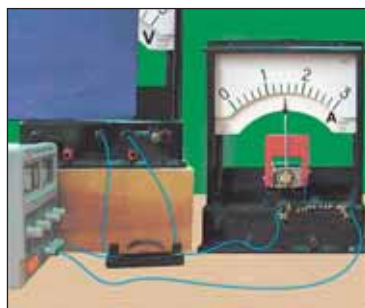


Рис. 109

Задача 2. По надписи на цоколе электрической лампы (0,28 А, 3,5 В) определите сопротивление лампы в рабочем режиме.

Дано:
Электрическая
лампа
 $I = 0,28 \text{ А}$
 $U = 3,5 \text{ В}$

 $R - ?$

Решение:
Для определения сопротивления лампы необходимо знать напряжение на лампе и силу тока в лампе. По закону Ома для участка цепи

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

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

Отсюда

(Дальнейшие действия по решению задачи выполните самостоятельно.)

Ответ: $R = 13 \text{ Ом}$.

Закон Ома для участка цепи, $I \sim U$; сопротивление, ом; $I = \frac{U}{R}$.

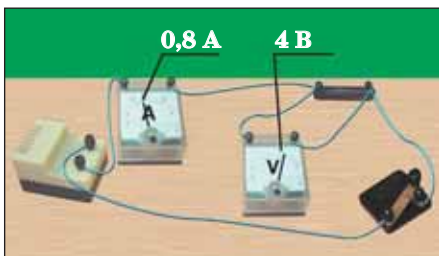


Рис. 110

- 21.3** ● Каково должно быть сопротивление спирали электроплитки в рабочем режиме, чтобы сила тока не превышала 8 А? Напряжение 220 В.
- 21.4** ● При замыкании ключа в цепи, изображённой на рисунке 110, амперметр показал значение силы тока 0,8 А, вольтметр – напряжение 4 В. Чему равно сопротивление резистора?
- 21.5** ● Начертите график зависимости силы тока от напряжения для проводника сопротивлением 20 Ом.

21.1 ● Чему равна сила тока в электрической лампе карманного фонаря, если сопротивление нити накаливания 17 Ом, а лампочка подключена к батарейке напряжением 2,5 В?

21.2 ● Какое напряжение будет опасно для человека в случае, если электрическое сопротивление его тела составит 1 кОм? (Подсказка. Значение силы тока, опасное для жизни человека, указано в задании 19.3.) Сравните вычисленное вами значение напряжения с тем, что указано в эпиграфе к § 20.

§ 22. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА «ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОПРОТИВЛЕНИЯ УЧАСТКА ЦЕПИ»



Недостаточно овладеть премудростью, нужно также уметь пользоваться ею.

*М.Т. Цицерон (106–43 до н.э.),
римский политический деятель,
оратор и писатель*

Вы уже знаете формулу закона Ома для участка цепи.

Лабораторная работа «Определение сопротивления участка цепи».

Оборудование: источник тока, амперметр, вольтметр, низковольтная лампа на подставке, резисторы, ключ, соединительные провода.

Указания к работе



Задание 1. Соберите электрическую цепь, схема которой изображена на рисунке 111. Измерьте силу тока в цепи. Измерьте напряжение на участке цепи, содержащем резистор R_1 . Рассчитайте сопротивление резистора R_1 . Измерьте напряжение на участке цепи, содержащем резистор R_2 . Рассчитайте сопротивление резистора R_2 .

Задание 2. Измените силу тока в цепи путём регулировки источника тока или включением в электрическую цепь (рис. 111) последовательно дополнительного резистора. Повторно определите сопротивление резисторов R_1 и R_2 . Сделайте вывод, изменилось ли сопротивление данных резисторов. Вывод обоснуйте.

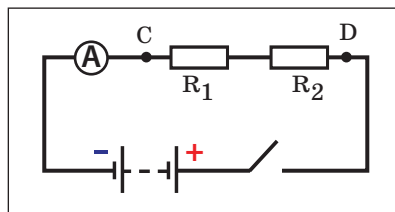


Рис. 111



Задание 3. Исследуйте¹, изменяется ли сопротивление спирали электрической лампы при изменении яркости её свечения.

22.1 ● Сопротивление вольтметра равно 12 кОм . Какова сила тока, протекающего через вольтметр, если он показывает напряжение 6 В ?

22.2 ● Рассчитайте, каково сопротивление катушки амперметра, у которого сила тока равна 30 А при напряжении на зажимах прибора $0,06 \text{ В}$.

22.3 ● В электрической цепи, схема которой изображена на рисунке 112, амперметр показывает силу тока $0,3 \text{ А}$. Каковы показания вольтметров V_1 и V_2 , если сопротивления резисторов R_1 и R_2 равны соответственно $0,4 \text{ кОм}$ и $0,3 \text{ кОм}$?

22.4 ● На графике (рис. 113) показаны зависимости силы тока от напряжения для двух резисторов. Сопротивление какого из резисторов больше и во сколько раз?

22.5 ● Согласно закону Ома для участка цепи сопротивление проводника может быть определено по формуле

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

где U – напряжение на проводнике, I – сила тока в проводнике. Можно ли на этом основании считать, что сопротивление данного проводника пропорционально напряжению на проводнике и обратно пропорционально силе тока в нём?

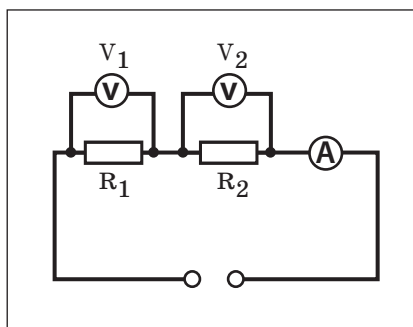


Рис. 112

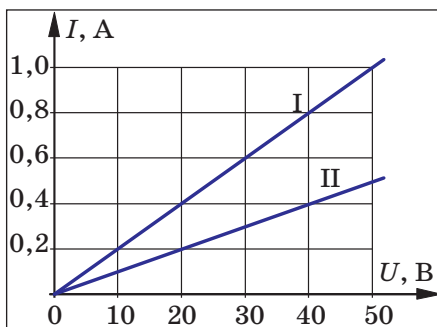
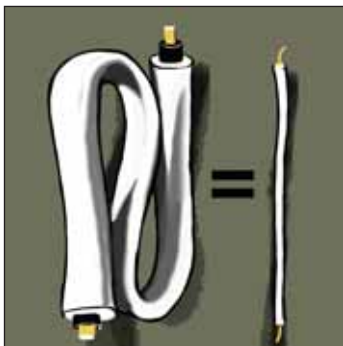


Рис. 113

¹ Исследовать – подвергнуть научному изучению.

§ 23. УДЕЛЬНОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ. РЕОСТАТЫ



Цилиндрические проводники из разных металлов и различного диаметра имеют одинаковую проводимость, если отношение их длин равно отношению площадей их сечений.

Г. Ом, немецкий физик

Вы уже знаете, что электрические свойства проводников характеризуются их сопротивлением.

Сопротивление проводника. Вообразим, что группе бегунов необходимо пересечь парк. Если бегунам предстоит бежать по узкой тропинке, то они с трудом «протиснутся», мешая друг другу. Большого труда бегунам будет стоить забег и в том случае, если дистанция длинная, если велика протяжённость парка. Какие ещё факторы повлияют на движение бегунов? Согласитесь, если парк ухожен, деревья аккуратно подстрижены, а на беговой дорожке нет ям и рытвин, то забег пройдёт легче. Но если на пути бегунов будут встречаться поваленные деревья, выросшие прямо на дорожке кустарники и бурьян, то забег потребует больших усилий.

Вернёмся к рассмотрению электрических явлений. Представьте, что электроны, «подталкиваемые» электрическим полем, совершают «забег» по проводнику.



23.1. От чего зависит противодействие проводника электрическому току (сопротивление проводника)?

Выскажем предположение.

Сопротивление проводника зависит от длины проводника, площади поперечного сечения и вещества, из которого изготовлен проводник.



Рис. 114

Проверим это предположение опытом (рис. 114). На вертикальной панели закреплены четыре проводника. Включим в электрическую цепь, содержащую источник тока и амперметр, первый – константановый – проводник. Заметим, какова сила тока в цепи. Затем вместо первого проводника включим второй проводник.

Он тоже константановый, но его длина в два раза меньше, чем у первого проводника. Мы обнаружим, что сила тока в цепи увеличилась в два раза.



23.2. Как зависит сила тока в участке цепи от сопротивления участка (при неизменном напряжении на концах участка)?

Если сила тока в цепи увеличилась в два раза, значит, сопротивление проводника уменьшилось в два раза. **Чем меньше длина проводника, тем меньше его сопротивление.**

Включим в электрическую цепь третий проводник. Этот проводник состоит не из одной, а из двух константановых проволок. Следовательно, у третьего проводника площадь поперечного сечения в два раза больше, чем у первого проводника. Сила тока в цепи вновь увеличивается в два раза в сравнении с силой тока в первом проводнике. Но по закону Ома сила тока возрастёт или при увеличении напряжения, или при уменьшении сопротивления участка цепи. Напряжение неизменно. Значит, при увеличении площади поперечного сечения проводника в два раза сопротивление проводника уменьшается в два раза. **Чем больше площадь поперечного сечения проводника, тем меньше его сопротивление.**

Прделаем заключительный опыт. Включим в цепь четвёртый проводник. Он имеет такую же длину и толщину, как и первый проводник, но изготовлен из железа. Измерив силу тока в этом проводнике, мы убедимся, что при одинаковой длине и толщине **проводники, изготовленные из разных веществ, имеют разное сопротивление.**

Итак, опыт подтвердил наше предположение о зависимости сопротивления проводника от его длины, толщины (площади поперечного сечения) и вещества, из которого изготовлен проводник.

Удельное сопротивление. Физическая величина, характеризующая электрические свойства вещества, из которого изготовлен проводник, получила название *удельное электрическое сопротивление* (или просто *удельное сопротивление*).

Удельное сопротивление – это величина, которая показывает, какое сопротивление имеет проводник длиной 1 м при площади его поперечного сечения 1 мм².

Если длина проводника измерена в метрах, а площадь поперечного сечения в мм², то единицей измерения удельного сопротивления будет $\frac{\text{Ом} \cdot \text{мм}^2}{\text{м}}$.

В таблице 12 приведены значения удельного сопротивления некоторых веществ.

Таблица 12. Удельное сопротивление некоторых веществ, $\frac{\text{Ом} \cdot \text{мм}^2}{\text{м}}$ (при температуре 20 °С)

Алюминий	0,028	Медь	0,017
Вольфрам	0,055	Никелин	0,40
Графит	13	Нихром	1,1
Железо	0,10	Олово	0,12
Золото	0,024	Ртуть	0,96
Константан	0,50	Свинец	0,21
Манганин	0,43	Серебро	0,016

Удельное сопротивление обозначают буквой ρ (читается: ро).

Что означают числа, приведённые в таблице? Например, удельное сопротивление меди $\rho = 0,017 \text{ Ом} \cdot \text{мм}^2/\text{м}$. Это значит, что медный провод длиной 1 м с площадью поперечного сечения 1 мм² имеет сопротивление 0,017 Ом. Удельное сопротивление железа $\rho = 0,10 \text{ Ом} \cdot \text{мм}^2/\text{м}$. Значит, железный провод длиной 1 м с площадью поперечного сечения 1 мм² имеет сопротивление 0,10 Ом. (Почти в шесть раз больше, чем медный провод таких же размеров.)

Удельное электрическое сопротивление указано при температуре 20 °С, так как при изменении температуры значение удельного сопротивления меняется.



23.3. Почему электропроводку выполняют алюминиевым или медным проводом?

Зависимость сопротивления проводника от его размеров (длины проводника, площади поперечного сечения) и удельного сопротивления вещества установил Г. Ом. Из опытов Г. Ома следовало, что сопротивление проводника может быть рассчитано по формуле

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

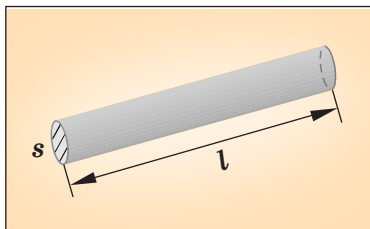


Рис. 115

где l – длина проводника,

s – площадь поперечного сечения проводника (рис. 115).

Реостаты. На практике часто приходится менять силу тока в цепи. Тем самым меняется величина действия тока – яркость свечения лампы накаливания, громкость звука телевизора, быстрота вращения электродрели и так далее.



23.4. Какие физические величины определяют силу тока в участке цепи?

Силу тока в участке цепи, как вы знаете, можно изменить двумя способами. Во-первых, можно **изменить напряжение** на концах участка цепи. Для этого, как правило, используются источники тока, которые позволяют регулировать величину подаваемого на участок цепи напряжения. Во-вторых, можно *изменить сопротивление* самого участка цепи. Для этого часто используют приборы – **реостаты**.

На рисунке 116 изображена модель реостата – нихромовая проволока CD, которая включена в электрическую цепь и снабжена скользящим контактом С. Если контакт С сместить вправо, то длина той части нихромовой проволоки, что включена в электрическую цепь, уменьшится. Следовательно, уменьшится сопротивление участка цепи, и сила тока возрастёт.

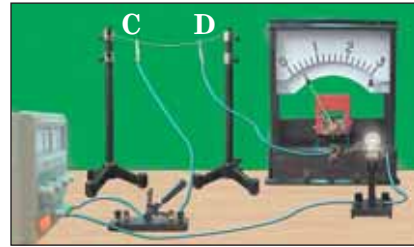


Рис. 116



23.5. Что произойдёт, если контакт С (рис. 116) сместить влево?

На рисунке 117 изображён лабораторный реостат, сопротивление которого меняется от 0 до 6 Ом. Прибор представляет собой керамический¹ цилиндр 1 с плотно намотанной константановой проволокой 2. Над цилиндром расположен металлический стержень 3, по которому может перемещаться скользящий контакт 4. Цилиндр реостата и металлический стержень с помощью боковых стоек 5 крепятся на основании 6.

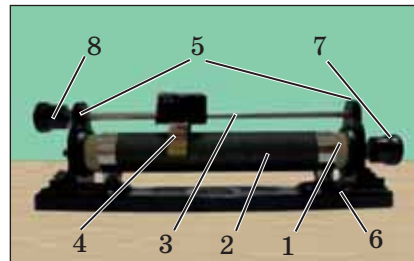


Рис. 117

Реостат имеет две клеммы (зажима). Нижняя клемма 7 соединена с началом константановой проволоки. Верхняя клемма 8 закреплена на металлическом стержне. Константановая проволока покрыта тонким слоем окислы², и поэтому её витки изолированы друг от друга. Но при трении скользящего контакта о витки константановой проволоки слой окислы стирается. Происходит замыкание скользящего контакта с витком проволоки, находящимся под контактом.

¹ Керамика – изделия и материалы, полученные спеканием глин; является изолятором.

² Окисла – продукт окисления, образующийся при повышенной температуре на поверхности стали и некоторых других сплавов.

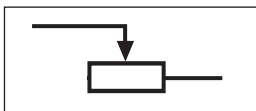


Рис. 118

Проследим, как идёт ток через реостат. Пусть нижняя клемма 7 соединена с проводом, идущим от положительного электрода источника тока. Тогда ток через клемму 7 проходит по константановой проволоке 2 до скользящего контакта 4. Затем по металлическому стержню 3 ток идёт до верхней клеммы 8 и далее по электрической цепи.



23.6. Как изменится сопротивление рабочей части реостата (то есть той части реостата, по которой идёт ток), если скользящий контакт сдвинуть вправо (рис. 117)?

Условное обозначение реостата на электрических схемах приведено на рисунке 118.

Практическая работа «Регулировка тока реостатом».

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

Указания к работе



Задание 1. Соберите электрическую цепь, содержащую последовательно соединённые источник тока, амперметр, резистор, реостат, ключ. Перечертите таблицу 13 в тетрадь.

Таблица 13. Регулировка тока реостатом

Положение контакта реостата			
Сила тока			
Значение сопротивления			

Для каждого положения скользящего контакта реостата:

- в таблице нарисуйте ход тока через реостат;
- измерьте силу тока;
- сравните сопротивление рабочей части реостата (впишите в соответствующие клетки таблицы слова: наименьшее сопротивление, среднее значение сопротивления, наибольшее сопротивление).

Сделайте вывод.



Задание 2. Для каждого из трёх положений скользящего контакта реостата (таблица 13) измерьте напряжение на реостате, определите сопротивление рабочей части реостата.

Зависимость сопротивления проводника от его размеров и удельного сопротивления вещества проводника, $R = \frac{\rho l}{S}$, реостат.

23.1 ● Чему равно сопротивление нагревательного элемента, изготовленного из нихромовой проволоки сечением $0,2 \text{ мм}^2$ и длиной 6 м ?

23.2 ● Катушка электромагнита содержит 45 м медной проволоки сечением $0,5 \text{ мм}^2$. Чему равно сопротивление катушки электромагнита? Какова будет сила тока в катушке, если её подключить к источнику тока напряжением $4,5 \text{ В}$?

23.3 ● На рисунке 119 изображён реостат, с помощью которого сопротивление можно менять не плавно, а ступенями – скачками. Используя рисунок, опишите, как действует реостат.

23.4 ● Как изменится показание амперметра, если скользящий контакт реостата передвинуть влево (рис. 120)?

Ответ обосновать.

23.5 ● Как изменятся показания вольтметров V_1 и V_2 , если скользящий контакт реостата передвинуть влево (рис. 121)? Ответ обосновать.

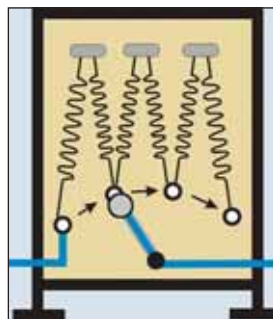


Рис. 119

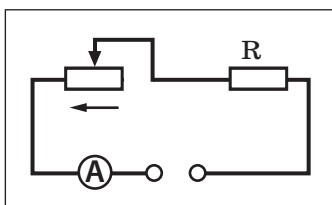


Рис. 120

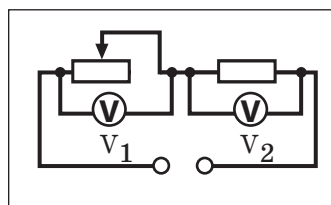


Рис. 121

§ 24. РЕШЕНИЕ ЗАДАЧ ПО ТЕМЕ «РАСЧЁТ СОПРОТИВЛЕНИЯ ПРОВОДНИКОВ»



Деятельность – единственный путь к знанию.

Б. Шоу (1856–1950), английский писатель

Вы уже знаете

- формулу закона Ома;
- как рассчитать сопротивление проводника известных размеров.

Классификация задач. Проводя классификацию задач по данной теме, можно выделить следующие виды задач:

1. *Расчётные задачи – упражнения*, в которых необходимо определить размеры проводника или вещество проводника, используя известную формулу

$$R = \frac{\rho l}{s}. \quad (24.1)$$

2. *Качественные задачи*. В этих задачах чаще всего необходимо провести рассуждения и выяснить, как меняется сопротивление проводника, сила тока в проводнике, напряжение на концах проводника при изменении характеристик проводника (его размеров или его удельного сопротивления).

3. *Комбинированные задачи*. В комбинированной задаче необходимо, как вы знаете, решить отдельные задачи, а затем полученные результаты объединить для нахождения ответа.

Примеры решения задач.

Задача 1. В электродвигателях в качестве скользящих контактов часто используют угольные пластинки (их называют щётками). Определите сопротивление угольного контакта, который представляет собой кубик с ребром 8 мм.

Дано:
Угольный
кубик
 $\rho = 13 \text{ Ом} \cdot \text{мм}^2/\text{м}$
 $a = 8 \text{ мм}$

 $R = ?$

СИ:

0,008 м

Решение:

Для расчёта сопротивления проводника необходимо знать его длину l и площадь поперечного сечения s (рис. 115). Обратимся к рисунку 122:

$$l = a, \quad (24.2)$$

$$s = a^2. \quad (24.3)$$

Из соотношений (24.1) – (24.3) имеем

$$R = \frac{\rho}{a}.$$

$$R = \frac{13 \frac{\text{Ом} \cdot \text{мм}^2}{\text{М}}}{0,008 \text{ м}} = 1600 \frac{\text{Ом} \cdot \text{мм}^2}{\text{М}}.$$

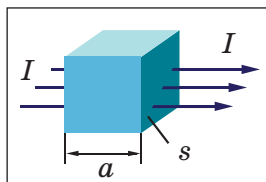


Рис. 122

Определимся с единицами измерений:

$$1 \text{ м} = 1000 \text{ мм},$$

следовательно,

$$1 \text{ м}^2 = 1\,000\,000 \text{ мм}^2.$$

Тогда
$$R = 1600 \cdot \frac{\text{Ом} \cdot \text{мм}^2}{1\,000\,000 \text{ мм}^2}.$$

$$R = 0,0016 \text{ Ом}, R = 1,6 \text{ мОм}.$$

Ответ: $R = 1,6 \text{ мОм}$.

Задача 2. После протягивания проволоки через волочильный станок её длина увеличилась в 3 раза. Как изменилось сопротивление проволоки?

Дано:

Проволока

$$l_2 = 3l_1$$

$$\frac{R_2}{R_1} = ?$$

Решение:

Сопротивление металлического проводника зависит от размеров проводника и удельного сопротивления металла:

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

На первый взгляд кажется, что если длина проводника увеличилась в 3 раза ($l_2 = 3l_1$), то и сопротивление увеличилось тоже в 3 раза. Но это утверждение неверно! Ведь при протягивании проволоки меняется не только её длина l , но и площадь поперечного сечения проводника s .

Выясним, как меняется площадь поперечного сечения s . Будем исходить из того, что плотность металла, а значит, и его объём V при протягивании не меняются (проволока не уплотняется).



24.1. Как определить объём цилиндра V , если известны его длина l и площадь поперечного сечения s ?

$$V = ls. \quad (24.4)$$

$$V_1 = l_1 s_1, V_2 = l_2 s_2.$$

$$V_2 = V_1.$$

$$l_2 s_2 = l_1 s_1.$$

$$s_2 = \frac{l_1 s_1}{l_2}.$$

$$s_2 = \frac{l_1 s_1}{3l_1}.$$

$$s_2 = \frac{s_1}{3}.$$

Таким образом,

$$R_1 = \frac{\rho l_1}{s_1},$$

$$R_2 = \frac{\rho l_2}{s_2}.$$

$$R_2 = \frac{\rho \cdot 3 l_1}{\frac{1}{3} s_1}$$

$$R_2 = \frac{9 \rho l_1}{s_1}$$

$$R_2 = 9R_1.$$

Следовательно, при увеличении длины проволоки в 3 раза её сопротивление возросло в 9 раз.

Ответ: сопротивление увеличилось в 9 раз.



Задача 3. При устройстве молниеотвода использовали железный провод сечением 30 мм^2 , сопротивление которого $0,20 \text{ Ом}$. Определите массу провода.

Дано:

Железный провод

$$\rho = 0,10 \text{ Ом} \cdot \text{мм}^2/\text{м}$$

$$s = 30 \text{ мм}^2$$

$$R = 0,20 \text{ Ом}$$

$$\rho_{\text{желез}} = 7800 \text{ кг/м}^3$$

$$m - ?$$

Решение:

Для нахождения массы m железного провода необходимо знать плотность железа $\rho_{\text{желез}}$ и объём провода V . Плотность железа $\rho_{\text{желез}}$ известна, объём провода V можно определить, если известна длина провода l и площадь сечения s . (Смотрите соотношение (24.4).)

Длина провода l по условию задачи неизвестна. Но сопротивление R железного проводника зависит от его длины l . Это позволяет найти неизвестную величину – длину проводника l и тем самым решить задачу.

$$\rho_{\text{желез}} = \frac{m}{V}.$$

Отсюда

$$m = \rho_{\text{желез}} V,$$

где $\rho_{\text{желез}}$ – плотность железа.

$$V = ls.$$

Следовательно,

$$m = \rho_{\text{желез}} ls. \quad (24.5)$$

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

где ρ – удельное сопротивление железа.

Отсюда

$$l = \frac{R s}{\rho}. \quad (24.6)$$

Из соотношений (24.5) и (24.6) окончательно имеем

$$m = \frac{\rho_{\text{желез}} R s^2}{\rho}.$$

$$m = \frac{7800 \frac{\text{КГ}}{\text{М}^3} \cdot 0,20 \text{ Ом} \cdot (30 \text{ мм}^2)^2}{0,10 \frac{\text{Ом} \cdot \text{мм}^2}{\text{М}}}$$

$$m = 14\,000\,000 \frac{\text{КГ} \cdot \text{мм}^4 \cdot \text{М}}{\text{М}^3 \cdot \text{мм}^2}$$

$$m = 14\,000\,000 \frac{\text{КГ} \cdot \text{мм}^2}{\text{М}^2}$$

$$m = 14 \text{ кг.}$$

Ответ: $m = 14$ кг.

Задача 4. При включении проводника CD в электрическую цепь (рис. 123) вольтметр показывает напряжение 3 В, а амперметр – силу тока 1,5 А. Из какого сплава изготовлен проводник? Длина проводника 0,35 м, диаметр поперечного сечения проводника 0,3 мм.

Дано:

Неизвестный
проводник

$$U = 3 \text{ В}$$

$$I = 1,5 \text{ А}$$

$$l = 0,35 \text{ м}$$

$$d = 0,3 \text{ мм}$$

Сплав – ?

Решение:

Для того чтобы установить сплав, из которого изготовлен проводник, определим удельное сопротивление проводника.



24.2. Какие физические величины должны быть известны, чтобы, используя соотношение (24.1), можно было бы определить удельное сопротивление проводника ρ ?

24.3. Как, используя формулу закона Ома, определить сопротивление проводника R ?

24.4. Как вычисляется площадь круга s известного диаметра d ?

Итак,

$$\rho = \frac{R s}{l}$$

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

Площадь круга s равна

$$s = \frac{\pi d^2}{4}$$

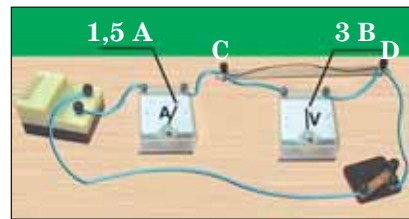


Рис. 123

Используя данные соотношения, определим удельное сопротивление ρ материала проводника.

(Дальнейшие действия по решению задачи выполните самостоятельно.)

Ответ: $\rho = 0,4 \text{ Ом} \cdot \text{мм}^2/\text{м}$; вероятно, это никелин.

24.1 ● Металлический проводник, имеющий площадь поперечного сечения $0,24 \text{ мм}^2$, при длине проводника $3,0 \text{ м}$ обладает сопротивлением $6,3 \text{ Ом}$. Рассчитайте удельное сопротивление вещества проводника.

24.2 ● Какой площади поперечного сечения была использована манганиновая проволока для изготовления обмотки реостата сопротивлением 100 Ом ? Длина проволоки 76 м .

24.3 ● Сколько метров нихромовой проволоки сечением $0,38 \text{ мм}^2$ потребуется для изготовления спирали электрокипятильника, предназначенного для включения в сеть с напряжением 220 В , чтобы сила тока в спирали составляла $5,5 \text{ А}$?

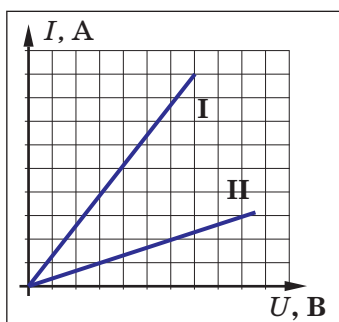


Рис. 124

24.4 ● Провод, имеющий сопротивление 4 Ом , разрежали на две, равные по длине, части. Две половинки провода скрутили жгутом. Чему равно сопротивление получившегося проводника?

24.5 ● На рисунке 124 изображены графики зависимости силы тока от напряжения для двух проводников одинаковой длины и толщины. Какой из проводников изготовлен из материала с большим удельным электрическим сопротивлением и во сколько раз? Ответ обосновать. Температура проводников одинакова и неизменна.

§ 25. ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОЕ И ПАРАЛЛЕЛЬНОЕ СОЕДИНЕНИЕ ПРОВОДНИКОВ



Когда будешь излагать науку ... не забудь под каждым положением приводить практические применения, чтобы твоя наука не была бесплодна.

Леонардо да Винчи

Вы уже знаете, что проводники в электрической цепи могут быть соединены различными способами.



25.1. Как включают в цепь амперметр?

25.2. Как включают в цепь вольтметр?

Последовательное соединение. При последовательном соединении отдельные потребители и измерительные приборы включают друг за другом; образуется *неразветвлённая цепь* (рис. 125, а, б).

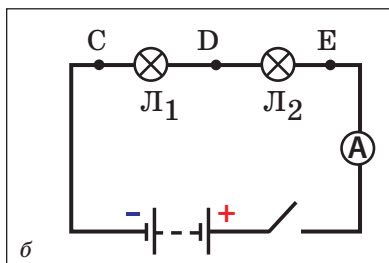


Рис. 125

Измерим силу тока в различных точках цепи (например, в точках C , D , E ; смотрите рисунок 125, б). **При последовательном соединении во всех проводниках сила тока одна и та же.**

$$I = I_1 = I_2.$$

В этом нет ничего удивительного. Ведь сила тока численно равна величине заряда, прошедшего за одну секунду через поперечное сечение проводника. Ясно, что через сечение любого из проводников при их последовательном соединении каждую секунду проходит один и тот же электрический заряд. С помощью вольтметра измерим напряжение на отдельных участках цепи:

- напряжение U_1 на первой лампе (участок CD);
- напряжение U_2 на второй лампе (участок DE);
- общее напряжение U (участок CE).

Опыт показывает, что **при последовательном соединении общее напряжение равно сумме напряжений на отдельных участках.**

$$U = U_1 + U_2.$$

Напряжение на участке цепи, как вы знаете, равно работе, совершаемой электрическим полем по перемещению единичного электрического заряда на этом участке. Поэтому вполне понятно, что общая работа электрического поля равна сумме работ на отдельных участках цепи.

Используя формулу закона Ома для участка цепи и зная напряжение и силу тока, можно определить:

- сопротивление R_1 первой лампы;
- сопротивление R_2 второй лампы;
- общее сопротивление R последовательно соединённых ламп (участок цепи CE).

Расчёт показывает, что **при последовательном соединении проводников общее сопротивление цепи равно сумме сопротивлений отдельных участков цепи.**

$$R_{\text{пол}} = R_1 + R_2.$$

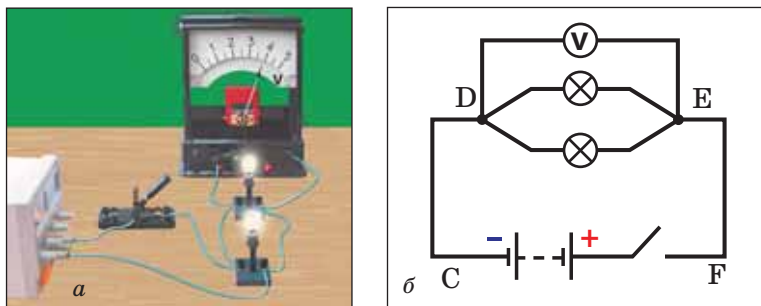


Рис. 126

Параллельное соединение. При параллельном соединении происходит разветвление электрической цепи, когда начала отдельных участков цепи соединяются в одной общей точке, а концы этих участков – в другой общей точке (рис. 126, а, б).

С помощью амперметра измерим силу тока в различных участках цепи:

- силу тока I_1 в первой лампе;
- силу тока I_2 во второй лампе;
- силу тока I в неразветвлённой части цепи (участок CD или EF , см. рис. 126, б).

Опыт показывает, что **сила тока в неразветвлённой части цепи равна сумме сил токов в параллельно соединённых проводниках.**

$$I = I_1 + I_2.$$

Действительно, заряды, проходящие через сечение проводника в точке D , «растекаются» по двум «руслам», чтобы вновь собраться в общий поток в точке E и продолжить «путешествие» по электрической цепи.

Одинаковым или разным будет напряжение на отдельных проводниках при их параллельном соединении? Напряжение измеряют между некоторыми точками цепи. Параллельные участки включены между одними и теми же точками электрической цепи (точки D и E , см. рис. 126, б). Поэтому **напряжение на параллельно соединённых проводниках одинаково.**

$$U = U_1 = U_2.$$

Используя формулу закона Ома и зная напряжение и силу тока, можно определить:

- сопротивление R_1 первой лампы;
- сопротивление R_2 второй лампы;
- общее сопротивление $R_{\text{парал}}$ параллельно соединённых ламп (участок DE).

Расчёт показывает, что при параллельном соединении общее сопротивление цепи меньше сопротивления любого из параллельно соединённых проводников.

$$R_{\text{парал}} < R_1, R_{\text{парал}} < R_2.$$

Ведь два или несколько параллельно соединённых проводников фактически образуют проводник большего сечения. А у такого проводника сопротивление меньше, чем сопротивление любой из «ветвей».

Это легко проверить. Включим амперметр в неразветвлённую цепь (участок CD или EF) и заметим, какова сила тока. Затем выкрутим поочерёдно одну из ламп, оставив включённой на участке DE только одну лампу. Мы увидим, что сила тока уменьшится. Значит, действительно сопротивление любой из ламп больше, чем их общее сопротивление при параллельном включении.

При параллельном соединении общее сопротивление цепи определяется из формулы

$$\frac{1}{R_{\text{парал}}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}.$$



Расчёт сопротивления цепи при последовательном и параллельном соединении проводников. Выведем формулы для расчёта сопротивления цепи при последовательном и параллельном соединении проводников.

Последовательное соединение. Пусть проводники, имеющие сопротивления R_1 и R_2 , соединены последовательно (рис. 127). Если напряжение на первом проводнике U_1 , а на втором U_2 , то общее напряжение U равно

$$U = U_1 + U_2. \quad (25.1)$$



25.3. Как, используя формулу закона Ома для участка цепи, выразить напряжение U , U_1 , U_2 через силу тока и сопротивление соответствующих участков цепи?

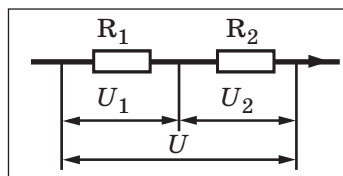


Рис. 127

$$U = IR_{\text{носл}}. \quad (25.2)$$

$$U_1 = IR_1. \quad (25.3)$$

$$U_2 = IR_2. \quad (25.4)$$

Записывая соотношения (25.2) – (25.4), мы учли, что сила тока одинакова во всех проводниках при их последовательном соединении:

$$I = I_1 = I_2.$$

Из соотношений (25.1) – (25.4) легко получить уже известный нам результат:

$$R_{\text{носл}} = R_1 + R_2.$$

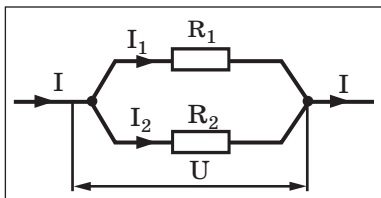


Рис. 128

Параллельное соединение. Пусть проводники, имеющие сопротивления R_1 и R_2 , соединены параллельно (рис. 128).

Если сила тока через первый проводник I_1 , сила тока через второй проводник I_2 , то сила тока в неразветвлённой цепи I равна

$$I = I_1 + I_2. \quad (25.5)$$



25.4. Как, используя формулу закона Ома для участка цепи, выразить силу тока I , I_1 , I_2 через напряжение и сопротивление соответствующих участков цепи?

$$I = \frac{U}{R_{\text{парал}}}. \quad (25.6)$$

$$I_1 = \frac{U}{R_1}. \quad (25.7)$$

$$I_2 = \frac{U}{R_2}. \quad (25.8)$$

Записывая соотношения (25.6) – (25.8), мы учли, что напряжение одинаково на всех проводниках при их параллельном соединении:

$$U = U_1 = U_2.$$

Из соотношений (25.5) – (25.8) легко получить формулу для расчёта сопротивления при параллельном соединении проводников:

$$\frac{1}{R_{\text{парал}}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}.$$

При параллельном соединении проводников величина, обратная общему сопротивлению цепи, равна сумме обратных величин сопротивлений отдельных параллельно соединённых проводников.

Пример расчёта сопротивления электрической цепи.

Пусть имеются проводники сопротивлением 3 Ом, 4 Ом, 6 Ом. Чему будет равно сопротивление цепи при их последовательном соединении? при параллельном соединении?

Дано:

$R_1 = 3 \text{ Ом}$

$R_2 = 4 \text{ Ом}$

$R_3 = 6 \text{ Ом}$

$R_{\text{посл}} - ?$

$R_{\text{парал}} - ?$

Решение:

1. $R_{\text{посл}} = R_1 + R_2 + R_3.$

$R_{\text{посл}} = 3 \text{ Ом} + 4 \text{ Ом} + 6 \text{ Ом},$

$R_{\text{посл}} = 13 \text{ Ом}.$

2. $\frac{1}{R_{\text{парал}}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}.$

$$\frac{1}{R_{\text{парал}}} = \frac{1}{3 \text{ Ом}} + \frac{1}{4 \text{ Ом}} + \frac{1}{6 \text{ Ом}},$$

$$\frac{1}{R_{\text{парал}}} = \frac{4 + 3 + 2}{12 \text{ Ом}},$$

$$\frac{1}{R_{\text{парал}}} = \frac{9}{12 \text{ Ом}},$$

$$\frac{1}{R_{\text{парал}}} = \frac{3}{4 \text{ Ом}}.$$

(В этот момент при расчётах очень часто *допускают ошибку*. Считают, что задача уже решена и общее сопротивление параллельно соединённых проводников уже вычислено. Но пока определена только величина, *обратная* общему сопротивлению.)

Следовательно,
$$\frac{1}{R_{\text{парал}}} = \frac{3}{4 \text{ Ом}}.$$

$$R_{\text{парал}} = \frac{4}{3} \text{ Ом}. R_{\text{парал}} = 1,3 \text{ Ом}.$$

Ответ: $R_{\text{посл}} = 13 \text{ Ом}, R_{\text{парал}} = 1,3 \text{ Ом}.$

Последовательное соединение проводников, соотношения между силой тока и напряжением на отдельных участках цепи при их последовательном соединении; параллельное соединение проводников, соотношения между силой тока и напряжением на отдельных участках цепи при их параллельном соединении;

$$R_{\text{посл}} = R_1 + R_2, \frac{1}{R_{\text{парал}}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2},$$

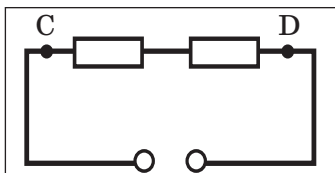
вывод формул для расчёта сопротивления цепи при последовательном и параллельном соединении проводников.

25.1 ● В электрическую цепь включены два резистора сопротивлением по 6 Ом каждый. Чему равно сопротивление цепи при последовательном соединении резисторов? при параллельном соединении резисторов?

25.2 ● Общее сопротивление последовательно включённых двух электрических ламп и реостата 59 Ом. Сопротивление одной лампы 15 Ом, сопротивление другой лампы 20 Ом. Чему равно сопротивление реостата?

25.3 ● Экспериментатор соединил последовательно два проводника: один – константовый, другой – никелиновый. Длины проводников и площади поперечного сечения одинаковы и составляют соответственно 2 м и 0,5 мм². Вычислите, чему равно сопротивление такого участка электрической цепи.

25.4 ● Два резистора сопротивлением 20 Ом и 40 Ом соединены последовательно и включены в электрическую цепь. Вольтметр, подсоединённый к первому резистору, показывает напряжение 10 В. Чему равно общее сопротивление резисторов? Какова сила тока



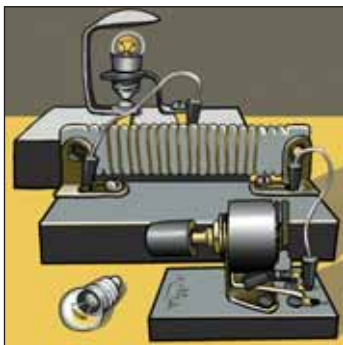
в первом резисторе? во втором резисторе? Какое напряжение покажет вольтметр, если его подключить ко второму резистору?

25.5 ● Два резистора сопротивлением 8 кОм и 1 кОм соединены последовательно (рис. 129). Определите показание вольтметра, включённого между точками С и D, если сила тока в цепи 3 мА.

Рис. 129

§ 26. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА

«ИЗУЧЕНИЕ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОГО СОЕДИНЕНИЯ ПРОВОДНИКОВ»



Опыт даёт... необходимый материал для исходных посылок, он же даёт проверку правильности выведенных заключений.

Р. Декарт (1596–1650), французский философ, математик, физик

Вам уже известны закономерности, выполняющиеся при последовательном соединении.

Оборудование: источник тока, амперметр, вольтметр, реостат, два резистора неизвестного сопротивления, два резистора известного сопротивления, соединительные провода, ключ.

Указания к работе



Задание 1. Соберите электрическую цепь, соединив последовательно источник тока, два резистора неизвестного сопротивления, ключ.

1.1. Начертите схему собранной электрической цепи.

1.2. Проверьте:

- одинакова ли сила тока во всех проводниках;
- равно ли общее напряжение сумме напряжений на отдельных участках цепи.

1.3. Рассчитайте сопротивление R_1 первого резистора, сопротивление R_2 второго резистора и общее сопротивление цепи R .

1.4. Проверьте, выполняется ли формула для расчёта общего сопротивления при последовательном соединении проводников:

$$R = R_1 + R_2.$$



Задание 2. Соберите цепь, в которую последовательно включены два резистора с известным значением сопротивления. Измерьте общее напряжение в цепи. Рассчитайте силу тока. Проверьте, совпадает ли рассчитанное вами значение силы тока с показанием амперметра.



Задание 3. Соберите цепь, в которую последовательно включены два резистора – один с известным, а другой с неизвестным значением сопротивления. Определите величину неизвестного сопротивления, используя только вольтметр. Сравните полученное значение сопротивления с тем значением, что было определено при выполнении задания 1.

26.1 ● В электрическую цепь включены два резистора: один сопротивлением 10 кОм, другой – 5 кОм. Чему равно сопротивление цепи при последовательном соединении резисторов? при параллельном соединении резисторов?

26.2 ● Участок электрической цепи сопротивлением 2 Ом образуют два параллельно соединённых проводника. Чему равно сопротивление одного из проводников, если сопротивление другого 6 Ом?

26.3 ● Экспериментатор соединил параллельно два проводника: один – константовый, другой – никелиновый. Длины проводников и площади их поперечного сечения одинаковы и составляют соответственно 2 м и 0,5 мм². Вычислите, чему равно сопротивление такого участка электрической цепи.

26.4 ● Два резистора сопротивлением 20 Ом и 40 Ом соответственно соединены параллельно и включены в электрическую цепь. Амперметр, последовательно соединённый с первым резистором, показывает силу тока 2 А. Чему равно общее сопротивление резисторов? Какое напряжение на первом резисторе? на втором резисторе? Какую силу тока покажет амперметр, если его включить последовательно со вторым резистором?

26.5 ● Два резистора сопротивлением 0,3 кОм и 0,6 кОм соединены параллельно (рис. 130). Определите показание амперметра, если резисторы находятся под напряжением 100 В.

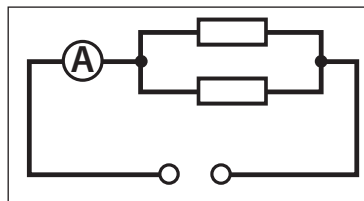


Рис. 130

§ 27. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА
«ИЗУЧЕНИЕ ПАРАЛЛЕЛЬНОГО СОЕДИНЕНИЯ ПРОВОДНИКОВ»



Опыт есть истинный учитель.

Леонардо да Винчи

Вам уже известны закономерности, выполняющиеся при параллельном соединении.

Оборудование: источник тока, амперметр, вольтметр, реостат, два резистора неизвестного сопротивления, два резистора известного сопротивления, низковольтная лампа на подставке, соединительные провода, ключ.

Указания к работе



Задание 1. Соберите электрическую цепь, соединив последовательно источник тока, реостат, ключ и участок цепи, содержащий два резистора неизвестного сопротивления, соединённые между собой параллельно.

1.1. Начертите схему собранной электрической цепи.

1.2. Проверьте:

– равна ли сила тока в неразветвлённой части цепи сумме сил токов в параллельно соединённых проводниках;

– одинаково ли напряжение на параллельно соединённых проводниках.

1.3. Рассчитайте сопротивление R_1 первого резистора, сопротивление R_2 второго резистора и общее сопротивление R параллельно соединённых резисторов.

1.4. Проверьте, выполняется ли формула для расчёта общего сопротивления при параллельном соединении проводников:

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



Задание 2. Сравните силу тока в ветвях параллельного соединения. Выясните, как сила тока зависит от сопротивления ветвей.



Задание 3. Соберите электрическую цепь, содержащую два резистора, соединённых между собой параллельно, один с известным, другой с неизвестным сопротивлением. Определите величину неизвестного сопротивления, используя только амперметр. Сравните полученное значение сопротивления с тем значением, что было определено при выполнении задания 1.

Задание 4. Как изменится сила тока в неразветвлённой части цепи, если к двум параллельно соединённым между собой резисторам подключить параллельно ещё один резистор? Ответ обоснуйте и проверьте на опыте.

Задание 5. Соберите электрическую цепь, которая содержит последовательно соединённые элементы: лампу, резистор, амперметр. Предскажите, как изменится сила тока в неразветвлённой цепи и напряжение на резисторе, если параллельно лампе включить ещё один резистор? Проверьте на опыте.

27.1 ● Участок цепи состоит из железной проволоки длиной 50 см и площадью поперечного сечения $0,2 \text{ мм}^2$, соединённой последовательно с константановой проволокой длиной 96 см и площадью поперечного сечения $0,24 \text{ мм}^2$. Какое напряжение надо подвести к данному участку, чтобы получить силу тока 2 А ?

27.2 ● Электрическую лампу сопротивлением 20 Ом включили в электрическую цепь напряжением 4 В . Чему равна сила тока в цепи? Какой станет сила тока в неразветвлённой части цепи, если параллельно лампочке включить проводник сопротивлением 5 Ом ? (Считать, что сопротивление спирали самой лампочки при этом не меняется.)

27.3 ● Почему на практике чаще применяется параллельное соединение проводников и потребителей, чем последовательное?

Помимо последовательного и параллельного соединений проводников возможно ещё и их смешанное соединение – комбинация последовательного и параллельного соединений.

27.4 ● Рассчитайте сопротивление электрической цепи, изображённой на рисунке 131. Сопротивления резисторов равны

$$R_1 = 2 \text{ Ом},$$

$$R_2 = 6 \text{ Ом},$$

$$R_3 = 12 \text{ Ом}.$$

27.5 ● Рассчитайте сопротивление электрической цепи, изображённой на рисунке 132. Сопротивления резисторов равны

$$R_1 = 2 \text{ Ом},$$

$$R_2 = 6 \text{ Ом},$$

$$R_3 = 12 \text{ Ом}.$$

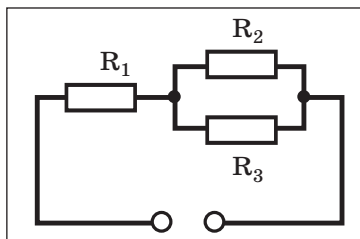


Рис. 131

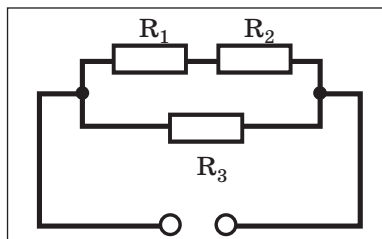


Рис. 132

§ 28. МОЩНОСТЬ И РАБОТА ТОКА



Наблюдать, изучать, работать.

*М. Фарадей (1791–1867),
великий английский учёный*

Вы уже знаете, что при прохождении тока электрическим полем совершается работа.

Мощность тока.



28.1. Какая физическая величина характеризует быстроту совершения работы?

Обратимся к уже известному нам опыту. Включим в цепь последовательно две электрические лампы и амперметр (рис. 133). Замкнув ключ, мы наблюдаем свечение ламп. Тепловое действие тока по нагреву спиралей ламп обусловлено работой, совершаемой электрическим полем. Чем больше работы совершается электрическим полем в единицу времени, тем больше мощность. Но так как работа совершается полем по перемещению электрических зарядов *при прохождении тока в цепи*, то в таком случае принято говорить не «работа электрического поля», а «работа электрического тока» и соответственно – мощность тока.

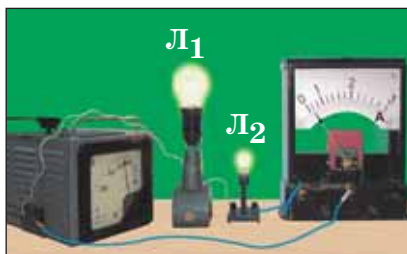


Рис. 133

Выясним на опыте, от чего зависит мощность тока. Увеличим силу тока в цепи (рис. 133). При большей силе тока лампы светятся ярче прежнего – тепловое действие, а значит, и мощность тока возросли. Следовательно, **чем больше сила тока в участке цепи, тем больше мощность тока.**

Но свечение ламп неодинаково. Измерив напряжение на каждой из ламп, мы выясним, что ярче светит та из ламп, которая находится под **большим напряжением**. Следовательно, **чем больше напряжение на участке цепи, тем больше мощность тока.**

Установлена экспериментально и теоретически обоснована зависимость мощности тока от силы тока и напряжения.

Мощность тока, выделяющаяся на участке цепи, равна произведению напряжения на этом участке на силу тока в участке.

Электрическую мощность обозначают буквой P (читается: пэ).

$$P = UI. \quad (28.1)$$

Напомним, что **единица мощности – ватт** (сокращённо обозначается Вт). На практике применяют также кратные и дольные единицы мощности:

$$1 \text{ МВт} = 1\,000\,000 \text{ Вт},$$

$$1 \text{ кВт} = 1000 \text{ Вт},$$

$$1 \text{ мВт} = 0,001 \text{ Вт}.$$

Значения электрической мощности некоторых технических устройств указаны в таблице 14.

Таблица 14. Электрическая мощность некоторых технических устройств, Вт

Водяной насос	500–1000	Сканер А4	10–50
Дрель	300–800	Телевизор	100–300
ЖК-монитор	150–200	Утюг	500–2000
Кондиционер	1000–3000	Фен для волос	500–2000
Кофеварка	500–1500	Холодильник	150–600
Обогреватель	1000–2500	Электролампа настольная	40–75
Принтер лазерный	500–1000	Электромоторы	500–5000
СВЧ-печь	1500–2000	Электроплита	1000–5000
Системный блок компьютера	200–500	Электрочайник	1000–2000

Работа тока.



28.2. Как определяется мощность?

По определению, мощность равна отношению работы к тому промежутку времени, за который эта работа совершена:

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

где A – работа, t – время.

Отсюда

$$A = Pt,$$

или с учётом соотношения (28.1) для работы тока имеем

$$A = UIt.$$

Напомним, что **единица работы** – джоуль (сокращённо обозначается Дж). На практике применяются также кратные и дольные единицы работы:

$$1 \text{ МДж} = 1\,000\,000 \text{ Дж},$$

$$1 \text{ кДж} = 1000 \text{ Дж},$$

$$1 \text{ мДж} = 0,001 \text{ Дж}.$$

Очень часто для расчёта работы электрического тока применяется и внесистемная единица¹ – **киловатт-час (кВт·ч)**.

Чему же равен киловатт-час? Для ответа на этот вопрос переведём киловатт в ватты, а час – в секунды.

Тогда

$$1 \text{ кВт} \cdot \text{ч} = 1000 \text{ Вт} \cdot 3600 \text{ с},$$

$$1 \text{ кВт} \cdot \text{ч} = 3\,600\,000 \text{ Вт} \cdot \text{с},$$

$$1 \text{ кВт} \cdot \text{ч} = 3\,600\,000 \text{ Дж},$$

$$1 \text{ кВт} \cdot \text{ч} = 3,6 \text{ МДж}.$$

Именно в киловатт-часах учитывают потреблённую электроэнергию *счётчики электроэнергии*, которые устанавливаются в жилых и производственных помещениях.



Вывод формулы для расчёта работы и мощности тока. Напомним определения напряжения и силы тока.

Напряжение U – физическая величина, равная отношению работы электрического поля A , совершённой по перемещению заряда, к величине этого заряда q .

$$U = \frac{A}{q}. \quad (28.2)$$

Сила тока I – физическая величина, равная отношению величины заряда q , прошедшего через поперечное сечение проводника за некоторое время, к этому промежутку времени t .

$$I = \frac{q}{t}. \quad (28.3)$$

Из соотношения (28.2) выразим работу электрического поля (работу тока):

$$A = Uq.$$

¹ То есть не являющаяся единицей измерения Международной системы единиц (СИ).

Из соотношения (28.3) выразим величину заряда:

$$q = It.$$

Таким образом получим формулу для вычисления работы тока:

$$A = UIt.$$

Теперь легко вывести и формулу для расчёта мощности тока:

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

$$P = UI.$$

Примеры решения задач.

Задача 1. Электрический утюг имеет мощность 1,1 кВт. Вычислите, чему равна сила тока в спирали утюга при его включении в бытовую электрическую сеть с напряжением 220 В. Чему равно сопротивление спирали?

Дано:
Электрический утюг
 $P = 1,1$ кВт
 $U = 220$ В

 $I - ?$
 $R - ?$

СИ:

1100 Вт

Решение:

Мощность тока определяется силой тока в проводнике и напряжением, под которым находится проводник. Следовательно, если известна мощность тока P и напряжение U , то можно определить силу тока I . Далее, используя формулу закона Ома для участка цепи, легко определить и сопротивление участка цепи.

Итак,

$$P = UI.$$

Отсюда

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

$$I = \frac{1100 \text{ Вт}}{220 \text{ В}} = 5 \text{ А}.$$

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

следовательно,

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

$$R = \frac{220 \text{ В}}{5 \text{ А}} = 44 \text{ Ом}.$$

$$R = 44 \text{ Ом}.$$

Ответ: $I = 5 \text{ А}$, $R = 44 \text{ Ом}$.

Задача 2. Какая работа будет совершена электрическим полем при прохождении силы тока 0,5 А по проводнику сопротивлением 20 Ом в течение 2 мин.?

Дано:

Проводник
 $I = 0,5 \text{ А}$
 $R = 20 \text{ Ом}$
 $t = 2 \text{ мин.}$

СИ:

120 с

$A - ?$

Решение:

Работа электрического тока определяется величиной силы тока, напряжением на проводнике и промежутком времени, в течение которого идёт ток в цепи. Напряжение можно определить, воспользовавшись формулой закона Ома для участка цепи.

Итак,

$$A = UIt.$$

В соответствии с законом Ома для участка цепи

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

отсюда

$$U = IR.$$

(Дальнейшие действия по решению задачи выполните самостоятельно.)

Ответ: $A = 600 \text{ Дж.}$

Лабораторная работа «Определение мощности и работы тока».

Оборудование: источник тока, амперметр, вольтметр, часы или секундомер, резистор, лампочка на подставке, ключ, соединительные провода.

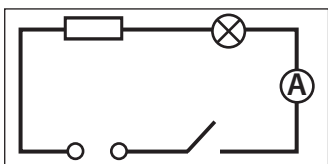


Рис. 134

Указания к работе



Задание 1. Соберите электрическую цепь, схема которой изображена на рисунке 134.

Измерьте силу тока в цепи, напряжение на резисторе и на лампе. Вычислите мощность и работу тока (за промежуток времени 10 минут). Результаты запишите в таблицу:

Сила тока I , А	
Напряжение на резисторе U_1 , В	
Напряжение на лампе U_2 , В	
Мощность тока в резисторе P_1 , Вт	
Мощность тока в лампе P_2 , Вт	
Промежуток времени t , с	
Работа тока в резисторе A_1 , Дж	
Работа тока в лампе A_2 , Дж	



Задание 2. По надписи на баллоне лампы накаливания¹ определите сопротивление лампы и силу тока в рабочем режиме.

Мощность тока, $P = UI$, ватт, $P = \frac{A}{t}$, работа тока, $A = UIt$, джоуль, 1 кВт·ч = 3,6 МДж, вывод формул для расчёта работы и мощности тока.

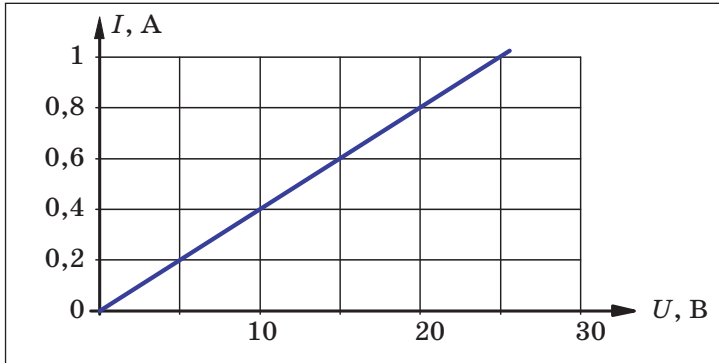


Рис. 135

28.1 ● На рисунке 135 изображён график зависимости силы тока в резисторе от напряжения на нём. Какова мощность тока при напряжении 20 В?

28.2 ● При включении электрической лампы в сеть с напряжением 220 В сила тока в спирали 0,5 А. Какова мощность лампы? Какая работа будет совершена электрическим током, если лампа останется включённой на 10 часов? Ответ получите в джоулях и киловатт-часах. Выясните, каков тариф² за 1 кВт·ч электроэнергии; определите, сколько нужно будет заплатить за потреблённую электроэнергию.

28.3 ● Два резистора сопротивлением 20 Ом и 30 Ом включены последовательно в электрическую цепь напряжением 100 В. Начертите схему электрической цепи. Определите силу тока в цепи, напряжение на каждом резисторе. Какова мощность тока на каждом резисторе?

28.4 ● Два резистора сопротивлением 20 Ом и 30 Ом включены параллельно в электрическую цепь. Напряжение на резисторах 100 В. Начертите схему электрической цепи. Определите силу тока в каждом резисторе и силу тока в неразветвлённой части цепи. Какова мощность тока на каждом резисторе?

28.5 ● Нихромовый проводник длиной 1,4 м и площадью поперечного сечения 0,95 мм² подключён к источнику 6 В. Какова работа тока на этом участке цепи за промежуток времени 10 с?

¹ На баллоне бытовой лампы накаливания указаны её мощность и рабочее напряжение.

² Тариф – цена услуг.

§ 29. ЗАКОН ДЖОУЛЯ И ЛЕНЦА. ЭЛЕКТРОНАГРЕВАТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ



Как наша прожила б планета,
Как люди жили бы на ней
Без теплоты, магнита, света
И электрических лучей?

*А. Мицкевич (1798–1855),
польский поэт*

Вы уже знаете, что электрический ток производит тепловое действие.

Закон Джоуля и Ленца. При прохождении тока по проводнику электрическим полем совершается работа. Пусть при прохождении тока не происходят химические превращения. Пусть в цепи нет электрических двигателей, которые, вращаясь, могли бы совершать работу. На что «расходуется» в таком случае энергия электрического поля? За счёт энергии электрического поля увеличивается внутренняя энергия проводника, он нагревается. Действительно, электрическое поле совершает работу, «разгоняя» заряженные частицы в проводнике и увеличивая их энергию. Но заряженные частицы, двигаясь, преодолевают сопротивление проводника, взаимодействуют с веществом проводника, растрачивая энергию, сообщённую им электрическим полем. В результате частицы самого проводника начинают совершать более энергичное тепловое движение. Температура проводника повышается, и он передаёт энергию окружающим телам; происходит теплообмен (или теплопроводность, или конвекция, или излучение).



29.1. Какое количество теплоты может передать окружающей среде проводник при прохождении по нему тока?

В соответствии с законом сохранения энергии количество теплоты, выделившейся в проводнике, равно работе электрического поля (электрического тока).

$$Q = A.$$



29.2. Как вычисляется работа электрического тока?

$$A = UIt.$$

Значит,

$$Q = UIt. \quad (29.1)$$

В соответствии с законом Ома для участка цепи

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

отсюда

$$U = IR.$$

Тогда выражение (29.1) примет вид

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

Количество теплоты, выделяющееся при прохождении тока в проводнике, равно произведению квадрата силы тока, сопротивления и времени.

Этот закон – **закон Джоуля и Ленца** – был экспериментально установлен английским физиком Д.П. Джоулем и российским физиком Э.Х. Ленцем.

Закон Джоуля и Ленца можно проиллюстрировать следующим опытом. Соединим последовательно несколько железных и нихромовых проводников одинаковой длины и толщины (рис. 136). Включим проводники в электрическую цепь.



Рис. 136



29.3. Одинакова или различна сила тока в проводниках?

29.4. Сравните удельные сопротивления железа и нихрома.

Мы увидим, что в нихромовом проводнике, который обладает бóльшим (в сравнении с железным проводником) сопротивлением, выделяется и большее количество теплоты.



29.5. Как изменится количество теплоты, выделяющейся в проводниках, при увеличении силы тока в цепи (рис. 136)?

Примеры решения задач.

Задача 1. Спираль электроплитки имеет сопротивление 44 Ом. Какое количество теплоты выделяется в спирали за 1 минуту? Напряжение в сети 220 В.

Дано:

Электроплитка
 $R = 44 \text{ Ом}$
 $t = 1 \text{ мин}$
 $U = 220 \text{ В}$

$Q - ?$

СИ:

60 с

Решение:

Для расчёта количества теплоты, выделяемой током в проводнике, необходимо знать силу тока в проводнике, сопротивление проводника и время. Силу тока определим, воспользовавшись законом Ома для участка цепи.

Итак,

$$Q = UIt,$$

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

Тогда

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

(Дальнейшие действия по решению задачи выполните самостоятельно.)

Ответ: 66 кДж.



Задача 2. За какое время электронагреватель мощностью 2,1 кВт нагреет 4 кг воды от первоначальной температуры 15 °С до температуры 75 °С? На нагревание воды идёт 80 % теплоты, выделяемой нагревателем.

Дано:

Нагревание воды

$$P = 2,1 \text{ кВт}$$

$$m = 4 \text{ кг}$$

$$t_1 = 15 \text{ °С}$$

$$t_2 = 75 \text{ °С}$$

$$c = 4200 \text{ Дж/кг} \cdot \text{°С}$$

80 %

$t - ?$

СИ:

$$2100 \text{ Вт}$$

Решение:

Мощность P показывает, какая работа совершается электрическим током каждую секунду. По определению мощности,

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

где A – работа тока, t – время.

$$\text{Отсюда} \quad A = Pt.$$

Количество теплоты Q , выделившейся в проводнике, равно работе тока A :

$$Q = A.$$

$$Q = Pt. \quad (29.2)$$

По условию задачи на нагревание воды идёт 80 % теплоты, выделяемой нагревателем:

$$Q_{\text{вод}} = 0,8 Q, \quad (29.3)$$

где $Q_{\text{вод}}$ – количество теплоты, полученное водой.

Количество теплоты $Q_{\text{вод}}$, полученное водой при её нагревании от первоначальной температуры t_1 до температуры t_2 , легко определить.

$$Q_{\text{вод}} = mc(t_2 - t_1). \quad (29.4)$$

Теперь из соотношений (29.2) – (29.4) удастся определить, сколько времени было затрачено на нагревание воды.

(Дальнейшие действия по решению задачи выполните самостоятельно.)

Ответ: $t = 10$ мин.

Электронагревательные приборы. Трудно представить себе, как в современном мире можно обойтись без электронагревательных приборов – приборов, в которых использовано тепловое действие тока. Без электрической энергии не обходится выплавка стали и

алюминия. Электрические печи и электросварка, бытовые электронагревательные приборы – электрические чайники, утюги, кипятильники – вот только малое число примеров практического применения теплового действия тока.

Нагревательные элементы электрических приборов изготавливают, как правило, из нихрома. Высокая жаропрочность нихрома позволяет нагревать его электрическим током до $1200\text{ }^{\circ}\text{C}$, а большое удельное сопротивление (в 10 раз больше, чем у железа; в 40 раз больше, чем у алюминия) даёт возможность изготавливать нагревательные элементы малых размеров.



Ещё одним прибором, в котором использовано тепловое действие тока, является *лампа накаливания*. Изобретение лампы накаливания – результат работы изобретателей многих стран. Наиболее велики заслуги в этой области русского электротехника А.Н. Лодыгина и американского изобретателя Т.А. Эдисона (рис. 137).



Рис. 137. Лампы накаливания Лодыгина и Эдисона

С 80-х годов XIX века в конструкцию лампы накаливания были внесены сотни усовершенствований. Первые лампы с угольной нитью сменили лампы с нитью из вольфрама (в современных лампах нить накала – именно из вольфрама). Вольфрамовую нить закрутили в спираль, чтобы нить не остывала, оставаясь при температуре $3000\text{ }^{\circ}\text{C}$, и давала бы яркий свет. Из колб ламп выкачали воздух, чтобы избежать окисления вольфрама и разрушения нити. Но в вакууме происходит сильное испарение вольфрама, и тогда лампы стали заполнять инертными газами (инертными, то есть не вступающими в химические реакции с вольфрамом). Теперь атомы вольфрама, испаряясь, «натываются» на атомы инертного газа и большей частью возвращаются обратно на спираль. Чтобы удалить тот вольфрам, который всё же испарился и осел на стенки баллона, в газ стали добавлять пары йода (или брома). Молекулы йода реагируют с холодным вольфрамом, удаляя его со стенок колбы. А затем, попав на горячую нить, происходит разложение этого соединения вновь на йод и вольфрам (в итоге вольфрам вновь возвращается на нить).

Но, несмотря на все ухищрения, коэффициент полезного действия даже лучших ламп накаливания не превышает 10 %. Почему же 90 % (!) электрической энергии не превращается в световую энергию? Оказывается, в конструкции лампы накаливания есть один недостаток, который нельзя преодолеть никакими усовершенствованиями. В лампе накаливания источником света является раскалённая вольфрамовая нить. А любое нагретое тело излучает в качестве видимого света только *некоторую часть* энергии. Остальная же энергия излучается не в виде света, а в виде тепла. И этот закон излучения не преодолеть никакими конструктивными улучшениями!

В настоящее время всё шире применяются *люминесцентные лампы* («лампы дневного света»). В этих приборах электрическое поле ускоряет электроны в колбе лампы. Электроны передают при столкновениях полученную энергию атомам газа, заполняющего лампу. И атомы газа, получившие избыток энергии, излучают свет. КПД таких ламп достигает 40%. Разработаны компактные люминесцентные лампы, которые ввинчиваются в патрон для обычной лампы накаливания.

Ещё один тип современных осветительных устройств – *светодиоды*. Их основой являются кристаллы полупроводников. Электроны, приводимые в движение электрическим полем, взаимодействуют с кристаллическим веществом, и в результате возникает световое излучение. Прямое превращение электрической энергии в световую энергию приводит к высокому КПД светодиодных устройств. Так, например, современные светодиодные светофоры позволяют в 5 раз снизить энергозатраты по сравнению со светофорами старой конструкции, в которых применяются обычные лампы накаливания.

Короткое замыкание. Предохранители. При использовании электронагревательных приборов, например в быту, все приборы-потребители включаются в электрическую цепь параллельно (рис. 138).

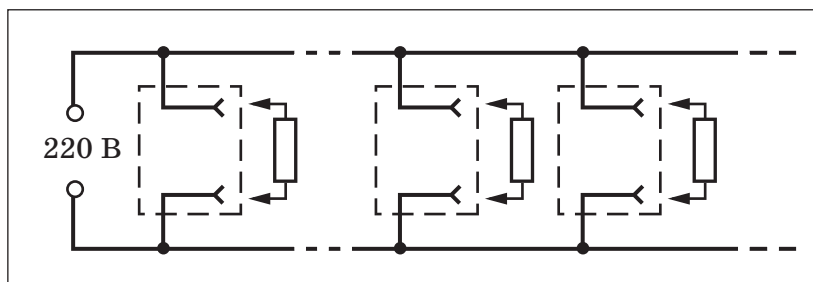




Рис. 138. Часть схемы бытовой электропроводки.

Условным знаком  обозначена розетка с контактными гнездами. Условным знаком  обозначен прибор-потребитель, подключённый к сети электрической вилкой с контактными штырями.

Для простоты расчётов предположим, что в цепь включены пять потребителей, сопротивление каждого из них 50 Ом. При параллельном соединении напряжение на всех потребителях будет одинаковым (для бытовой электросети оно равно 220 В). Тогда сила тока в потребителе равна

$$I = \frac{220 \text{ В}}{50 \text{ Ом}}, \quad I = 4,4 \text{ А.}$$

В неразветвлённом участке цепи общая сила тока $I_{\text{общ}}$ уже составит

$$\begin{aligned} I_{\text{общ}} &= 5 I, \\ I_{\text{общ}} &= 5 \cdot 4,4 \text{ А}, \\ I_{\text{общ}} &= 22 \text{ А!} \end{aligned}$$

Проведём подобный расчёт иным способом. Определим общее сопротивление при параллельном соединении потребителей.

$$\begin{aligned} \frac{1}{R_{\text{парал}}} &= \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_4} + \frac{1}{R_5}, \\ \frac{1}{R_{\text{парал}}} &= \frac{1}{50 \text{ Ом}} + \frac{1}{50 \text{ Ом}} + \frac{1}{50 \text{ Ом}} + \frac{1}{50 \text{ Ом}} + \frac{1}{50 \text{ Ом}}, \\ \frac{1}{R_{\text{парал}}} &= \frac{5}{50 \text{ Ом}}. \end{aligned}$$

Следовательно, $R_{\text{парал}} = 10 \text{ Ом}$.

Сила тока в неразветвлённом участке цепи $I_{\text{общ}}$ будет равна

$$I_{\text{общ}} = \frac{220 \text{ В}}{10 \text{ Ом}}, \quad I_{\text{общ}} = 22 \text{ А.}$$

В соответствии с законом Джоуля и Ленца при такой большой силе тока количество теплоты, выделяющееся в проводах, будет велико ($Q = I^2 R t$). Провода сильно нагреются, и может возникнуть пожар.

Как же этого избежать? *Во-первых*, не следует включать большое число потребителей энергии. Ведь при параллельном соединении большого числа потребителей *общее сопротивление цепи будет мало, а значит, сила тока велика. Во-вторых*, и это самое важное, **электрическая цепь должна содержать предохранители.**

Назначение предохранителя – разорвать электрическую цепь, если сила тока в ней окажется выше допустимой нормы. Предохранители позволяют избежать серьёзных (и нежелательных) последствий и в случае короткого замыкания.



Рис. 139

Короткое замыкание – замыкание в электрической цепи, приводящее к тому, что сопротивление цепи становится крайне мало, а сила тока – очень большой. Наиболее распространённые причины, по которым может произойти короткое замыкание, – это нарушение изоляции в тех местах, где провода перегибаются. Например, у входа в электрическую вилку, в настольную лампу, утюг. Короткое замыкание может произойти из-за повреждения электропроводки при забивании гвоздей и пробивании в стене отверстий (рис. 139).

Как же устроены предохранители? Простейшее устройство для защиты электрических цепей и электроустановок от перегрузок и коротких замыканий – *электрическая пробка* (рис. 140). Внутри фарфоровой пробки есть проволочка, которая при избыточном токе плавится, перегорает. Электрическая цепь при этом разрывается.

Более сложное устройство – *автоматическая пробка* (рис. 141). Пробки-автоматы содержат специальные механизмы, которые размыкают цепь. Как правило, современные бытовые устройства содержат электромагнитный разрыватель цепи (на основе электромагнита) и тепловой разрыватель. Тепловой разрыватель – это пластинка из двух металлов (биметаллическая пластинка). Как известно, при нагревании металлы расширяются, но различные металлы расширяются по-разному. По этой причине биметаллическая пластинка изгибается, что приводит к размыканию электрических контактов в пробке-автомате. Для восстановления электрической цепи нужно нажать на кнопку включения автомата (**но только после того, как причина аварии устранена!**).

Автоматический выключатель (рис. 142) является комбинацией пробки-автомата и выключателя. После его срабатывания нужно сначала перевести выключатель в положение «Отключено», а затем включить.



Рис. 140



Рис. 141



Рис. 142

Закон Джоуля и Ленца, $Q = I^2Rt$; электронагревательные приборы, лампа накаливания; короткое замыкание, предохранители: электрическая пробка, автоматическая пробка, автоматический выключатель.

29.1 ● Сила тока в электросварочном аппарате в момент сварки стальных деталей равна 500 А. Свариваемые детали имеют сопротивление 0,08 Ом. Какое количество теплоты выделится при сварке за 0,5 минуты?

29.2 ● Почему подводящие провода в электроприборах изготавливают, как правило, из медной проволоки?

29.3 ● Сила тока в нихромовом проводнике длиной 35 см и площадью поперечного сечения 0,64 мм² равна 4,5 А. Определите сопротивление проводника. Какое количество теплоты выделится в проводнике при такой силе тока за 2 минуты?

29.4 ● По какой причине электрические провода в местах соединения не просто скручивают, а, как правило, ещё и паяют?

29.5 ● После того как кипятильник нагрел воду до температуры кипения, при дальнейшей его работе ежеминутно 30 г воды превращается в пар. Считая, что вся подводимая энергия идёт только на образование пара, определите электрическое сопротивление кипятильника. Напряжение 220 В.

§ 30. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА «ОПРЕДЕЛЕНИЕ КПД ЭЛЕКТРОНАГРЕВАТЕЛЯ ВОДЫ»



Если действовать не будешь – ни к чему ума палата.

Ш. Руставели (XII век), грузинский поэт

Вы уже знаете, что при прохождении тока по проводнику внутренняя энергия проводника увеличивается.

КПД электронагревателя воды. Если электрический нагреватель помещён в воду, то при прохождении тока температура спирали нагревателя повышается и происходит нагревание воды. При этом ввиду теплообмена некоторая часть работы, совершённой электрическим током, пойдёт на нагревание окружающей среды, другая же часть работы тока пойдёт на повышение внутренней энергии воды.



30.1. Как рассчитать количество теплоты Q , необходимое для нагревания воды от температуры t_1 до температуры t_2 ?

30.2. Как вычисляется работа тока A ?

Определим коэффициент полезного действия электронагревателя как отношение количества теплоты, полученного водой, к работе электрического тока.

Тогда коэффициент полезного действия (КПД) равен

$$\text{КПД} = \frac{Q}{A} \cdot 100 \%,$$

где Q – количество теплоты,
 A – работа тока.

Количество теплоты Q и работу тока A легко определить:

$$Q = mc(t_2 - t_1),$$

где m – масса воды,
 c – удельная теплоёмкость воды,
 t_1 – первоначальная температура воды,
 t_2 – конечная температура воды.

$$A = UIt,$$

где U – напряжение на электронагревателе,
 I – сила тока в цепи,
 t – время, в течение которого происходит нагревание воды.

Окончательно имеем

$$\text{КПД} = \frac{mc(t_2 - t_1)}{UIt} 100 \%.$$

Лабораторная работа.

Оборудование: сосуд с водой, внутренний сосуд от калориметра, весы или измерительный цилиндр (мензурка), термометр, часы, нагревательная спираль, амперметр, вольтметр, источник тока, ключ, соединительные провода.

Указания к работе



Задание 1. В сосуд от калориметра налейте воду массой 100–150 г; измерьте её первоначальную температуру.

Нагревательную спираль подключите к источнику тока.

Включите в электрическую цепь измерительные приборы так, чтобы можно было измерить силу тока в спирали и напряжение на ней.

Опустив в воду спираль, замкните цепь и нагрейте воду до температуры 50–55 °С.

Заметьте время нагревания воды.

Разомкните цепь. Измерьте конечную температуру воды (не забудьте перемешать воду перед измерением температуры).

Рассчитайте КПД электронагревателя.



Задание 2. Исследуйте, как изменяется КПД электронагревателя, если спираль поместить не у дна сосуда калориметра, а вблизи поверхности воды (но так, чтобы спираль полностью находилась в воде).

КПД электронагревателя воды.

30.1 ● Электронагреватель опустили в воду и включили в электрическую сеть с напряжением 220 В. Определите коэффициент полезного действия электронагревателя, если за 5 минут его непрерывной работы внутренняя энергия нагреваемой воды увеличилась на 300 кДж. Сила тока в спирали прибора равна 6 А.

30.2 ● В электрической цепи, схема которой изображена на рисунке 143, подвижный контакт реостата плавно перемещают вправо. Как при этом изменяется количество теплоты, выделяющееся каждую секунду на резисторе R? Ответ обосновать.

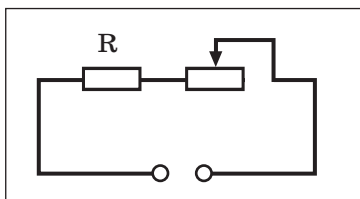


Рис. 143

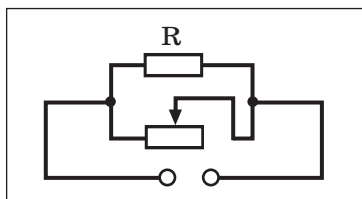


Рис. 144

30.3 ● В электрической цепи, схема которой изображена на рисунке 144, подвижный контакт реостата плавно перемещают вправо. Как при этом изменяется количество теплоты, выделяющееся каждую секунду на резисторе R? Ответ обосновать.

30.4 ● Экспериментатору необходимо изготовить электронагреватель воды, при помощи которого можно было бы нагреть 2 кг воды от комнатной температуры (20 °С) до температуры кипения (100 °С) за 20 минут. В распоряжении экспериментатора имеется моток никелиновой проволоки с площадью поперечного сечения 0,78 мм². Проволоку какой длины ему следует отрезать? Используется напряжение 220 В. Из прежних опытов экспериментатору известно, что коэффициент полезного действия электронагревателя составляет 80 %.

30.5 ● Спираль электроплитки чуть укоротили. Увеличится или уменьшится время нагревания воды на такой плитке по сравнению с первоначальным временем? Масса нагреваемой воды одинакова. Воду в обоих случаях нагревают от комнатной температуры до температуры кипения.

Самое важное в разделе «Электрические явления»

1. Существуют положительно и отрицательно электрически заряженные частицы. В природе выполняется закон сохранения электрического заряда.

2. Вокруг заряженных частиц существует электрическое поле. Электрическое поле действует на заряженную частицу.

3. Сила, с которой взаимодействуют неподвижные заряженные частицы, тем больше, чем больше заряд каждой из частиц и чем меньше расстояние между частицами.

4. Направленное движение заряженных частиц под действием электрического поля – **электрический ток**.

Ток производит *тепловое, химическое, магнитное действия*.

5. Электрический ток характеризуется **силой тока I** (ампер, А).

Работа электрического поля характеризуется **напряжением U** (вольт, В).

Электрические свойства проводника характеризуются **сопротивлением R** (ом, Ом).

Сопротивление проводника зависит от его размеров и рода вещества:

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

Для участка цепи выполняется **закон Ома**:

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

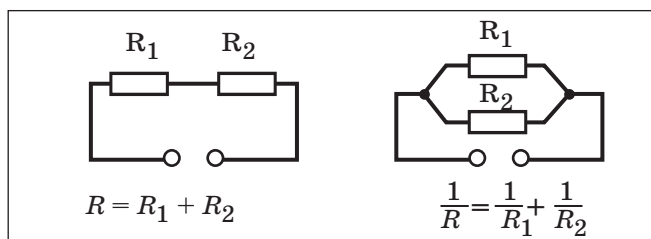
6. **Мощность тока P** (ватт, Вт) определяется напряжением и силой тока:

$$P = UI.$$

Количество теплоты Q (джоуль, Дж), выделяющееся в проводнике, рассчитывается по закону Джоуля и Ленца:

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

7. Проводники соединяют *последовательно* и *параллельно*.



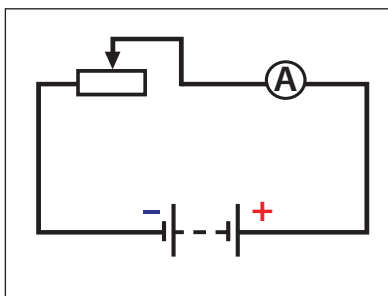


Рис. 145

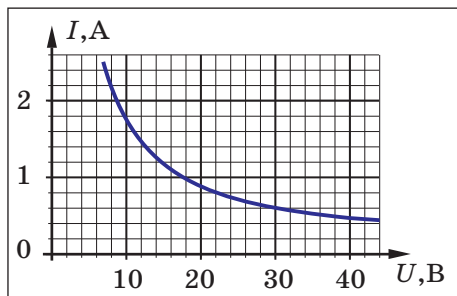


Рис. 146

II.1 ● В электрической цепи, схема которой представлена на рисунке 145, меняя сопротивление реостата на известную величину, всякий раз измеряли силу тока. График зависимости силы тока в цепи от сопротивления реостата приведён на рисунке 146. Изменялось ли в ходе опыта напряжение источника тока? Ответ обосновать.

II.2 ● Грифель (графит) для автоматического карандаша имеет следующие размеры: длина стержня 60 мм, диаметр стержня 0,7 мм. Рассчитайте, чему равно электрическое сопротивление графитового стержня. (Примечание. Площадь круга s рассчитывается по формуле

$$s = \frac{1}{4} \pi d^2,$$

где d – диаметр круга.)

II.3 ● Кусок железной проволоки имеет сопротивление 1 Ом. Из проволоки изготовили кольцо, и к диаметрально противоположным точкам кольца припаяли электрические контакты (рис. 147). Чему будет равно сопротивление кольца при включении его в электрическую цепь?

II.4 ● В сеть с напряжением 220 В необходимо включить электронагреватель мощностью 1,4 кВт. В вашем распоряжении имеются плавкие предохранители на 6 А, 10 А, 15 А и 20 А.

Какой из предохранителей следует использовать для нормальной работы электрической сети? Ответ обосновать.

II.5 ● Амперметр и вольтметр соединили последовательно и включили в электрическую цепь (рис. 148). Что покажут приборы?

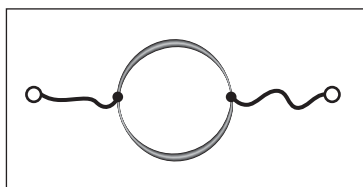


Рис. 147

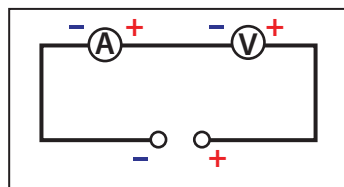


Рис. 148

P. S.



В этом разделе вы изучили очень важные вопросы, связанные с электрическими явлениями. Впервые обсуждался вопрос о том, что материя имеет две формы – вещество и поле. Да и с практической точки зрения немаловажно иметь представление о расчёте электрических цепей. Но чем больше область ваших знаний, тем больше и граница с не изученными ещё вопросами.

– Вам известно, что электрически заряженные частицы взаимодействуют благодаря электрическому полю. Но физические величины, характеризующие, например, электрическое поле, не рассматривались.

– Было изучено явление электрический ток, выявлены признаки этого явления. Но не выяснено, как химическое и магнитное действия тока зависят от силы тока.

– Не изучено, какие именно заряженные частицы переносят электрический заряд в различных видах проводников (например, в жидкостях, в газах).

– Был установлен закон Ома для участка цепи. Но не дано теоретическое обоснование, почему сила тока в проводнике прямо пропорциональна напряжению на концах проводника.

– Вы знаете, как рассчитываются мощность и количество теплоты, выделяемое током. Но при каких условиях в цепи выделяется наибольшая мощность? (Ведь источник тока также обладает сопротивлением, и некоторое количество теплоты выделяется и внутри самого источника.)

– Вы знаете, как рассчитывать простейшие электрические цепи при последовательном и параллельном соединении. Но как рассчитывать ток и напряжение в сложных электрических цепях?

Поэтому в следующем разделе учебника мы продолжим изучение явления электрический ток. Затем изучим магнитные явления. И даже после этого продолжим изучение электромагнитных явлений в девятом классе.

Раздел 3. ТОК В РАЗЛИЧНЫХ СРЕДАХ

Изучая этот раздел, вы выясните, какова природа электрического тока в различных средах – металлах, жидкостях, газах. Вы узнаете, как осуществляется прохождение тока через пустоту (вакуум). Также вы узнаете об особом типе веществ – полупроводниках, которые используются во всех современных электронных устройствах.

§ 31. Ток в металлах

Какова природа тока в металлах
Зависимость удельного сопротивления металлов от температуры
Сверхпроводимость

§ 32. Ток через вакуум. Электронно-лучевая трубка

Что такое вакуум
Электронно-лучевая трубка
Телевидение

§ 33. Ток в газах

Дуговой разряд
Искровой разряд
Коронный разряд
Тлеющий разряд

§ 34. Ток в электролитах

Проводимость электролитов
Электролиз

§ 35. Полупроводники

Особый тип веществ
Проводимость полупроводников

§ 36. Примесная проводимость полупроводников

Роль примеси в полупроводниках
P-n-переход
Полупроводниковый диод
Практическая работа «Изучение характера проводимости диода»

Самое важное в разделе «Ток в различных средах»

P. S.

§ 31. ТОК В МЕТАЛЛАХ



Природа проста и плодотворна.

О.Ж. Френель (1788–1827), французский физик

Вам уже известно, что металлы – проводники электрического тока.

Какова природа тока в металлах.

Общеизвестно, что металлы – хорошие проводники. Если подключить медную проволоку к источнику тока, то возникнет ток. Электрический ток – направленное (упорядоченное) движение заряженных частиц. В металлах такими движущимися заряженными частицами – носителями заряда – являются электроны.

Рассмотрим этот вопрос более подробно. При изучении теплопроводности уже упоминалось, что металлы – это кристаллические вещества, в которых основой (узлами) кристаллической решётки являются атомы металла, потерявшие один-два электрона. Таким образом, металлы можно представить как ионную¹ кристаллическую решётку, заполненную электронным «газом» – свободными электронами, совершающими беспорядочное тепловое движение. На рисунке 149 представлена условная схема внутреннего строения металла.

Пусть с помощью источника тока в металлическом проводнике создано электрическое поле. На каждый из свободных электронов будет действовать сила, и тогда на беспорядочное движение электронов «накладывается» их упорядоченное смещение в направлении действия силы. Так возникает электрический ток в металлах. Электрическое поле, «разгоняя» свободные электроны, совершает работу; кинетическая энергия электронов возрастает.

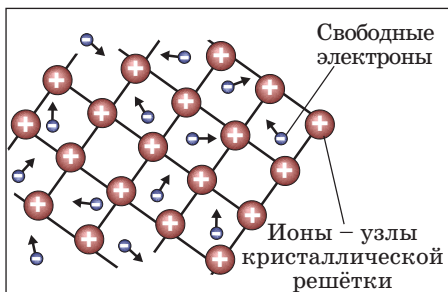


Рис. 149

¹ Напомним, что существуют отрицательные и положительные ионы. Положительный ион – это атом, потерявший один или несколько электронов.

Но, «натываясь» на узлы кристаллической решётки, взаимодействуя с колеблющимися в узлах кристаллической решётки ионами, электроны передают им накопленную энергию. Затем электроны вновь приобретают энергию и вновь взаимодействуют с кристаллической решёткой. В итоге электроны движутся по проводнику с некоторой средней скоростью дрейфа, которая зависит от величины электрического поля в проводнике. У кристаллической же решётки проводника возрастает внутренняя энергия – проводник нагревается.



31.1. Как формулируется закон Ома для участка цепи?

31.2. Как формулируется закон Джоуля и Ленца?

Уже в 1900 году на основе модели¹ электронного газа в металлах были теоретически обоснованы закон Ома, закон Джоуля и Ленца. Всё больше учёных-физиков склонялось к мысли о том, что ток в металлах – это движение свободных электронов.

Но в физике, как и в любой другой экспериментальной науке, никакие, даже самые убедительные, предположения и доводы не являются окончательным доказательством. Необходимо, как вы знаете, подтверждение теории на опыте. Решающие экспериментальные доказательства электронной природы тока в металлах были получены физиками в 1913–1916 годах. Чтобы доказать, что в металлах действительно имеются свободные электроны, способные создавать ток, использовали катушку. На катушку было намотано 500 метров проволоки, концы которой через скользящие контакты подключили к чувствительному амперметру (рис. 150). Катушку раскручивали, а затем резко останавливали. При остановке катушки в цепи возникал кратковременный ток. Почему? Образно говоря, электроны в катушке вели себя как пассажиры автомобиля при его резком торможении – продолжали некоторое время движение по инерции.

По направлению тока был сделан вывод, что в металлах электрический ток обусловлен движением отрицательно заряженных частиц.

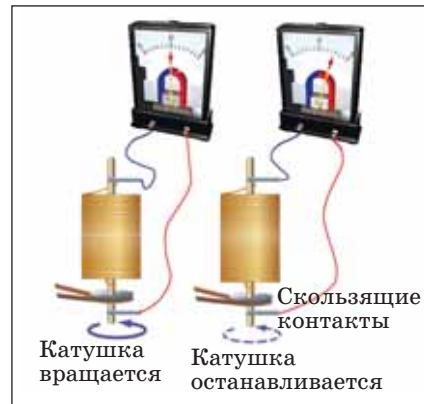


Рис. 150

¹ Модель – мысленный или условный образ явления или процесса.

Была измерена величина общего электрического заряда, прошедшего по цепи при торможении катушки. Это позволило рассчитать отношение заряда движущейся частицы к её массе. Отношение оказалось именно таким, каким оно является для электрона.

Экспериментально доказано, что электрический ток в металлах – это упорядоченное движение свободных электронов.

Направленное (упорядоченное) движение свободных электронов возникает благодаря действию на электроны электрического поля, создаваемого в металле источником тока.

Зависимость удельного сопротивления металлов от температуры.



31.3. Как рассчитать сопротивление проводника, если известны его длина, площадь поперечного сечения и удельное сопротивление металла, из которого он изготовлен?



Рис. 151

(это легко проверить). Возможно, изменилось сопротивление нити накала лампы? При внимательном наблюдении видно, что если подуть на спираль, она становится темнее – её температура уменьшается. Кажется, причина установлена. Сопротивление спирали зависит от температуры! При уменьшении температуры уменьшается сопротивление проводника и сила тока в цепи увеличивается. Сопротивление же проводника зависит от его размеров и удельного сопротивления. Таким образом, мы выяснили на опыте, что удельное сопротивление вольфрама, из которого изготовлена нить накала лампы, зависит от температуры.

Опишем один занимательный опыт. Аккуратно, чтобы не повредить спираль, с лампы (12 В) удалим стеклянный баллон. Лампу и амперметр подключим к источнику тока (рис. 151). Заметим, какое значение силы тока показывает амперметр. Подуем на спираль, и сила тока в цепи увеличится. Почему? Как объяснить, что дуновение ветра влияет на показание амперметра?

Сила тока в цепи в соответствии с законом Ома зависит от напряжения и сопротивления цепи. Напряжение источника тока никак не изменилось

Удельное сопротивление металлов увеличивается с ростом температуры.

Так, например, у железа сопротивление при нагревании на $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ увеличивается на 60% . При более высокой температуре внутренняя энергия кристаллической решётки больше. Ионы металла совершают более интенсивное тепловое движение, колеблясь в узлах кристаллической решётки. Это приводит к их большему взаимодействию с движущимися электронами и, как следствие, к увеличению сопротивления.



Сверхпроводимость. В 1911 году нидерландский физик Камерлинг-Оннес открыл удивительное явление. Он охладил ртуть до очень низкой температуры, около $-270\text{ }^{\circ}\text{C}$. При достижении такой температуры сопротивление ртути полностью исчезло. Впоследствии состояние сверхпроводимости обнаружили и у других металлов и сплавов.

В 1986 году был обнаружен материал, у которого переход в сверхпроводящее состояние происходит при более высокой температуре. Это явление названо физиками высокотемпературной сверхпроводимостью. В настоящее время открыты высокотемпературные сверхпроводники, охлаждение которых производится при помощи жидкого азота. (Температура жидкого азота $-195,8\text{ }^{\circ}\text{C}$; азот доступен – в составе атмосферного воздуха его около 80%). Открытие подобных высокотемпературных сверхпроводников расширяет область применения такого удивительного физического явления, как сверхпроводимость.

Природа тока в металлах, зависимость удельного сопротивления металлов от температуры, сверхпроводимость, высокотемпературная сверхпроводимость.

31.1 ● В 1899 году немецкий физик К. Рикке на трамвайной подстанции г. Штутгарта включил в основной провод, питающий трамвайные линии постоянного тока, экспериментальную установку. Установка содержала три металлических цилиндра, плотно прижатых торцами друг к другу так, что цилиндры образовывали последовательное соединение. Два крайних цилиндра были медными, а средний цилиндр – алюминиевый. Через эти цилиндры более года проходил электрический ток, но никаких изменений цилиндров не произошло. Как объяснить результат этого опыта?

31.2 ● В электрическую цепь последовательно с железным проводником включили амперметр. Изменится ли показание амперметра, если нагреть проводник? Ответ обосновать.

31.3 ● На рисунке 152 изображена вольт-амперная характеристика (зависимость силы тока от напряжения) для электрической лампы накаливания. Почему в этом случае сила тока не прямо пропорциональна напряжению?

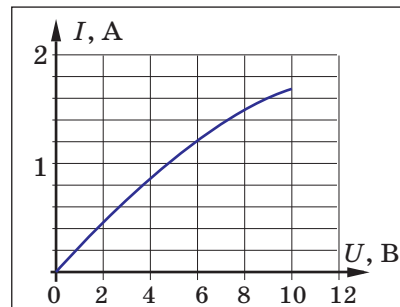


Рис. 152

31.4 При изучении сверхпроводников проводились специальные опыты. В сверхпроводящем кольце создавали ток, отключали источник тока и наблюдали, останется ли неизменной сила тока в цепи. Никаких изменений тока экспериментаторы не обнаружили и через два с половиной года после начала опыта. Как объяснить результат такого опыта?

31.5 На открытую спираль электроплитки пролили воду. Как при этом изменилась тепловая мощность электроплитки? Ответ обосновать.

§ 32. ТОК ЧЕРЕЗ ВАКУУМ. ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВАЯ ТРУБКА



Электронная пушка – устройство для формирования электронного пучка. Содержит источник электронов, ускоряющий электрод, а также другие электроды...

Энциклопедический словарь «Электроника»

Вам известно, что электрический ток – это направленное движение заряженных частиц.

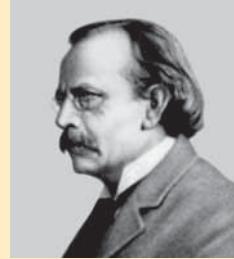
Что такое вакуум. Представим, что в баллоне находится газ. Молекулы газа беспорядочно движутся, непрерывно сталкиваясь между собой и ударяя о стенки баллона. Откачаем часть газа. Молекул станет меньше, они реже станут сталкиваться, пролетая от столкновения до столкновения большее расстояние. Продолжим откачивать газ. В итоге газа в баллоне останется так мало, что молекулы будут пролетать от одной стенки сосуда до другой без столкновений друг с другом. Такое состояние газа в баллоне называют **вакуумом**.

Вакуум – это состояние крайне разреженного газа при давлении, существенно меньшем атмосферного. Каким же образом в вакууме, точнее – через вакуум, может существовать ток? Каким образом возникает движение заряженных частиц через пустоту?

Термоэлектронная эмиссия¹. В 1883 году знаменитый американский изобретатель Т.А. Эдисон, работая над усовершенствованием лампы накаливания, обнаружил интересное физическое явление.

¹ Эмиссия – испускание.

Джозеф Джон Томсон (1856–1940). Выдающийся английский физик, основатель научной школы, лауреат Нобелевской премии. Исследовал прохождение электрического тока через разреженные газы. Открыл электрон и определил его заряд. Один из создателей теории электронной проводимости металлов.



Оказывается, если в лампу ввести дополнительный электрод (рис. 153), то между накалённой нитью и дополнительным электродом протекает ток даже в том случае, когда воздух из баллона выкачан. Какие же заряженные частицы создают электрический ток в пустоте?

Ответ на этот вопрос был дан в 1897 году выдающимся английским физиком Дж.Дж. Томсоном. Им была открыта отрицательно заряженная частица, входящая в состав любого атома, – **электрон**. Электрон – очень лёгкая частица, его масса почти в 2000 раз меньше массы самого лёгкого атома – атома водорода. При нагревании металлов, например электрическим током, энергия теплового движения свободных электронов увеличивается настолько, что происходит испарение электронов из металлов.

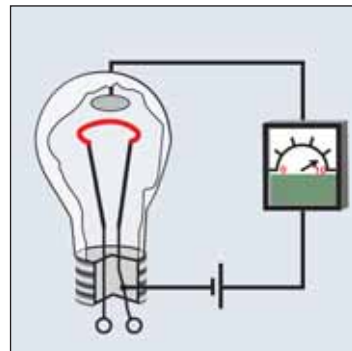


Рис. 153

Явление испускания электронов металлом, нагретым до высокой температуры, получило название термоэлектронной эмиссии.

Именно термоэлектронной эмиссией объясняется физический эффект, обнаруженный Эдисоном (и оставшийся для него загадкой).

Электронно-лучевая трубка. Явление термоэлектронной эмиссии лежит в основе устройства *электронно-лучевой трубки*, используемой в осциллографах¹, а также телевизорах и мониторах компьютеров. Осциллограф – прибор для наблюдения зависимостей между переменными электрическими величинами на экране прибора.

¹ От латинского *осцилло* – качаюсь и греческого *графо* – пишу. Осциллограф – измерительный прибор, на экране которого можно наблюдать зависимость переменной электрической величины от времени в виде графика.

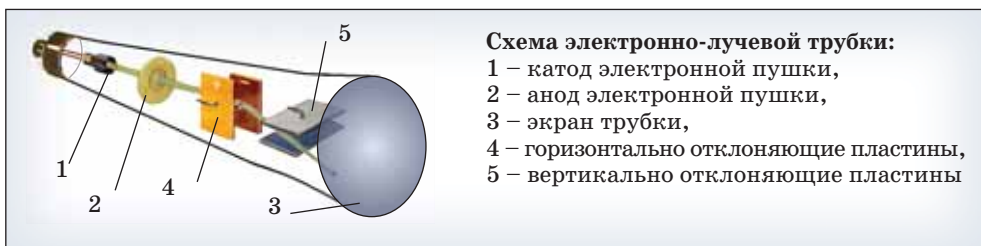


Схема электронно-лучевой трубки:

- 1 – катод электронной пушки,
- 2 – анод электронной пушки,
- 3 – экран трубки,
- 4 – горизонтально отклоняющие пластины,
- 5 – вертикально отклоняющие пластины

Рис. 154

Электронно-лучевая трубка (рис. 154) представляет собой вакуумную колбу вытянутой формы. В узкой горловине трубки располагается *электронная пушка* – источник быстрых электронов.

Благодаря явлению термоэлектронной эмиссии электроны испаряются с металлического катода 1. Электрическое напряжение между *катодом 1* (отрицательно заряженный электрод) и *анодом 2* (положительно заряженный электрод) составляет тысячи вольт. Отрицательно заряженные частицы – электроны, испарившиеся с катода, разгоняются электрическим полем до очень высокой скорости. Анод, как правило, состоит из нескольких частей. Их расположение и форма подбираются так, чтобы электроны не только ускорились, но и образовали узкий пучок – электронный луч. После вылета из электронной пушки через отверстие в аноде электроны летят по инерции и ударяют в *экран трубки 3*. Экран изнутри покрыт специальным веществом – люминофором¹. Энергия, сообщённая люминофору электронами при ударе, вызывает его свечение. В зависимости от химического состава свечение люминофоров имеет разный цвет – зелёный, красный, синий.

На пути к экрану электроны пролетают между двумя парами пластин. Эти вертикально расположенные *пластины 4* и горизонтально расположенные *пластины 5* называют *управляющими пластинами*. Почему? Представьте, что на пластины 4 подано напряжение от какого-нибудь источника. Тогда между пластинами будет создано электрическое поле (подобное электрическому полю заряженного конденсатора). На электроны, летящие между пластинами, будет действовать электрическое поле, и электроны сместятся влево или вправо в горизонтальном направлении.



32.1. В каком направлении – вертикальном или горизонтальном – будет отклоняться электронный луч, если подать напряжение на пластины 5 (рис. 154)?

¹ От латинского *люмен* – свет и греческого *форос* – несущий.

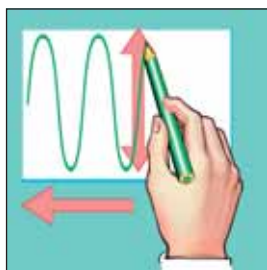


Рис. 155

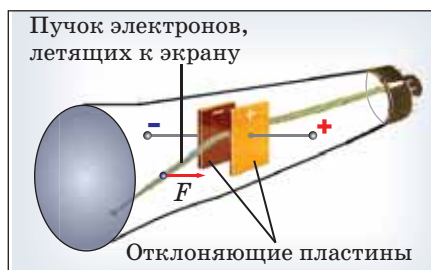


Рис. 156

Проведите опыт. Карандашом двигайте по листу бумаги вверх и вниз, оставляя на бумаге вертикальный след. Попросите кого-нибудь одновременно потянуть лист в горизонтальном направлении. На бумаге останется след карандаша, отражающий движение руки в различные моменты времени (рис. 155).

Подобное явление происходит и в электронно-лучевой трубке. Пусть на горизонтальные пластины 5 электронно-лучевой трубки (рис. 154) подано некоторое исследуемое напряжение. Оно создаст электрическое поле между пластинами, которое отклонит поток электронов в вертикальном направлении. Таким образом «электронный карандаш» будет двигаться вверх или вниз.

Теперь ещё нужна «электронная рука», передвигающая луч по экрану осциллографа. Для этого на вертикальные пластины 4 электронно-лучевой трубки (рис. 154) подаётся напряжение, специально вырабатываемое в приборе – осциллографе. Это напряжение не постоянное; оно с течением времени постепенно увеличивается. Так как напряжение увеличивается, то увеличивается и электрическое поле между пластинами. Следовательно, на пролетающие электроны с течением времени действует всё большая сила F (рис. 156). Электроны будут всё больше и больше сдвигаться в горизонтальном направлении. Поэтому светящаяся точка на экране осциллографа будет всё больше и больше смещаться в горизонтальном направлении. Когда же электронный луч достигает края экрана, то напряжение уменьшается до нуля – электронный луч возвращается в первоначальное положение. Такой процесс сдвига луча периодически повторяется. В итоге электронный луч движется вверх-вниз и одновременно сдвигается вправо по экрану прибора.

Что же будет наблюдать экспериментатор на экране прибора, подключив исследуемое напряжение к горизонтальным пластинам электронно-лучевой трубки? Светящаяся точка на экране электронно-лучевой трубки «прочертит» график зависимости исследуемого напряжения от времени. При этом можно провести необходимые измерения

или сфотографировать полученное изображение. Осциллограф находит самое широкое применение при исследовании электрических цепей и электрических величин.

Телевидение. Электронно-лучевая трубка используется и в телевизионном приёмнике (телевизоре). Как осуществляется телевизионная передача? Как происходит передача видимой «картинки» на расстояние в тысячи километров? Это сложный технический процесс, но его принципы¹ вам должны быть понятны. На телевизионной станции отдельные элементы изображения преобразуются в электрический ток. Этот электрический ток «управляет» радиоволнами, излучаемыми телецентром, «усиливая» или «ослабляя» их. Тем самым в радиоволнах «зашифровывается» информация о световом изображении – видимой «картинке». Радиоволны, достигнув приёмной антенны телевизора, вызывают в ней ток. Этот ток усиливает или ослабляет электронный луч, ударяющийся в экран электронно-лучевой трубки телевизора – кинескопа. Система управления движением электронного луча по экрану кинескопа особая – в ней использованы электромагниты. В результате электронный луч десятки раз в секунду пробегает по сотням строчек экрана. Всякий раз точки на экране светятся ярче или слабее в зависимости от мощности электронного луча.

В итоге из отдельных светящихся точек на экране телевизора возникает та же «картинка», которая и была «зашифрована» в радиоволне. Так с помощью радиоволн осуществляется телепередача – передача видимого изображения. «Картинки» на экране телевизора сменяют одна другую не реже, чем 50 раз в секунду, что воспринимается глазом человека как непрерывное изображение.

При организации цветной телепередачи радиоволны «приносят информацию» не об одном изображении, а о трёх изображениях. Одно изображение – в красном цвете, второе – в синем цвете и третье – в зелёном цвете. Экран кинескопа телевизора цветного изображения покрыт кристалликами люминофора трёх сортов. Одни кристаллы под воздействием электронного пучка светят красным светом, другие – синим, третьи – зелёным. В таком кинескопе имеется не одна, а три электронных пушки, и в экран ударяет не один, а три электронных луча. Каждый электронный луч «пробегает» только по «своим» кристаллам, вызывая их свечение. В итоге при смешении цветов возникают все оттенки цветной «картинки», а смешение красного, синего и зелёного цветов воспринимается глазом как белый свет.

¹ Принцип – основное, исходное положение какой-либо теории, учения.

Чтобы вы получили представление о сложности устройства кинескопа цветного телевизора, приведём только один пример. На экране кинескопа размещают 500 000 (полмиллиона!) «красно-сине-зелёных троек» кристаллов. Каждый из кристаллов должен находиться в строго определённом месте на экране, чтобы электронный луч мог попасть именно на нужный кристалл и вызвать свечение необходимого цвета.



В настоящее время помимо кинескопов для получения изображения используют и другие типы приборов. Они являются основой плазменных и жидкокристаллических телевизоров.

Панель плазменного телевизора состоит из миллиона ячеек, наполненных разреженным газом. На ячейки подаётся напряжение, вызывающее электрические разряды в газе. Разряды воздействуют на люминофоры, находящиеся в ячейке, и вызывают их свечение. При этом смена изображения на экране телевизора происходит чаще, чем 500 раз в секунду, и человеческий глаз не замечает мерцания экрана.

В отличие от кинескопов и плазменных панелей ячейки экрана жидкокристаллического телевизора сами свет не излучают. В телевизоре имеется специальная лампа подсветки. На пути света от лампы располагаются ячейки с кристаллическим веществом. На эти ячейки подаётся электрическое напряжение, и в зависимости от величины напряжения ячейки или пропускают, или не пропускают свет. Изменение напряжения на ячейках приводит к смене «картинки» на экране.

Вакуум, термоэлектронная эмиссия, ток через вакуум, электронно-лучевая трубка, Дж.Дж. Томсон, управление электронным лучом в электронно-лучевой трубке, телевидение.

32.1 ● Каково направление электрического тока в электронно-лучевой трубке (рис. 156)? Ответ обосновать.

32.2 ● В телевизионно-лучевой трубке (кинескопе) расстояние от электронной пушки до экрана составляет 30 см. С какой скоростью электроны вылетают из пушки, если это расстояние они проходят за 0,004 мкс? Сравните скорость электронов со скоростью света (300 000 км/с).

32.3 ● Пусть на горизонтально расположенные пластины электронно-лучевой трубки (рис. 154) подано напряжение. В каком направлении сместится электронный луч в трубке, если анод источника будет подключён к нижней пластине?

32.4 ● Каким напряжением ускоряются электроны в электронной пушке, используемой в установке для сварки сверхчистых металлов, если мощность электронного пучка 400 кВт, а сила тока 8 А?

32.5 ● С какой скоростью смещается электронный луч по экрану кинескопа телевизора? Ширина экрана телевизора 50 см. (Учесть, что отдельное изображение на экране кинескопа содержит 625 строк и за секунду каждая строка повторяется 25 раз.)

§ 33. ТОК В ГАЗАХ



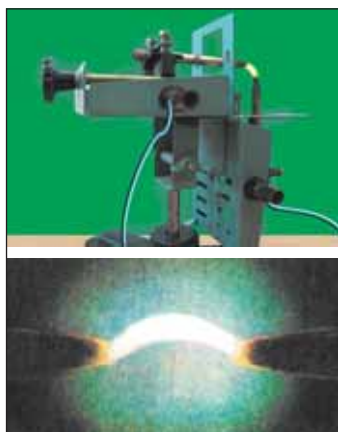
Гроза бьёт по высокому дереву.

Русская пословица

Вы уже знаете, при каких условиях существует электрический ток.

Электрический ток протекает не только в металлических проводниках, но возможен и в газах. **Электрический ток в газах называют газовым разрядом.** Обычно газы, в том числе и воздух, хорошие изоляторы. При каких же условиях возникнет газовый разряд? Необходимо, чтобы в газе было создано электрическое поле и существовали свободные заряженные частицы. Свободные электроны, отрицательные и положительные ионы образуются в газах по различным физическим причинам. Поэтому возможны различные виды газового разряда.

Дуговой разряд. В электрическую цепь напряжением около 50 В включают два угольных стержня и прикасаются ими друг к другу. Стержни, ввиду их неровности, будут контактировать друг с другом *только в отдельных точках*, поэтому электрическое сопротивление контакта будет велико. Из-за большого сопротивления на контакте выделяется значительное количество теплоты. Концы угольных стержней разогреваются до такой степени, что возникает **термоэлектронная эмиссия.**



33.1. В чём заключается явление термоэлектронной эмиссии?

Если затем угольные стержни разомкнуть, создав между ними воздушный зазор, то ток благодаря термоэлектронной эмиссии не прекратится. Так возникает газовый разряд, называемый *электрической дугой* (рис. 157). Сила тока достигает сотен ампер, температура $7000\text{ }^{\circ}\text{C}$, поэтому дуговой разряд является мощным источником света и тепла.

Рис. 157

При такой температуре кинетическая энергия атомов газа так велика, что при столкновениях атомы теряют электроны, превращаясь в положительные ионы. Таким образом, газовый промежуток между угольными электродами электрической дуги заполнен смесью заряженных частиц – электронов и ионов (ионизированным газом).

Электрическая дуга широко применяется на практике, например, для осуществления сварки металлов (рис. 158), для плавления металлов в электропечах. Впервые электрическая дуга была получена русским физиком В.В. Петровым в 1802 году.



Рис. 158

Искровой разряд. Если мощность источника тока недостаточна для поддержания дугового разряда, в воздухе может проходить искровой разряд. Как, например, возникает *гигантский искровой разряд в атмосфере – молния*? При обычных условиях воздух почти полностью состоит из нейтральных молекул и атомов, поэтому является изолятором. Только малая часть атомов в воздухе ионизирована – разделена на положительные ионы и свободные электроны. За счёт движения (конвекции) воздуха его отдельные слои электризуются. Напряжение между облаком и поверхностью земли может достигать миллиарда вольт. При таком высоком напряжении свободные электроны, разгоняясь электрическим полем, при столкновении с атомом или молекулой вызывают их ионизацию – выбивают из атома электрон. И вот уже два электрона, разгоняясь, ионизируют газ. Возникает четыре, затем восемь, шестнадцать и так далее электронов. *Процесс ударной ионизации газа и нарастания числа свободных электронов называют электронной лавиной.* В результате в воздухе возникают «каналы», наполненные ионизированным газом. Объединение этих каналов приводит к уменьшению сопротивления и, значит, к нарастанию тока. При прохождении тока воздух разогревается, его давление растёт, возникают колебания воздуха – «треск искры» – гром.

После прохождения тока разряд прекращается, пока вновь сильное электрическое поле не разгонит электроны в лавины.

Удары молний представляют опасность для строений, линий электропередачи, могут вызвать пожар. Опасны молнии и для людей, особенно если во время дождя они будут находиться под высоким, одиноко стоящим деревом, укрываться в копне сена или купаться в водоёме.



Рис. 159

Для защиты от молнии устраивают *молниеотвод*. На мачту или высокую трубу крепится металлический стержень, который толстым проводом соединён с металлическим предметом, закопанным глубоко в землю, во влажный грунт (рис. 159).

Как говорят, молниеотвод заземляют. Общее сопротивление устройства не должно превышать 10 Ом. Ясно, что если вблизи защищённого молниеотводом сооружения возникнет молния, то

электрический разряд пройдёт по «пути наименьшего сопротивления» – через молниеотвод в землю и не причинит вреда сооружению.

Искровой разряд применяется в технике, например в системе зажигания автомобиля.

Коронный разряд. В одном из произведений великого немецкого поэта Гёте есть такие строки:

«Но странно! Копий острия
Покрылись белыми огнями.
Над каждым кончиком копья
Взметнулось маленькое пламя».

Оказывается, в этих строках в поэтической форме описывается ещё один вид газового разряда – *коронный разряд*.

Как же возникает коронный разряд? Если металлическому предмету сообщён электрический заряд, то в окружающем пространстве будет существовать электрическое поле. Электрическое поле тем больше, чем больше зарядов находится на поверхности проводника. Если проводник имеет шарообразную форму, то заряды по его поверхности распределяются равномерно. Электрическое поле вокруг проводника на одном и том же расстоянии от проводника везде одинаково (рис. 160, а).

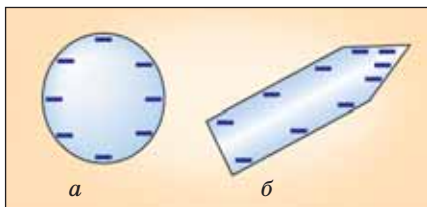


Рис. 160



Рис. 161. Коронный разряд на проводах линии электропередачи

Если же металлический проводник имеет остриё, то на маленькой поверхности острия заряды будут располагаться плотно друг к другу (рис. 160, б). В итоге вокруг острия возникает очень сильное электрическое поле. В воздухе в небольшом количестве имеются свободные заряженные частицы – ионы и электроны. Электрическое поле разгоняет эти частицы, они приобретают значительную энергию. При столкновении таких «энергичных» частиц с нейтральными атомами происходит ионизация атомов – возникают электронные лавины. Часть же атомов, получив избыток энергии, излучает её в виде света (рис. 161).

Коронный разряд приводит к значительной потере электрической энергии в высоковольтных линиях электропередачи (до 100 тыс. ватт на одном километре). В промышленности коронный разряд используют для очистки воздуха. На дымовых трубах устанавливают электрофильтры. В них производят коронный разряд, и электрически заряженные частицы дыма притягиваются к фильтру, не попадая в атмосферу.

Тлеющий разряд. Пронаблюдаем тлеющий разряд на опыте. Возьмём стеклянную трубку с двумя электродами, подключим её к источнику тока (рис. 162). При атмосферном давлении тока нет. При помощи насоса откачаем часть воздуха. В разреженном газе возникает тлеющий разряд, наблюдается свечение газа.

Дуговой, искровой и коронный разряды происходят при давлении, равном атмосферному. *Тлеющий разряд* возникает при пониженном давлении газа меньшем атмосферного давления в тысячи и более раз. Почему необходимо столь низкое давление газа? Напряжение при тлеющем разряде составляет несколько тысяч вольт. В отличие от искрового или коронного разрядов в газе не создаётся сверхсильное электрическое поле. Для возникновения разряда нужно, чтобы первоначально имевшиеся в газе свободные электроны приобрели значительную кинетическую энергию. Ведь энергии электрона, ускоренного электрическим полем, должно быть достаточно для ионизации нейтрального атома. Только в этом случае возможно возникновение электронной лавины и прохождение тока через газ.

Если газ находится при атмосферном давлении, то свободный электрон, разгоняемый электрическим полем, почти сразу же «натывается» на атом.



Рис. 162

Слабое электрическое поле не успевает в этом случае разогнать электрон, сообщить ему энергию, достаточную для ионизации газа. Совсем другое дело, если газ разрежен. Тогда свободный электрон пролетает до столкновения с атомом в десятки тысяч раз большее расстояние. Электрическое поле успевает сообщить электрону кинетическую энергию, достаточную для ионизации газа и возникновения газового разряда.

Явление свечения газа при тлеющем разряде широко применяется на практике. Свечение различных газов отличается по цвету. Привычные для нас разноцветные огни рекламы – это, чаще всего, разряд газа при пониженном давлении. Используется тлеющий разряд и в люминесцентных лампах (лампах дневного света). В таких лампах происходит разряд в парах ртути.

Газовый разряд, природа тока в газах, дуговой, искровой, коронный, тлеющий разряды, электрическая дуга, молния, молниеотвод, электронная лавина.

33.1 ● Заполните таблицу сравнения различных видов газового разряда.

Название разряда	Напряжение, необходимое для прохождения разряда	Давление газа при разряде	Основной механизм образования свободных носителей заряда	Примеры применения разряда на практике

33.2 ● На рисунке 163 приведена вольт-амперная зависимость (то есть зависимость силы тока от напряжения) для газового разряда. Выполняется ли при газовом разряде закон Ома? Ответ обосновать.

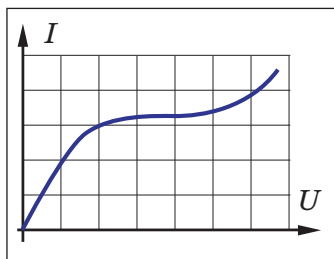


Рис. 163

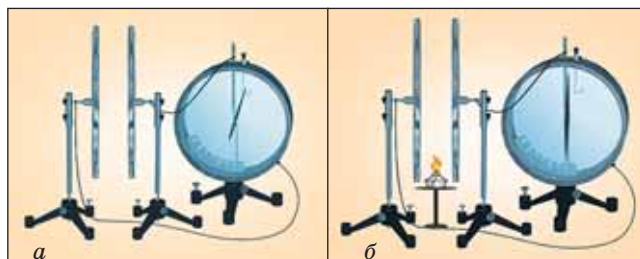


Рис. 164

33.3 ● Электрическая мощность дуги составляет 1,5 кВт. Какова сила тока в дуге, если она включена в электрическую цепь при напряжении 50 В?

33.4 ● Экспериментатор наблюдает тлеющий разряд в азоте. С какой силой электрическое поле действует на свободные электроны, если средняя длина свободного пробега 5 мкм? Энергия ионизации молекул азота $2,5 \cdot 10^{-18}$ Дж.

33.5 ● Если пластины плоского конденсатора подсоединить к электрометру и зарядить конденсатор, то в сухом чистом помещении конденсатор продолжительное время сохраняет заряд; стрелка электрометра при этом отклонена от вертикали (рис. 164, а). Почему?

Если же между пластинами конденсатора поместить горящую спиртовку, то конденсатор практически сразу разряжается; стрелка электрометра принимает вертикальное положение (рис. 164, б). Почему?

§ 34. ТОК В ЭЛЕКТРОЛИТАХ



Мировое производство алюминия в месяц превышает 2 млн тонн.

Статистические¹ данные

Вам уже известно, что ток оказывает химическое действие.

Проводимость электролитов. Электролитом называют водный раствор соли, кислоты или основания.

Проведем опыт. Металлические или угольные электроды соединим последовательно с электрической лампой и подключим к источнику тока. Опустим электроды в чистую (дистиллированную) воду (рис. 165, а). Лампа светиться не будет, тока в цепи нет. Насухо вытрем электроды и опустим их в поваренную соль. Тока в цепи вновь нет. Опыт показывает, что и дистиллированная вода, и поваренная соль являются изоляторами. Почему? В веществе нет свободных электрически заряженных частиц, которые под действием электрического поля могли бы перемещаться и создавать ток.

¹ Статистика – получение, обработка, анализ и публикация информации, характеризующей закономерности жизни общества.

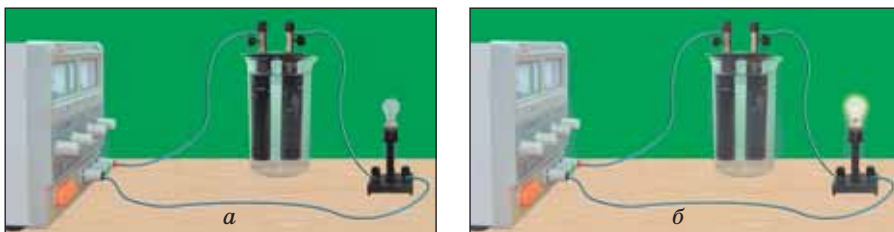


Рис. 165

Растворим поваренную соль в воде (рис. 165, б). Лампочка вспыхивает – в цепи появился электрический ток. Каким же образом при растворении соли возникают свободные заряженные частицы, создающие ток?



34.1. Каково строение молекулы воды?

Вспомним, что в состав молекулы воды входят два атома водорода и один атом кислорода. Расположение атомов кислорода и водорода в молекуле изображено на рисунке 166, а. При взаимодействии атомов в молекуле воды единственный электрон в атоме водорода смещён (сдвинут) в сторону атома кислорода. Молекулу воды образно можно представить как заряженную «гантельку», одна часть которой имеет положительный заряд, а другая часть – отрицательный заряд (рис. 166, б).

Поместим в воду поваренную соль или медный купорос (рис. 167, а, б). Заряженные «гантельки» – молекулы воды – «атакуют» кристаллики соли. Сильное электрическое поле молекул воды «разрывает» соль на отдельные заряженные частицы. В итоге в водном растворе солей, а также кислот и оснований возникает «смесь» положительно и отрицательно заряженных частиц – ионов.

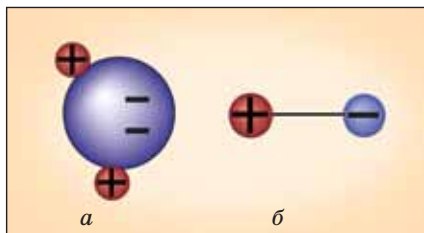


Рис. 166

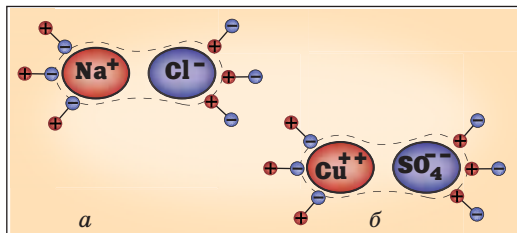


Рис. 167

Если теперь с помощью источника тока создать электрическое поле, то свободные ионы придут в направленное движение, возникнет электрический ток. Проводимость электролитов – ионная. Именно массивные заряженные частицы – положительные и отрицательные ионы – создают электрический ток в водных растворах солей, кислот и оснований (электролитах).



34.2. Что в дальнейшем происходит с ионами при их «путешествии» по электролиту?

К примеру, при прохождении тока в водном растворе медного купороса ионы меди достигают катода (отрицательного электрода). На катоде они приобретают недостающие им два электрона и так превращаются в нейтральные атомы меди и оседают на катоде.

Теперь нам ясно, в чём заключается химическое действие тока и почему оно приводит к выделению вещества на электродах.



Электролиз. Электролизом называется процесс выделения вещества при прохождении тока через электролиты. Процесс электролиза имеет важное практическое значение. При помощи электролиза различные изделия покрывают тонкими металлическими плёнками (хромирование, никелирование деталей), что улучшает их внешний вид и предохраняет от коррозии¹. Именно в процессе электролиза получают чистую (рафинированную) медь, которая широко применяется в электротехнике. (Почему?) Такой металл, как алюминий, также получают в процессе электролиза.

В наше время без алюминия и его сплавов невозможно представить современную промышленность. Металл применяют в авиационной и ракетной технике, в электротехнике, в пищевой и медицинской промышленности. Более широкое применение, чем алюминий, имеет только железо. Но если железо используется человечеством с начала первого тысячелетия до нашей эры, то алюминий в свободном состоянии был получен менее двух веков тому назад (в 1825 году). Еще в 1855 году на Всемирной выставке в Париже ювелирные изделия из алюминия демонстрировали как сенсацию. Только в конце XIX века был разработан относительно дешёвый и простой способ получения алюминия путём электролиза. В настоящее время электролиз проводят при силе тока в 100 000 А и напряжении 5 В. Для получения одной тонны алюминия тратится 13–17 тыс. киловатт-часов электроэнергии². Поэтому процесс получения алюминия экономически выгоден только при наличии недорогой электроэнергии.

¹ Коррозия – разрушение поверхности металлов, вызванное химическими процессами при взаимодействии с окружающей средой.

² Такого количества энергии достаточно, например, для того, чтобы 10 тонн холодной воды нагреть до температуры кипения.

Электролит, природа тока в электролитах, электролиз.

34.1 ● Объясните результаты опыта. После того как в дистиллированную воду (рис. 165, а) добавили несколько капель кислоты, электрическая лампа начала ярко светиться.

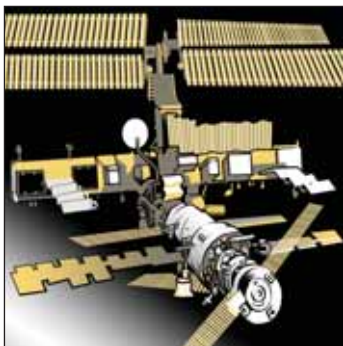
34.2 ● Почему при нагревании электролита его сопротивление уменьшается?

34.3 ● Используя данные, приведенные в § 34, определите мощность тока при промышленном получении алюминия. За какое время будет получена 1 т алюминия при данной мощности тока?

34.4 ● В 1833–1834 годах знаменитый английский физик М. Фарадей экспериментально установил законы электролиза. Один из его законов утверждает, что масса вещества, выделившегося при электролизе, прямо пропорциональна электрическому заряду, прошедшему по цепи. Как обосновать данный закон, исходя из современных представлений о механизме проводимости электролитов?

34.5 ● Российским учёным Б.С. Якоби в 40-х годах XIX века был разработан метод гальванопластики. Гальванопластика – получение точных отслаиваемых металлических копий каких-либо изделий путём электролиза. Как, по вашему мнению, осуществляется получение таких копий?

§ 35. ПОЛУПРОВОДНИКИ



С помощью полупроводников будут разрешены такие фундаментальные задачи, как прямое превращение тепла и солнечной энергии в электрическую.

*А.Ф. Иоффе (1880–1960),
один из первых исследователей полупроводников*

Вам уже известно, что кроме проводников и изоляторов существуют вещества с промежуточными свойствами – полупроводники.

Особый тип веществ. Некоторые металлы, их окислы и сплавы являются полупроводниковыми веществами. Полупроводники – одни из наиболее распространённых веществ в природе, однако до сороковых годов прошлого века физики не уделяли им большого внимания. Казалось бы, что практически важного может дать изучение «плохих» проводников и «неважных» изоляторов. Но проведённые исследования показали – полупроводники имеют особые свойства, отличающие их и от проводников, и от изоляторов. В итоге в наше время именно полупроводниковые материалы являются основой всей современной электроники!

Каковы же основные отличительные свойства полупроводников?
Во-первых, сопротивление полупроводников особым образом зависит от температуры.



35.1. Как меняется сопротивление металлов при возрастании температуры?

В отличие от металлов **сопротивление полупроводников при увеличении температуры уменьшается** (рис. 168). Это свойство полупроводников используется в приборе терморезисторе (термисторе).

Соберём электрическую цепь из источника тока, амперметра и терморезистора (рис. 169). Замкнём цепь. Стрелка амперметра отклонится незначительно.



35.2. От чего зависит сила тока в участке электрической цепи?

Поднесём к термистору зажжённую спиртовку – мы обнаруживаем, что сила тока увеличивается в несколько раз.

Следовательно, во столько же раз при нагревании уменьшается сопротивление термистора. Термисторы применяют для измерения температуры. (Интервал измеряемых температур от $-260\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $+1100\text{ }^{\circ}\text{C}$.) Также термисторы используют в устройствах противопожарной сигнализации.

Во-вторых, ещё одно интересное свойство полупроводников – зависимость их сопротивления от освещённости. При освещении сопротивление полупроводников уменьшается. Это свойство полупроводников используется в приборе фоторезисторе (рис. 170).

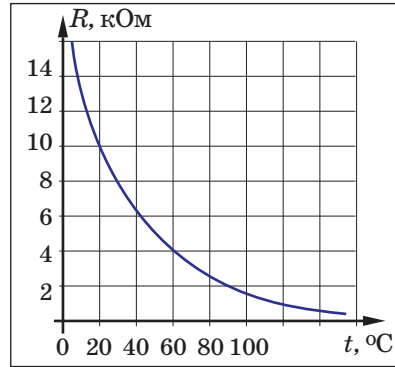


Рис. 168. Зависимость сопротивления R полупроводникового прибора термистора от температуры t



Рис. 169

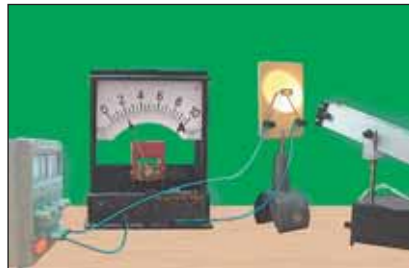


Рис. 170

Вновь соберём электрическую цепь, подключив к источнику тока амперметр и фоторезистор. Стрелка амперметра практически не отклоняется. Но стоит направить на фоторезистор свет от лампы, как сила тока в цепи многократно возрастёт. Следовательно, **сопротивление полупроводникового фоторезистора уменьшается при его освещении**. Фоторезисторы применяют в приборах для измерения световой энергии, в различных устройствах автоматики¹, которые приходят в действие при изменении освещения.

Проводимость полупроводников. Особые свойства полупроводников объясняются особенностями их внутреннего строения. Полупроводники – кристаллические вещества. Но полупроводниковые кристаллы отличаются от таких металлов, как, например, серебро, медь, алюминий, железо, которые являются проводниками и обладают малым удельным сопротивлением. Почему? Вы знаете, что при образовании кристаллической решётки в этих металлах каждый атом теряет по одному-два электрона. Поэтому такого рода металлы обладают высокой электронной проводимостью. Совсем иным образом обстоит дело в полупроводниках. Учёными установлено, что в полупроводниках (например, в германии²) при комнатной температуре лишь один из полутора миллиардов атомов «расстаётся» с одним из своих электронов. Число свободных электронов невелико, а значит, сопротивление полупроводника значительно. Если внутреннюю энергию полупроводника увеличить путём нагревания или при освещении, то уже большая часть электронов покинет атомы и сможет свободно «блуждать» по всему кристаллу полупроводника. Теперь понятно, по какой причине сопротивление полупроводника уменьшается с ростом его температуры или при его освещении.

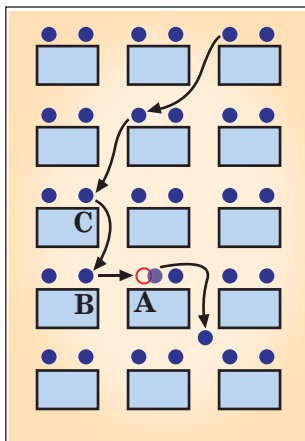


Рис. 171

Но кроме *электронной проводимости*, обусловленной движением свободных электронов, у полупроводников есть ещё один вид проводимости. Этот особый вид проводимости называют *дырочной проводимостью*, такой вид проводимости характерен для полупроводников.

Чтобы понять, в чём заключается дырочная проводимость, обратимся к образному сравнению. Представьте школьный кабинет, в котором находятся ученики (рис. 171).

¹ Автоматическое устройство действует без вмешательства человека.

² Германий – химический элемент IV группы таблицы Менделеева.

Пусть кабинет – это «кристалл полупроводника», парты – «атомы, узлы кристаллической решётки», а ученики за партами – «электроны, находящиеся в атомах».

Вообразим, что один из энергичных учеников смог выйти из-за парты и ходит по кабинету – «свободный электрон перемещается по всему кристаллу полупроводника». Одновременно за одной из парт появилось свободное, не занятое учеником, место. *Место в структуре полупроводника, покинутое электроном, в физике называют дыркой.* Обладает ли дырка каким-либо электрическим зарядом? На первый взгляд, вопрос странный. Но вспомните, атом электрически нейтрален, а электрон – отрицательно заряженная частица. Если электрон покинул «окрестности» атома, следовательно, образовавшаяся дырка имеет положительный заряд.

Продолжим сравнение (рис. 171). Итак, за одной из парт появилось свободное место – дырка (точка А на рис. 171). Это свободное место может занять другой ученик (точка В, переход ВА); его же место займёт ученик, совершив переход СВ, и так далее. Таким образом, ученики в классе могут перемещаться двумя способами. Первый способ – движение ученика между партами. Второй способ – переход учеников с парты за парту. Эти переходы равносильны переходу свободного места. Вместо того чтобы отмечать «перескоки» многих учеников, оказывается удобнее наблюдать за движением одного свободного места по классу.

Так и электроны в полупроводниках могут перемещаться двумя способами. *Первый способ – движение свободных электронов по всему кристаллу (электронная проводимость). Второй способ – переход электронов от атома к атому по свободным местам. Это равносильно движению положительно заряженных дырок (дырочная проводимость).*

Полупроводники обладают двумя видами проводимости – электронной проводимостью и дырочной проводимостью.

Создадим с помощью источника тока в полупроводниковом кристалле электрическое поле. Возникнет электрический ток – направленное движение свободных электронов к «плюсу» источника тока и направленное движение положительных дырок к «минусу» источника тока.

Полупроводники, зависимость сопротивления полупроводников от температуры и освещённости, терморезистор (термистор), фоторезистор, природа тока в полупроводниках (электронная проводимость, дырочная проводимость).

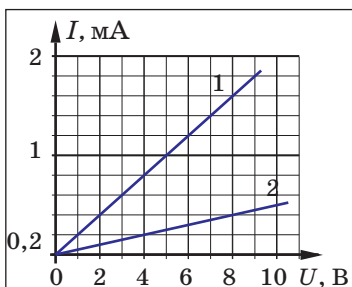
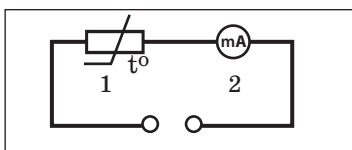


Рис. 172

Рис. 173. 1 — термистор;
2 — миллиамперметр

35.1 ● Во сколько раз уменьшилось сопротивление термистора при увеличении его температуры от 20 °С до 60 °С (рис. 168)?

35.2 ● На рисунке 172 приведены вольт-амперные характеристики фоторезистора (то есть зависимости силы тока, идущего через фоторезистор, от приложенного напряжения). Какой график относится к освещённому фоторезистору, а какой — к находящемуся в темноте? Ответ обосновать. Во сколько раз сопротивление освещённого фоторезистора меньше затемнённого?

35.3 ● Термистор подключён к источнику напряжением 3 В (рис. 173). Каково показание миллиамперметра в данной цепи, если температура термистора составляет 60 °С? Зависимость сопротивления термистора от температуры приведена на рисунке 168.

35.4 ● Фоторезистор, находящийся в темноте, соединили последовательно с резистором сопротивлением 5 кОм и подключили к источнику тока напряжением 6 В. Какова сила тока через резистор в данном случае? Вольт-амперная характеристика фоторезистора изображена на рисунке 172. Как изменится сила тока в цепи, если фоторезистор осветить?

35.5 ● Предложите схему установки для контроля прозрачности воды, текущей по трубе водоснабжения.

§ 36. ПРИМЕСНАЯ ПРОВОДИМОСТЬ ПОЛУПРОВОДНИКОВ



Дорога с односторонним движением.

Из Правил дорожного движения

Вам уже известно, что полупроводники обладают электронной и дырочной проводимостью.

Роль примеси в полупроводниках.

В предыдущем параграфе уже упоминалось, что число свободных электронов в полупроводниках мало. Столь же мало и число дырок — ведь появление одного свободного электрона приводит, очевидно, к образованию одной дырки. Таким образом, *собственная проводимость*

полупроводника невелика. Но так обстоит дело только в чистом, беспримесном полупроводнике. Если же кристалл полупроводника содержит примеси, то тогда дополнительно имеется *примесная проводимость*, которая во много раз больше собственной. Выясним, как возникает примесная проводимость.

В таких полупроводниках, как германий и кремний, взаимодействие атома с другими соседними атомами осуществляется четырьмя внешними, наиболее удалёнными от ядра, электронами. Допустим, что в кристалл германия добавлена одна десятитысячная часть процента атомов другого химического элемента, например мышьяка. Иными словами, в кристалле германия один из миллиона атомов германия заменён атомом мышьяка. Велика ли такая примесь? Конечно же, крайне мала. Это равносильно тому, что в полную бочку пресной воды мы добавили полграмма соли. В атомах мышьяка имеется не четыре, а пять внешних электронов. Четыре электрона образуют связи с окружающими атомами германия, а пятый электрон становится свободным. При таких условиях в кристалле полупроводника на каждый миллион атомов дополнительно появляется один свободный электрон. Значит, появляется 1500 свободных электронов на 1,5 миллиарда атомов германия. (Напомним, что при комнатной температуре благодаря собственной проводимости имеется только один свободный электрон на 1,5 миллиарда атомов германия.) **Таким образом, в полупроводнике даже с очень малой примесью преобладает примесная проводимость.**

Если в качестве примеси использовать атомы, имеющие пять и более внешних электронов, то образуется полупроводник с электронной проводимостью. Такой полупроводник называют *полупроводником n-типа* (читается: полупроводник эн-типа, от слова *negativ* – отрицательный).

Как изменяются свойства полупроводника, если в него внедрить в качестве примеси атомы, имеющие не четыре, а три внешних электрона? В качестве такой примеси можно использовать химический элемент индий. Три электрона индия образуют связи с окружающими атомами германия. Четвёртая же связь не завершена – возникает дырка. Образуется полупроводник с дырочной проводимостью. Такой полупроводник называют *полупроводником p-типа* (читается: полупроводник пэ-типа, от слова *positiv* – положительный).

Итак, при изучении свойств полупроводниковых материалов учёные-физики обнаружили, что крайне незначительные (микроскопические) примеси полностью меняют характер проводимости полупроводников.

В зависимости от вида примеси полупроводник обладает либо электронной (n-типа), либо дырочной (p-типа) проводимостью.



Р-п-переход.



36.1. В чём заключается явление диффузии?

Если соединить (сплавить) два полупроводника с разными примесями, а значит, и с разной проводимостью, то образуется так называемый р-п-переход (рис. 174, а). Какие физические процессы происходят на р-п-переходе?

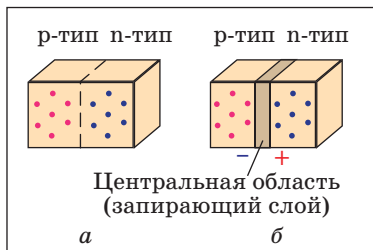


Рис. 174

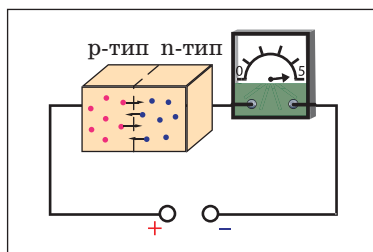


Рис. 175

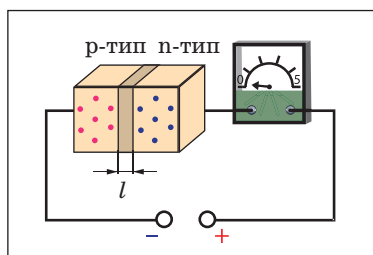


Рис. 176

Во-первых, происходит диффузия заряженных частиц. Электроны перемещаются из п-области (где их много) в р-область (где их мало). Дырки перемещаются из р-области (где их много) в п-область (где их мало). В итоге в области р-п-перехода возникает своеобразный конденсатор (рис. 174, б). Одна «пластина» конденсатора (в области п-типа) будет иметь положительный заряд, другая «пластина» (в области р-типа) – отрицательный заряд. Возникшее электрическое поле конденсатора препятствует дальнейшему перемещению электронов и дырок, и диффузия заряженных частиц прекращается.

Во-вторых, на р-п-переходе возникает область, в которой нет ни свободных электронов, ни дырок. Ведь электроны, перемещаясь из п-области в р-область, встречают свободные места – дырки – и заполняют их. Точно так же и дырки, перемещаясь из р-области в п-область, встречают свободные электроны. В результате *в центральной области на р-п-переходе нет свободных носителей заряда, а значит, она обладает значительным сопротивлением. Эту область называют запирающим слоем.*



36.2. Как сопротивление проводника зависит от его размеров?

Включим р-п-переход в электрическую цепь так, как показано на рисунке 175. «Плюс» батареи подключён к области р-типа, а «минус» батареи – к области п-типа. Под действием электрического поля источника тока дырки в р-области будут смещаться вправо, а электроны из п-области будут смещаться влево.

Это приведёт к уменьшению толщины запирающего слоя или к полному его исчезновению. В этом случае сопротивление р-п-перехода будет мало, а, следовательно, сила тока через р-п-переход велика.

Включим р-п-переход в электрическую цепь иным образом, как это показано на рисунке 176. «Минус» батареи теперь подключён к области р-типа, а «плюс» батареи – к области n-типа. Теперь электрическое поле источника тока «оттягивает» заряды от запирающего слоя. Дырки в р-области смещаются влево, а электроны в n-области смещаются вправо.

Таким образом, центральная область р-п-перехода, в которой нет свободных носителей заряда, расширяется. Длина l запирающего слоя увеличивается, сопротивление р-п-перехода становится существенно больше, и сила тока через р-п-переход мала.

Свойство р-п-перехода обладать различным сопротивлением в «прямом» и «обратном» направлениях широко используется в радиоэлектронике.

Полупроводниковый диод. Ознакомимся с устройством одного из первых и самых простых полупроводниковых приборов – диода (рис. 177). В диоде использован р-п-переход – область соединения «разнопримесных» полупроводников р-типа и n-типа. Основная часть прибора – это кристалл германия n-типа. В кристалл вплавляют примесь – индий. В результате эта часть кристалла приобретает дырочную проводимость и становится полупроводником р-типа. Так между германием n-типа и германием р-типа возникает область р-п-перехода.

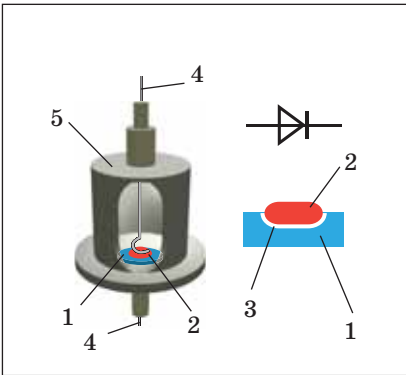


Рис. 177.

1 – кристалл германия n-типа,
2 – кристалл германия p-типа,
3 – р-п-переход,
4 – контакты,
5 – корпус

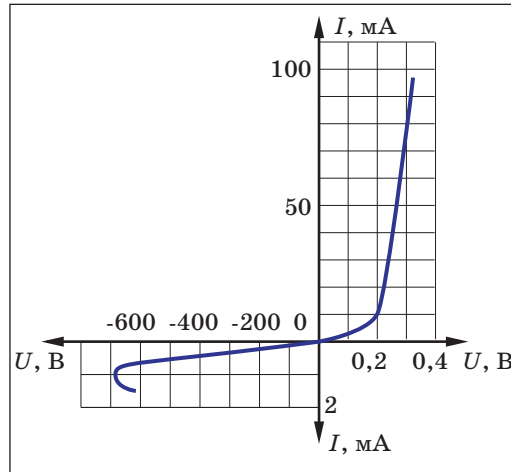


Рис. 178

Какова основная особенность р-п-перехода, а значит, и полупроводникового диода? Оказывается, если включить диод в электрическую цепь так, как показано на рисунке 179, а, то сила тока через диод будет значительна. Если же включить диод в электрическую цепь так, как показано на рисунке 179, б, то сила тока через диод будет в сотни и тысячи раз меньше. Иными словами, в одном, «прямом» направлении ток через диод проходит. В другом, «обратном» направлении тока через диод нет.

Основное свойство р-п-перехода – это односторонняя проводимость.

Вольт-амперная характеристика диода (зависимость силы тока через диод от приложенного к нему напряжения) изображена на рисунке 178. Правая ветвь графика соответствует «прямому» прохождению тока, левая – «обратному» току.

Практическая работа «Изучение характера проводимости диода».

Оборудование: диод полупроводниковый, низковольтная лампа, амперметр, источник тока, ключ, соединительные провода.

Указания к работе



Задание 1. Соберите электрическую цепь, схема которой изображена на рисунке 179, а. Замкните ключ. Убедитесь, что диод «пропускает» ток в «прямом» направлении. Измерьте силу тока.



Задание 2. Соберите электрическую цепь, схема которой изображена на рисунке 179, б. Замкните цепь. Убедитесь, что диод «не пропускает» ток в «обратном» направлении. Используя дополнительный проводник, проверьте, что собранная вами электрическая цепь исправна. Проверьте, что отсутствие тока в ней действительно обусловлено значительным сопротивлением диода в «обратном» направлении.

Сделайте вывод о характере проводимости диода и величине его электрического сопротивления в «прямом» и «обратном» направлениях.

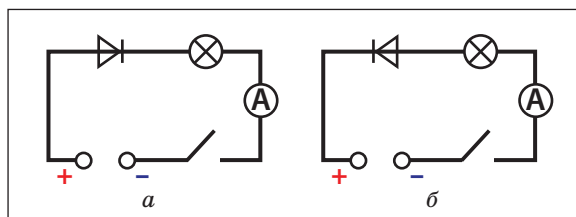


Рис. 179

Собственная и примесная проводимость полупроводников, полупроводник n-типа (с электронной проводимостью), полупроводник p-типа (с дырочной проводимостью), односторонняя проводимость p-n-перехода, физические процессы, обуславливающие одностороннюю проводимость p-n-перехода, устройство полупроводникового диода, вольт-амперная характеристика диода.

36.1 ● Для создания примесной проводимости определённого типа в полупроводниковой технике часто применяют такие химические элементы, как фосфор P (5), галлий Ga (3), мышьяк As (5), индий In (3), сурьма Sb (5). Какие из этих элементов можно ввести в качестве примеси в германий, чтобы получить электронную проводимость? дырочную проводимость? Ответ обосновать. Число в скобках после символа химического элемента указывает число внешних электронов в атоме.

36.2 ● Определите сопротивление полупроводникового диода в «прямом» направлении, если при напряжении на диоде 0,5 В сила тока 5 мА. Определите сопротивление в «обратном» направлении, если при напряжении 40 В сила тока 100 мкА. Во сколько раз отличаются сопротивления?

36.3 ● В физике полупроводников дырку часто называют квазичастицей (приставка квази – как будто, будто бы). Есть ли, по вашему мнению, какое-нибудь принципиальное различие между положительным ионом и положительной дыркой в полупроводниках?

36.4 ● В «чёрных ящиках» находятся гальванический элемент, конденсатор, полупроводниковый диод, резистор (рис. 180).

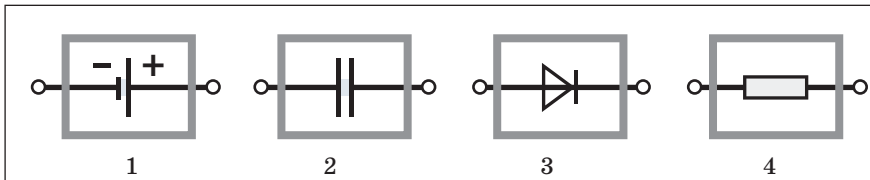


Рис. 180

Как, используя вольтметр, ключ, соединительные провода, выяснить, что находится в каждом из четырёх «чёрных ящиков»?

36.5 ● На рисунке 178 изображена вольт-амперная характеристика полупроводникового диода. Чему равно сопротивление диода при напряжении $U_1 = 0,2$ В и при напряжении $U_2 = 0,3$ В? Как объяснить, что значения сопротивления диода различны?

Самое важное в разделе «Ток в различных средах»

Среда	Свободные носители заряда	Как образуются свободные носители заряда	Примеры практического применения
Металлы	Электроны	Существуют в металлах	Проводники тока
Вакуум	Электроны	Термоэлектронная эмиссия	Электронно-лучевая трубка
Газы	Электроны и ионы	Ионизация, например образование электронной лавины	Дуговой разряд – сварка, тлеющий разряд – осветительные приборы
Электролиты	Ионы	Под действием электрического поля молекул воды	Электролиз
Полупроводники	Электроны и дырки	Собственная проводимость и за счёт примеси	Основа современной электроники

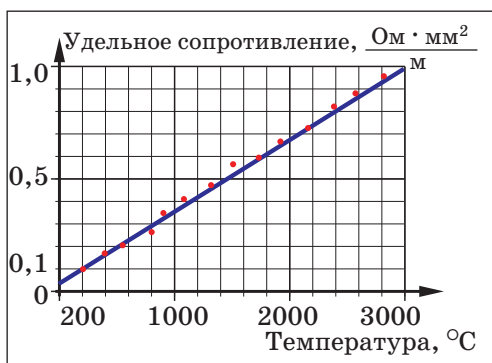


Рис. 181

го света, если мощность световой энергии, излучаемой лампой, 16 Вт при силе тока газового разряда в лампе 0,19 А. Лампа работает при напряжении 220 В.

III.4 ● Одновременно с лампой накаливания Т. А. Эдисоном был изобретён первый счётчик электрической энергии. При использовании такого счётчика контролёр Нью-Йоркской Эдисоновской компании электрического освещения ежемесячно вынимал из счётчика металлическую пластинку и взвешивал её. Каков, по вашему мнению, был принцип действия такого счётчика? (Для освещения Эдисоном применялся постоянный ток.)

III.1 ● На рисунке 181 изображён график зависимости удельного сопротивления вольфрама от температуры. Во сколько раз увеличивается сопротивление спирали лампы накаливания в рабочем состоянии по сравнению с сопротивлением при комнатной температуре? Температура спирали лампы накаливания 3000 °C.

III.2 ● Изменится ли яркость свечения экрана при увеличении напряжения между катодом и анодом в электронной пушке электронно-лучевой трубки? Ответ обосновать.

III.3 ● Определите КПД лампы дневного света, если мощность световой энергии, излучаемой лампой, 16 Вт при силе тока газового разряда в лампе 0,19 А. Лампа работает при напряжении 220 В.

III.5 ● Диод D и резистор R соединены последовательно (рис. 182). Каково должно быть напряжение источника тока, чтобы сила тока в цепи составляла 10 мА? Сопротивление резистора R равно 25 Ом. Вольт-амперная характеристика диода D приведена на рисунке 178.

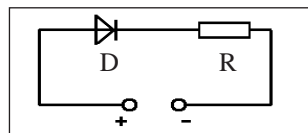


Рис. 182

P. S.



Изучив раздел, мы выяснили, каков механизм проводимости различных веществ, какое практическое применение находит ток в различных средах. Но, конечно же, в столь обширной области физики осталось ещё много «не исследованных нами земель». Окружающий современного человека мир – это мир электронных технических устройств и приборов, поэтому совершенно очевидна важность их дальнейшего изучения в старших классах.

– Вы знаете, что проводимость металлов обусловлена дрейфом свободных электронов. Но не было дано, например, *объяснение явления сверхпроводимости*.

– Вам известно устройство электронно-лучевой трубки. Но *как рассчитать движение электронного луча по экрану прибора?*

– Вам известно, что прохождение тока через газ сопровождается свечением газа. Но *почему свечение газов различно?*

– Вы знаете, что прохождение тока через растворы электролитов приводит к выделению вещества. Но *как рассчитать массу вещества, выделяющегося при электролизе?*

– Вы знаете, что полупроводниковые материалы – основа современной электроники. Но из всего многообразия полупроводниковых приборов нами изучен только диод, а *действие большинства полупроводниковых приборов не рассматривалось*.

Раздел 4. МАГНИТНЫЕ ЯВЛЕНИЯ

В этом разделе вы узнаете, что электрическое поле не единственный вид поля: поле бывает не только электрическим. Вы узнаете, что такое магнитное поле и как оно действует на движущиеся заряженные частицы и электрический ток.

Вы ознакомитесь с устройством электродвигателя, применением электромагнитов и других технических устройств.

В заключительных параграфах раздела вы узнаете о замечательном явлении взаимосвязи магнитного и электрического полей.

§ 37. Магнитное поле

Магнитное взаимодействие

Внешне – различные, по сути – одинаковые

Лабораторная работа

«Изучение взаимодействия проводника с током и магнита»

§ 38. Постоянные магниты. Магнитное поле Земли

Свойства постоянных магнитов

Лабораторная работа

«Получение “изображения” магнитного поля»

Ферромагнетики

Магнитное поле Земли

§ 39. Движение заряженной частицы в магнитном поле

Действия магнитного поля на движущуюся заряженную частицу

Масс-спектрограф

Полярное сияние

Ускорители заряженных частиц

§ 40. Действие магнитного поля на проводник с током.

Электродвигатель

Лабораторная работа «Изучение взаимодействия витка с током с магнитным полем постоянного магнита»

Действие магнитного поля на проводник с током

Электродвигатель постоянного тока

Практическая работа

«Изучение электродвигателя постоянного тока»

§ 41. Электромагниты

Лабораторная работа

«Измерение подъёмной силы электромагнита»

Применение электромагнитов

§ 42. Явление электромагнитной индукции

Возникновение тока при движении проводника в магнитном поле
Явление электромагнитной индукции

§ 43. Вихревое электрическое поле

Два источника электрического поля
Лабораторная работа
«Изучение явления электромагнитной индукции»
Закон электромагнитной индукции
Практическое применение электромагнитной индукции

Самое важное в разделе «Магнитные явления»

P.S.

§ 37. МАГНИТНОЕ ПОЛЕ



Магнитные явления вызываются исключительно электричеством.

*А.М. Ампер, французский учёный,
один из основоположников электродинамики*

Вам уже известно, что вокруг заряженных частиц существует электрическое поле.

Магнитное взаимодействие. Изучая электрические явления, мы уже выяснили, что в природе существуют положительно и отрицательно заряженные частицы. Электрически заряженные частицы взаимодействуют между собой – притягиваются или отталкиваются (рис. 59). Учёными установлена и причина взаимодействия частиц – *вокруг заряженных частиц существует электрическое поле.*



37.1. Каковы основные свойства электрического поля?

Но оказывается, между заряженными частицами возможно взаимодействие и иного вида. Пронаблюдаем следующий опыт. Подключим две подвижные полурамки к положительному и отрицательному полюсам источника тока. Пока в цепи не идёт ток, полурамки не взаимодействуют. Но стоит только замкнуть цепь, как мы наблюдаем отталкивание полурамок (рис. 183).

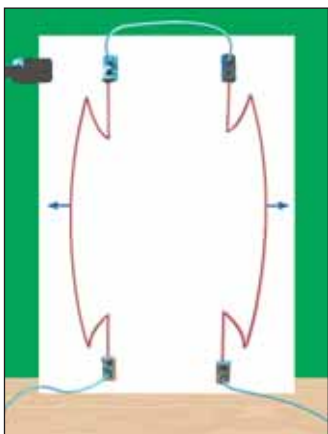


Рис. 183

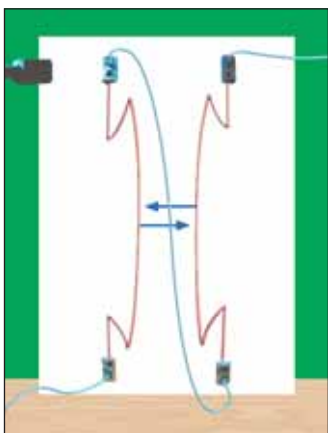


Рис. 184



37.2. Как направлены токи в полурамках в случае, изображённом на рисунке 183?

Опыт показывает, что проводники, по которым идут токи противоположного направления, отталкиваются.

Изменим электрическую цепь, поменяем направление тока (рис. 184). В этом случае полурамки притягиваются.



37.3. Как направлены токи в полурамках в случае, изображённом на рисунке 184?

Опыт показывает, что проводники, по которым идут токи одного направления, притягиваются.

Почему взаимодействуют проводники с током (движущиеся заряды)? Учёными установлено, что вокруг движущихся зарядов (электрического тока) существует **магнитное поле**.

Были выявлены основные свойства магнитного поля:

Магнитное поле существует вокруг движущихся зарядов (электрического тока).
Магнитное поле действует с некоторой силой на движущиеся заряды (электрический ток).

Взаимодействие двух проводников с током (рис. 183, рис. 184) получило следующее научное объяснение. Вокруг зарядов, движущихся, например, в левой полурамке, существует магнитное поле. Это магнитное поле действует с некоторой силой на заряды, движущиеся в правом проводнике. Вследствие этого проводник (правая полурамка) поворачивается. Точно так же вокруг зарядов, движущихся в правой полурамке, существует магнитное поле. Это магнитное поле действует с некоторой силой на заряды, движущиеся в левом проводнике. Проводник (левая полурамка) также поворачивается.

Взаимодействие тел, осуществляющееся магнитным полем, получило название **магнитного взаимодействия**.

Силы взаимодействия между движущимися зарядами (электрическими токами) называют **магнитными силами**.

Внешне – различные, по сути – одинаковые. Расположим магнитную стрелку вблизи катушки, включённой в электрическую цепь (рис. 185). Замкнём ключ. Магнитная стрелка повернётся. Изменим направление тока в катушке – и магнитная стрелка повернётся в другую сторону. Магнитное взаимодействие наблюдается и между магнитной стрелкой и магнитом (рис. 186).

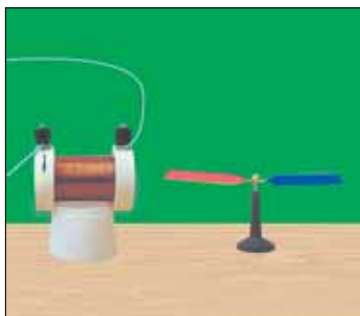


Рис. 185



Рис. 186

Вероятно, у вас возникает вполне законный вопрос:



37.4. Почему взаимодействие «электрический ток – магнит» и взаимодействие «магнит – магнит» относятся к одному виду взаимодействия? Вправе ли мы считать, что внешне столь различные случаи действительно относятся именно к магнитному взаимодействию?



37.5. Каково строение вещества?

37.6. Как «устроен» атом?

37.7. Что такое электрический ток?

В атоме вокруг ядра движутся электроны – электрически заряженные частицы. Вокруг движущихся заряженных частиц, как установлено, существует магнитное поле. Следовательно, каждый атом является источником магнитного поля, и магнитное поле постоянного магнита обусловлено движением заряженных частиц. По этой причине взаимодействия «электрический ток – магнит», «магнит – магнит» также являются магнитными взаимодействиями.

Лабораторная работа «Изучение взаимодействия проводника с током и магнита».

Оборудование: лабораторный источник тока, компас, реостат лабораторный, амперметр лабораторный, соединительные провода, ключ.

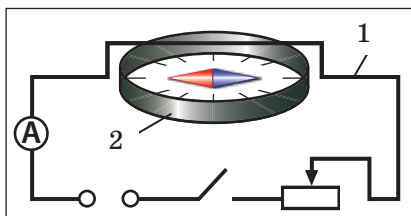


Рис. 187

1 – проводник с током,
2 – компас

Указания к работе



Задание 1. Соберите электрическую цепь согласно схеме, изображённой на рисунке 187. Расположите проводник над магнитной стрелкой параллельно стрелке на расстоянии около 1 см и замкните электрическую цепь. Про-наблюдайте взаимодействие проводника с током и магнитной стрелки.

Измените расстояние между проводником с током и магнитной стрелкой, измените силу тока в цепи, поменяйте направление тока в проводнике.

Сделайте вывод, чем определяются величина и характер взаимодействия проводника с током и магнитной стрелки компаса.

Магнитное поле, его основные свойства; магнитное взаимодействие, магнитные силы; взаимодействие проводника с током и магнита.



Рис. 188



Рис. 189

37.1 ● В каком случае вокруг заряженных частиц возникает только электрическое поле, а в каком – и электрическое, и магнитное?

37.2 ● Каким способом можно узнать, течёт ли ток по проводнику, не пользуясь при этом амперметром?

37.3 ● Если намотать на компас несколько десятков витков тонкого изолированного провода, то полученный прибор можно использовать для измерения силы тока (рис. 188). Как действует такой прибор?

37.4 ● Длинный изолированный провод сложили вдвое и скрутили его жгутом. Провод подключили к источнику тока и поднесли к магнитной стрелке (рис. 189). Однако магнитного действия не наблюдалось. Почему?

37.5 ● В 1820 году датским физиком Эрстедом было обнаружено, что магнитная стрелка поворачивается, стремясь установиться перпендикулярно проводнику при прохождении по нему тока (смотрите рисунок на странице 193). Первый вопрос, который

поставил перед собой Эрстед после того, как сделал своё открытие, был таков: влияет ли вещество провода на создаваемое током магнитное поле? «Соединительный провод, – пишет Эрстед, – может состоять из нескольких проволок или металлических полос. Природа металла не меняет результата, разве только, пожалуй, в отношении величины». Почему «величина результата» зависит от природы металла?

§ 38. ПОСТОЯННЫЕ МАГНИТЫ. МАГНИТНОЕ ПОЛЕ ЗЕМЛИ



И трепещет, мечется магнит.
Но откуда б, в ветре и тумане,
Не швыряло пеной через борт,
Верю – он опять поймает Nord.

*Строки из стихотворения «Компас»
русского поэта И. А. Бунина*

Вам уже известно, что вокруг движущихся заряженных частиц существует магнитное поле.

Свойства постоянных магнитов.

Постоянные магниты известны людям с незапамятных времен. Ещё древнеримский философ и поэт Лукреций Кар (I век до н. э.) в своей знаменитой поэме «О природе вещей» писал:

«Мне остаётся сказать, по какому закону природы
Может железо притягивать камень, который
Греки “магнитом” зовут по названию месторождения...»

Первый научный труд, посвящённый изучению постоянных магнитов, был подготовлен английским учёным У. Гильбертом. В 1600 году он публикует книгу «О магните, магнитных телах и большом магните – Земле. Новая физиология, доказанная множеством аргументов и опытов». Выдающейся заслугой Гильберта было то, что во времена мрачного Средневековья он провозгласил опыт основой науки. Все утверждения, высказанные в его научном труде, были проверены им в ходе специально разработанных экспериментов. Гильбертом было установлено, что:

1. Магнитные свойства магнитов в разных точках неодинаковы. Наиболее сильные магнитные свойства на полюсах магнитов – северном (N) и южном (S). Это легко проверить, используя динамометр, железный груз и магнит (рис. 190, а, б).

2. Если магнит разделить на две части, то каждая часть становится магнитом, имеющим и северный, и южный полюса.

3. Нельзя получить магнит с одним полюсом.

4. Разноимённые полюса магнитов притягиваются, одноимённые – отталкиваются.

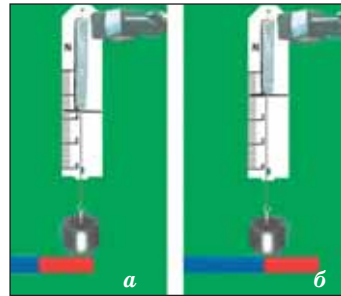


Рис. 190
а – к железному грузу поднесён полюс постоянного магнита,
б – к железному грузу поднесена центральная область постоянного магнита

Как вы уже знаете, магнитное взаимодействие осуществляется магнитным полем. Возникновение магнитного поля постоянных магнитов обусловлено движением заряженных частиц в атомах. Наглядную картинку магнитного поля можно получить, используя мелкие железные опилки. Такие опилки ведут себя подобно маленьким стрелкам компаса, ориентируясь (поворачиваясь) под действием магнитного поля.

Лабораторная работа «Получение «изображения» магнитного поля».

Оборудование: два полосовых магнита, дугообразный магнит, компас или магнитная стрелка на подставке, сито с железными опилками, картон.

Указания к работе



Задание 1. Используя компас или магнитную стрелку на подставке, убедитесь, что магнитное действие магнитов сильнее всего проявляется на полюсах.



Задание 2. Убедитесь, что разноимённые полюса магнитов притягиваются, а одноимённые – отталкиваются.



Задание 3. Положите на стол полосовой магнит, а поверх магнита – картон. Равномерно насыпьте на картон железные опилки и слегка постучите по картону. Рассмотрите и зарисуйте полученное «изображение» магнитного поля.

Получите «изображение» магнитного поля, создаваемого двумя одноимёнными полюсами полосовых магнитов, находящихся на некотором расстоянии друг от друга.

Получите «изображение» магнитного поля, создаваемого двумя разноимёнными полюсами полосовых магнитов, находящихся на некотором расстоянии друг от друга.

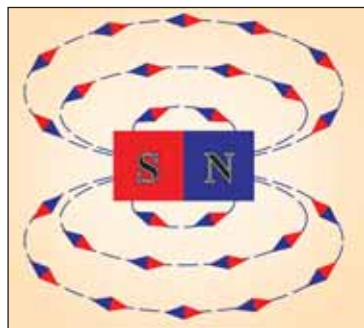


Рис. 191

Получите «изображение» магнитного поля, создаваемого дугообразным магнитом.

«Картина» магнитного поля полосового магнита, подобная той, что наблюдалась вами в лабораторной работе, приведена на рисунке 191.

Представьте, что вдоль магнитных стрелок проведены линии. Их называют силовыми линиями магнитного поля. **Силовыми линиями магнитного поля называют линии, вдоль которых в магнитном поле располагаются магнитные стрелки.**

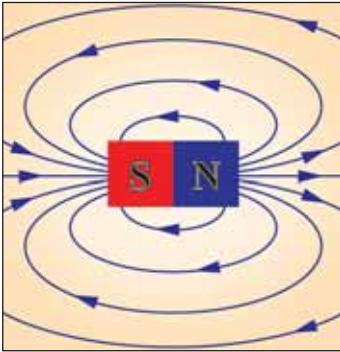


Рис. 192

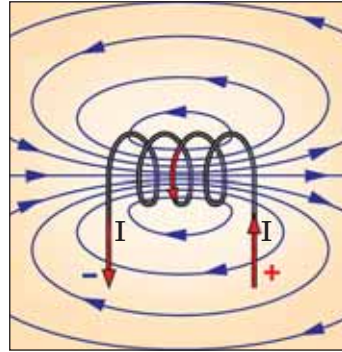


Рис. 193

За направление силовой линии магнитного поля принято направление, указываемое северным полюсом магнитной стрелки (рис. 192). Следовательно, вне магнита силовая линия «идёт» от северного полюса к южному, а внутри самого магнита продолжается от южного полюса к северному.

«Картина» магнитного поля вокруг катушки с током имеет аналогичный вид¹ (рис. 193). При изменении направления тока в катушке направление силовых линий меняется на противоположное.

Существуют ли в природе силовые линии магнитного поля? Конечно же, нет. В природе реально существует магнитное поле, а не его силовые линии! Силовые линии не бóльшая реальность, чем параллели и меридианы. Но как параллели и меридианы помогают нам ориентироваться на карте Земли, так и силовые линии помогают представить «географию» магнитного поля.

Ферромагнетики. В атомах любого вещества имеются электроны. Они движутся. В результате каждый атом создаёт магнитное поле, в итоге вещество обладает магнитными свойствами. Но у большинства веществ магнитные поля отдельных атомов почти полностью компенсируют друг друга. Поэтому магнитные свойства таких веществ можно обнаружить только с помощью специальных точных экспериментов.

Однако существует и группа сильномагнитных веществ. К ним относятся кобальт, железо, никель, а также некоторые сплавы и соединения. Эти вещества называют *ферромагнетиками* (от латинского слова *ferrum* – железо). Какие же особенности имеют ферромагнетики?

¹ Смотрите сноску на с. 22.

Во-первых, ферромагнетики значительно усиливают магнитное поле (рис. 194, а, б). Во-вторых, ферромагнетики можно намагнитить; они сохраняют магнитное поле и поэтому могут быть постоянными магнитами.

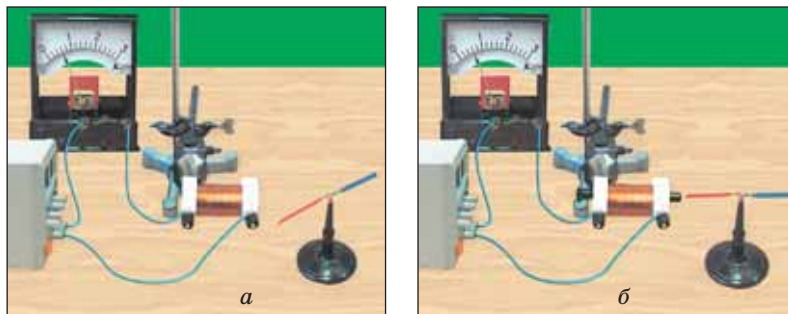


Рис. 194. Влияние железного сердечника на магнитное поле, создаваемое катушкой с током:

а – при пропускании тока по катушке магнитная стрелка поворачивается – угол поворота незначителен,
б – при внесении железного сердечника в катушку с током магнитное поле катушки увеличивается – угол поворота значителен



Каким же образом возникают столь необычные свойства ферромагнетиков? Установлено, что ферромагнетиками могут быть только вещества в твёрдом кристаллическом состоянии. Благодаря особенностям электронного строения атомы в ферромагнетике образуют



Рис. 195. Модель внутреннего строения ферромагнетиков. Области намагничивания ориентированы произвольно. Стрелками показано направление силовых линий магнитного поля каждой из областей

области самопроизвольного намагничивания. Размеры таких областей намагничивания – около сотой доли миллиметра¹, и область включает в себя сотни тысяч атомов (рис. 195). В каждой из таких областей магнитные поля отдельных атомов имеют одно и то же направление.

В естественном состоянии ферромагнетик не обладает магнитным полем, так как поля отдельных областей ориентированы произвольно, и общее магнитное поле ферромагнетика равно нулю. Такая ситуация сохраняется до тех пор, пока ферромагнетик не помещают во внешнее магнитное поле. (Например, располагают железный сердечник в катушке с током.)

¹ Области самопроизвольного намагничивания в ферромагнетиках имеют такие размеры, что их можно наблюдать в микроскоп.

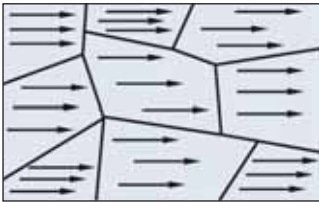


Рис. 196. Ориентация областей самопроизвольного намагничивания ферромагнетика вдоль внешнего магнитного поля

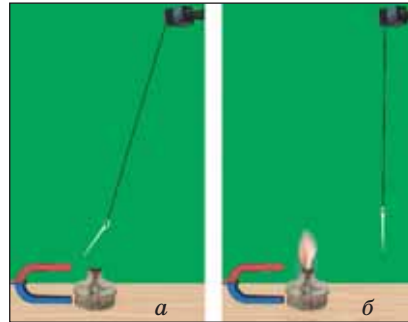


Рис. 197

Под действием даже слабого внешнего магнитного поля магнитные поля отдельных областей ориентируются и «выстраиваются» вдоль внешнего поля (рис. 196). В итоге магнитное поле увеличивается в тысячи и десятки тысяч раз по сравнению с внешним магнитным полем. Если теперь убрать внешнее магнитное поле, то ориентация областей намагничивания сохраняется, ферромагнетик остаётся источником магнитного поля. Остаточная намагниченность и превращает ферромагнетики в постоянные магниты.

Возьмём стальную иголку и нить; подвесим иголку вблизи магнита так, чтобы нить была отклонена от вертикали (рис. 197, а). С помощью спички или спиртовки нагреем иголку. Мы видим, как магнитное поле «перестает удерживать» иголку и нить с иголкой занимают вертикальное положение (рис. 197, б). Опыт показывает, что при нагревании выше определённой температуры ферромагнитные свойства вещества исчезают.

У железа, например, эта температура составляет $768\text{ }^{\circ}\text{C}$, у никеля $358\text{ }^{\circ}\text{C}$. При таких температурах внутренняя энергия теплового движения атомов так велика, что происходит нарушение «магнитного порядка». Разрушаются области самопроизвольной намагниченности и исчезают ферромагнитные (сильномагнитные) свойства веществ.

Магнитное поле Земли. Изучая свойства постоянных магнитов, Гильберт изготовил из магнитного железняка шар. Он обнаружил, что такой шар по магнитным свойствам сильно напоминает Землю. Это позволило ему заявить, что «Земля – большой магнит». До Гильберта о магнетизме Земли никто не подозревал! А то, что стрелка компаса устанавливается в направлении с юга на север, в Средние века объясняли самым фантастическим образом – «воздействием на железо северных полярных звёзд». По современным научным представлениям, существование магнитного поля Земли объясняется конвективными потоками проводящего вещества в жидком ядре планеты.

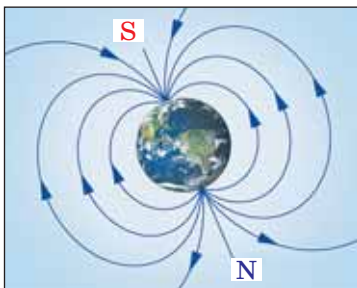


Рис. 198

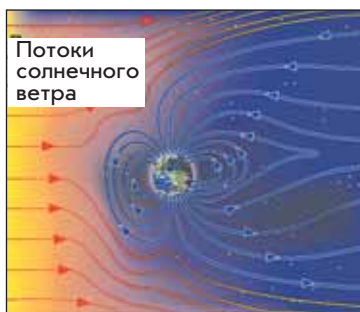


Рис. 199

На рисунке 198 изображена картина магнитного поля Земли (показаны силовые линии магнитного поля). Установлено, что магнитные полюса Земли не совпадают с её географическими полюсами. Причём в районе Северного географического полюса (на расстоянии около 2000 км от него) находится Южный магнитный полюс, и наоборот.

На магнитное поле Земли существенное влияние оказывают потоки заряженных частиц – электронов и протонов, – идущие от Солнца. Эти потоки частиц называют *солнечным ветром*. Под действием солнечного ветра форма магнитного поля Земли искажается (рис. 199). С дневной стороны магнитное поле оказывается «прижатым» к Земле (слой магнитного поля имеет толщину около 60 000 км). С ночной стороны образуется длинный хвост магнитного поля, растянутый на миллионы километров.

Магнитное поле Земли играло и играет очень важную роль в формировании условий жизни на планете. Дело в том, что оно предохраняет поверхность Земли от космического излучения – потоков частиц, бомбардирующих Землю со всех направлений из космоса. Магнитный «щит» препятствует проникновению космического излучения на Землю и спасает живые организмы от его разрушающего воздействия.



На других планетах Солнечной системы также существуют магнитные поля. Меркурий, Венера, Марс (планеты так называемой Земной группы) имеют крайне слабые магнитные поля. Магнитное поле на этих планетах в тысячи раз слабее земного магнитного поля. Планеты-гиганты – Юпитер, Сатурн, Уран, Нептун – обладают магнитными полями, превосходящими земное магнитное поле.

Изучая остаточную намагниченность различных геологических пород, можно выяснить, происходили ли изменения магнитного поля Земли за время существования нашей планеты. Учёные установили, что магнитное поле Земли продолжительное время (миллионы лет) остаётся неизменным. Затем за относительно короткий промежуток времени (десяtkи тысяч лет) магнитное поле Земли резко уменьшается, и происходит смена магнитных полюсов.

Кроме этих глобальных¹ изменений магнитного поля Земли наблюдаются *магнитные бури*. В периоды усиления солнечной активности увеличиваются выбросы заряженных частиц Солнцем – возрастает солнечный ветер. Это приводит к кратковременным изменениям магнитного поля Земли, к нарушению показаний стрелки компаса. Магнитные бури длятся, как правило, от нескольких часов до нескольких суток. Они могут вызывать сбои в работе систем связи, в управлении космическими кораблями, влияют на здоровье и самочувствие людей.

На земном шаре встречаются также области, где ориентация стрелки компаса «нарушена» постоянно. Это области *магнитной аномалии*². Магнитные аномалии вызваны различными причинами, часто они связаны с залежами железосодержащих пород. Одна из самых больших аномалий – Курская магнитная аномалия. Поиски железной руды на её территории были организованы ещё в конце XIX века. Но только в 30-е годы XX века месторождения были обнаружены, и первые тонны богатой железной руды были отправлены на металлургические заводы. Оказалось, что здесь на территории 120 тыс. кв. км на небольшой глубине (200–400 м) находятся огромные залежи руды, запасы которой превышают запасы всех железорудных месторождений мира, вместе взятых.

Постоянные магниты, силовые линии магнитного поля, ферромагнетики, природа ферромагнетизма, магнитное поле Земли, солнечный ветер, магнитные бури, магнитные аномалии.

38.1 ● Имеются две стальные спицы, из которых только одна намагничена. Как узнать, какая именно спица намагничена, не пользуясь ничем, кроме этих спиц?

38.2 ● Стрелка компаса отклоняется от своего первоначального положения, если к ней поднести магнит. Будет ли она отклоняться, если к ней поднести алюминиевый стержень? железный стержень? По возможности проверьте на опыте.

38.3 ● Железный и медный шарики одинакового размера соединены вместе и окрашены в одинаковый цвет. Как определить, какой из шариков железный, а какой медный? Разъединять шарики нельзя. Слой краски нарушать нельзя. (В центре медного шарика имеется внутренняя полость, так что массы шариков одинаковы.)

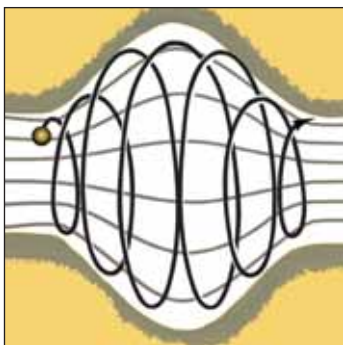
38.4 ● Уже очень давно, с XVI века, известно, что вертикально стоящие железные оконные решётки с течением времени намагничиваются. Объясните это явление.

38.5 ● В книге одного из первых исследователей магнетизма У. Гильберта описан следующий опыт. Если бить молотком по железной полосе, расположенной в направлении с севера на юг, то полоса намагнитится. Объясните результаты опыта.

¹ Глобальный – охватывающий весь земной шар, всеобщий.

² Аномалия – отклонение от нормы, неправильность.

§ 39. ДВИЖЕНИЕ ЗАРЯЖЕННОЙ ЧАСТИЦЫ В МАГНИТНОМ ПОЛЕ



Для меня сегодняшний день до известной степени исторический... Вот лежит фотография – на ней только три искривлённые линии – полёт альфа-частицы в магнитном поле страшной силы... Эти три линии стоили мне... трёх с половиной месяцев усиленной работы.

Из письма выдающегося физика П.Л. Капицы от 29 марта 1922 года

Вам уже известно, что магнитное поле действует на движущиеся заряженные частицы.

Действие магнитного поля на движущуюся заряженную частицу.

На движущуюся заряженную частицу в магнитном поле действует сила. Это легко заметить, если поднести магнит (или электромагнит) к экрану осциллографа (рис. 200, а). При действии магнитного поля пучок электронов, летящих к экрану, отклоняется, и светящаяся точка смещается на экране осциллографа. Если поднести более «сильный» магнит, то электроны отклоняются больше (на движущиеся электроны действует большая сила). При изменении расположения полюсов магнита направление

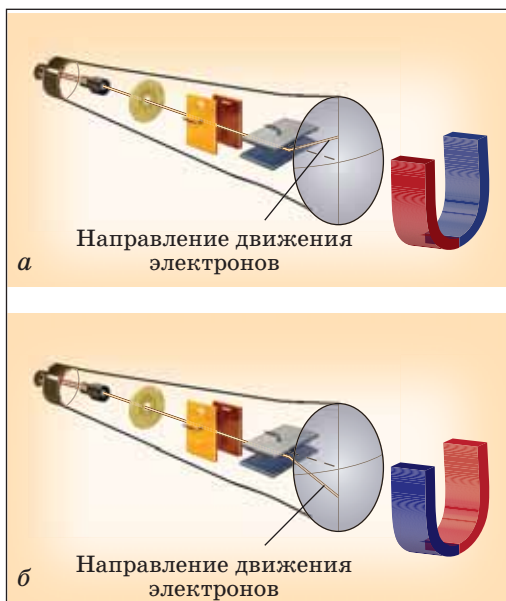


Рис. 200

полюсов магнита направление силы меняется, и частица смещается в противоположном направлении (рис. 200, б). В опытах, изображённых на рисунке 200, угол между направлением силовой линии магнитного поля и направлением скорости частицы составлял 90° . Если угол уменьшить, то и сила, действующая на частицу, станет меньше.

От чего ещё зависит величина силы? Учёные установили, что величина силы, действующей на заряженную частицу, движущуюся в магнитном поле, зависит также от величины заряда частицы и её скорости.

В 1922 году выдающийся российский физик П.Л. Капица получил фотографии следов движения альфа-частиц¹ в магнитном поле (рис. 201). Сила, действующая на движущуюся в магнитном поле заряженную частицу, приводит к искривлению траектории частицы. Почему? Оказывается, сила направлена перпендикулярно скорости частицы.

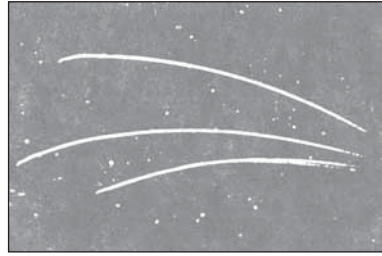


Рис. 201

Пусть заряженная частица влетает в магнитное поле (рис. 202, точка А). Действие силы приведёт к изменению направления скорости частицы. Частица, двигаясь криволинейно, окажется в точке В. В этой точке сила по-прежнему перпендикулярна скорости, сила вновь изменит направление скорости. Частица, продолжая криволинейное движение, окажется в точке С и так далее. В итоге заряженная частица движется в магнитном поле по окружности.

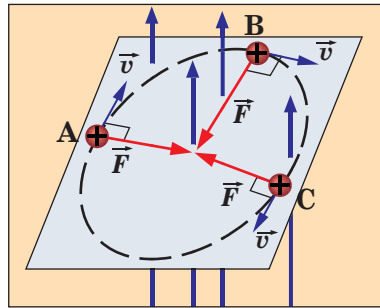


Рис. 202

Точно так же движется под действием силы упругости, например, груз, привязанный к резиновому шнуру (рис. 203), или Луна вокруг Земли (рис. 204).

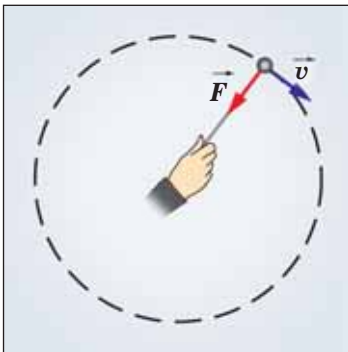


Рис. 203

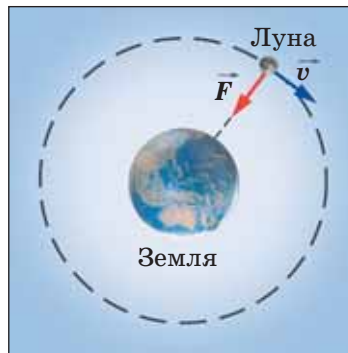


Рис. 204

¹ Альфа-частица – ядро атома гелия. Положительно заряженные альфа-частицы возникают при распаде некоторых атомных ядер.



Полярные сияния. Сила, вызывающая отклонение заряженных частиц при их движении в магнитном поле, проявляется во многих явлениях природы. Одно из таких величественных и красивых явлений – полярное сияние (рис. 205). Как возникают полярные сияния? Поток частиц, летящих от Солнца, достигают Земли и под действием её магнитного поля движутся к поверхности Земли. При движении в верхних разреженных слоях атмосферы частицы сталкиваются с атомами азота и кислорода и сообщают им избыток энергии. В результате возникает свечение как при тлеющем разряде (рис. 162).

Масс–спектрограф. С помощью масс–спектрографа можно измерить массу заряженной частицы (рис. 206). В специальном устройстве прибора производят ионизацию вещества, в результате чего образуются заряженные частицы – ионы. После ускорения электрическим полем ионы приобретают некоторую скорость и затем влетают в область магнитного поля. Под действием магнитного поля частицы движутся по дугам окружностей и попадают на фотопластинку. Это позволяет с большой точностью измерить радиусы траекторий ионов.

Пусть скорость движения и заряд частиц–ионов одинаковы. В таком случае магнитное поле будет действовать на частицы с равными силами. Одинаковы ли при этом радиусы траекторий ионов? Нет. Ясно, что более массивные (более инертные) частицы будут медленнее менять направление скорости и будут двигаться по окружностям большего радиуса. Тем самым по известным радиусам траекторий удаётся определить массу ионов.



39.1. На рисунке 205 изображены траектории ионов в масс–спектрографе. Как изменятся – увеличатся или уменьшатся – радиусы траекторий частиц при усилении магнитного поля в приборе?



Рис. 205

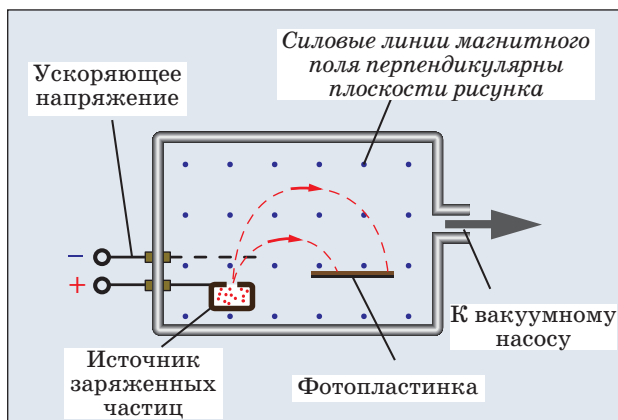


Рис. 206

Ускорители заряженных частиц. Важный раздел современной науки – физика элементарных частиц. Одним из центров физики элементарных частиц является Европейская организация по ядерным исследованиям (ЦЕРН), где ведут научную работу тысячи учёных из многих стран мира. Свойства частиц учёные определяют, изучая столкновение частиц, их взаимодействие друг с другом.

Чтобы преодолеть взаимное отталкивание одноимённо заряженных частиц и «организовать» их столкновение, частицам надо сообщить колоссальную кинетическую энергию, разогнав до скорости, близкой к скорости света.

Для получения частиц высокой энергии используют ускорители заряженных частиц. Крупнейший ускоритель ЦЕРНа предназначен для разгона протонов и тяжёлых ионов. Он представляет собой круговой туннель длиной 26,7 км (рис. 207, а). Разгон, ускорение протонов производится электрическим полем. Движение пучка частиц по круговой траектории происходит благодаря магнитному полю 1232 электромагнитов, расположенных вдоль вакуумного кольца. Эти поворотные сверхпроводящие магниты работают при температуре $-271\text{ }^{\circ}\text{C}$ (ниже, чем температура в космосе). При силе тока 11 кА создаваемое электромагнитами поле в сотню тысяч раз больше, чем магнитное поле Земли. Столкновение частиц регистрируют специальные приборы – детекторы (рис. 207, б).

Изучение результатов столкновения ускоренных протонов позволит учёным экспериментально проверить истинность современных научных теорий возникновения и развития Вселенной.



а



б

Рис. 207

Действие магнитного поля на движущуюся заряженную частицу приводит к изменению направления скорости частицы, полярное сияние, масс-спектрограф, ускоритель заряженных частиц.

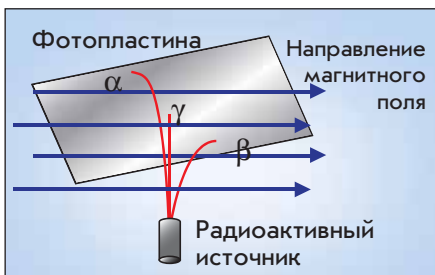


Рис. 208

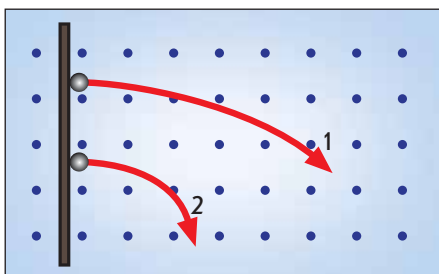


Рис. 209

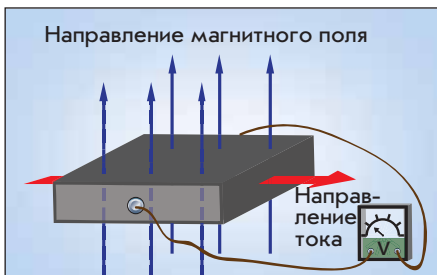


Рис. 210

39.5 ● Если полупроводниковый кристалл поместить в магнитное поле и пропустить по нему ток, то между противоположными гранями полупроводника возникает электрическое напряжение (рис. 210). Объясните явление. Можно ли, используя это явление, установить, полупроводником n -типа или p -типа является исследуемый образец?

39.1 ● В природе существуют так называемые радиоактивные химические элементы, являющиеся источниками излучения. (Именно радиоактивные элементы испускают α -частицы, которые использовал Резерфорд в своих знаменитых опытах по изучению строения атома.) Крупинку радиоактивного вещества поместили в магнитное поле (рис. 208). Радиоактивное излучение при этом разделилось на три пучка: α -, β -, γ -излучение. Исходя из результатов опыта, сделайте вывод: одинаков ли знак электрического заряда α - и β -излучения? Каков заряд γ -излучения?

39.2 ● На рисунке 209 приведены фотографии следов движения заряженных частиц в магнитном поле. Известно, что заряды частиц и их скорости одинаковы. У какой из частиц масса меньше? Ответ обосновать. Силовые линии магнитного поля перпендикулярны плоскости рисунка.

39.3 ● Учёными установлено, что атомы одного и того же химического элемента могут отличаться по массе. Так, ядро атома неона обязательно содержит десять протонов, а вот число нейтронов различно. В ядре может быть или десять, или двенадцать нейтронов. По этой причине атомы неона имеют массу или 20 атомных единиц ($10+10$), или 22 атомные единицы ($10+12$). Предложите способ, позволяющий доказать, что атомы неона имеют различную массу. (Химические свойства неона-20 и неона-22 одинаковы.)

39.4 ● При горизонтальном полёте самолёта между концами его крыльев возникает электрическое напряжение, составляющее десятые доли вольта. Объясните явление. (Подсказка. Учтите магнитное поле Земли.)

§ 40. ДЕЙСТВИЕ МАГНИТНОГО ПОЛЯ НА ПРОВОДНИК С ТОКОМ. ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЬ



Постепенное разгадывание законов электромагнетизма ...является одним из наиболее поразительных достижений науки во все времена.

*У. Брэгг (1862–1942), английский физик,
лауреат Нобелевской премии*

Вам уже известно, что магнитное поле действует на проводник с током.

Лабораторная работа «Изучение взаимодействия витка с током с магнитным полем постоянного магнита».

Оборудование: катушка–моток, источник тока, реостат, амперметр, дугообразный или полосовой магнит, штатив, ключ, соединительные провода.

Указания к работе



Задание 1. Подвесьте катушку–моток на нити к штативу и включите её в электрическую цепь последовательно с реостатом и амперметром (рис. 211). Поднесите к катушке магнит и, замыкая цепь, наблюдайте взаимодействие – притяжение и отталкивание – катушки с током и магнита.

При выполнении задания изменяйте направление тока в катушке и подносите к катушке разные полюса магнита.



Задание 2. Пронаблюдайте, как меняется сила взаимодействия катушки с током и магнита при изменении силы тока в катушке; при приближении или удалении полюса магнита.



Рис. 211

Опыты (рис. 211) свидетельствуют, что сила взаимодействия катушки с током и магнита тем больше, чем больше сила тока в катушке и чем «сильнее» магнит.

Действие магнитного поля на проводник с током. Как вы знаете, проводник обладает сопротивлением. Действительно, при движении, например, электронов в металлическом проводнике происходит их взаимодействие с кристаллической решёткой проводника.

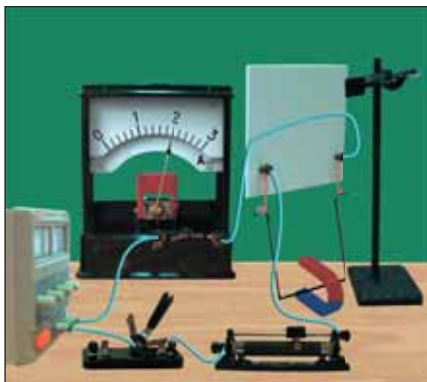


Рис. 212

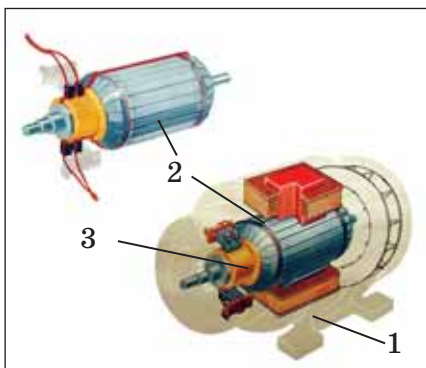


Рис. 213. Устройство простейшего электродвигателя:

- 1 – статор,
2 – ротор,
3 – коллектор

поля. Это либо постоянный магнит, либо электромагнит. *Ротор*² – стальной сердечник, на котором расположено несколько отдельных обмоток – катушек из медной проволоки. Выводы каждой из обмоток припаяны к *коллекторным*³ пластинам. Пластины крепятся на изолированном барабане, который закреплён на оси ротора.

¹ От латинского слова *stator* – стоящий неподвижно.

² От латинского *rotare* – вращаться.

³ От позднелатинского *collector* – собиратель.

В результате кристаллическая решётка «препятствует» движению электронов. При этом и сам проводник испытывает воздействие электронов; колебания кристаллической решётки возрастают, её внутренняя энергия увеличивается.

В магнитном поле на движущиеся заряды действует сила, направленная перпендикулярно скорости их движения. Поместим в магнитное поле проводник с током. Если магнитная сила действует на движущиеся электроны, то воздействие будет передаваться и самому проводнику. *На проводник, помещённый в магнитное поле, будет действовать сила, составляющая угол 90° с направлением тока в проводнике.*

Проверим это на опыте. Изготовим подвижную полурамку из медной проволоки и включим её в электрическую цепь (рис. 212). Поднесём магнит. Магнитное поле будет действовать на движущиеся в проводнике заряды, и полурамка повернётся.

Электродвигатель постоянного тока. Вращающее действие магнитного поля на проводник с током используется в электродвигателях постоянного тока. Простейший электродвигатель состоит из статора, ротора и коллектора (рис. 213).

*Статор*¹ – источник магнитного

По бокам барабана находятся угольные щётки, которые с помощью пружин плотно прижимаются к коллекторным пластинам. Система коллекторных пластин и щёток обеспечивает достаточно надёжный скользящий контакт, что позволяет через щётки и пластины подавать ток в обмотку ротора.

Как работает электродвигатель? Если подключить электродвигатель к источнику тока, то по одной из его обмоток проходит ток. Магнитное поле действует на проводник с током, ротор поворачивается. Через щётки и коллекторные пластины ток поступает в следующую обмотку, магнитное поле вновь поворачивает проводник и так далее. В итоге ротор электродвигателя приходит во вращение.

Электродвигатели имеют ряд преимуществ перед тепловыми двигателями, главное из них в том, что они не загрязняют окружающую среду. Достаточно просто изготовить электродвигатели мощностью от тысяч киловатт, приводящие в движение прокатный стан на металлургическом заводе, до долей ватта, например для жёсткого диска компьютера (рис. 214). Электродвигатели экономичны (их КПД превышает 80–90 %), практически бесшумны. Поэтому они нашли самое широкое применение в быту, на транспорте и в промышленности¹.

Практическая работа «Изучение электродвигателя постоянного тока».

Оборудование: электродвигатель лабораторный разборный, источник тока, реостат, амперметр, вольтметр, ключ, соединительные провода.

Указания к работе



Задание 1. Ознакомьтесь с устройством электродвигателя. Подключите электродвигатель к источнику тока и наблюдайте его вращение. Выясните, как меняется частота вращения при изменении силы тока в электродвигателе.



Задание 2. Измерьте силу тока в электродвигателе, напряжение на электродвигателе. Определите электрическую мощность, потребляемую двигателем.



Рис. 214. Электродвигатели разной мощности (750 Вт, 25 Вт, к CD-плееру, к игрушке, к дисководу)

Действие магнитного поля на проводник с током, электродвигатель.

¹ В промышленности чаще всего применяют электродвигатели переменного тока.

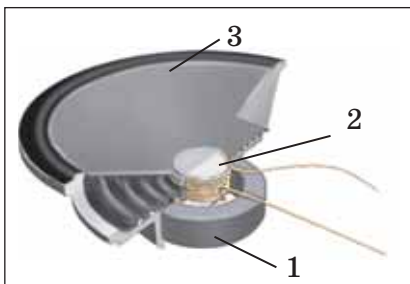


Рис. 215

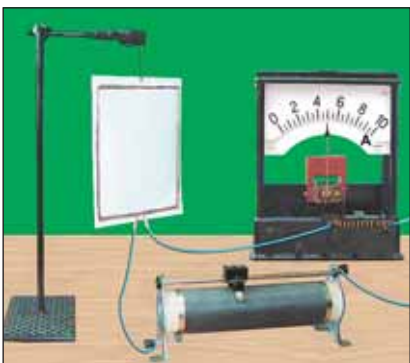


Рис. 216

магнитного поля, если сместить проводник так, чтобы увеличилась длина проводника, находящегося в магнитном поле (рис. 217, б)? Ответ обосновать.

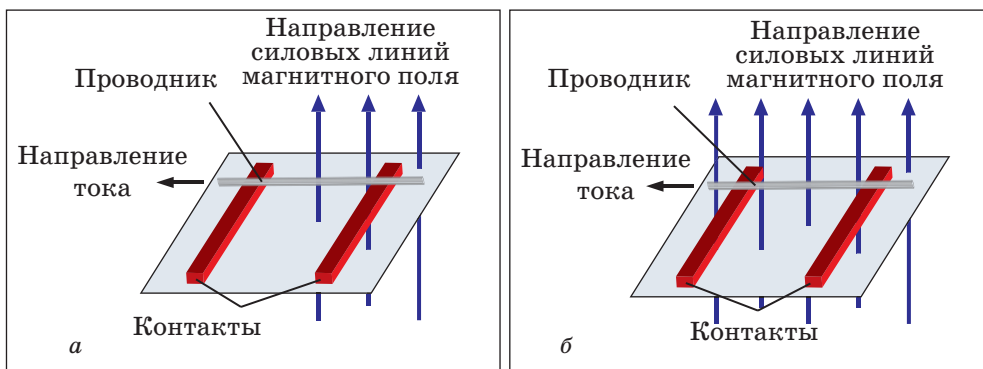


Рис. 217

40.1 ● На рисунке 215 изображено устройство громкоговорителя. Громкоговоритель имеет постоянный магнит кольцеобразной формы 1. Внутри магнита находится катушка 2, которая скреплена с диффузором 3. Диффузор при своём движении толкает окружающий его воздух, возникают колебания воздуха – звук. Почему возникают колебания диффузора при пропускании переменного тока по катушке громкоговорителя?

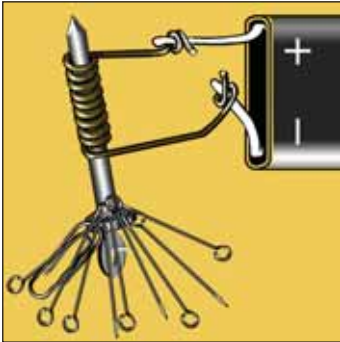
40.2 ● Электродвигателем подъёмного крана работает под напряжением 380 В, при этом сила тока в его обмотке равна 12 А. Каков КПД крана, если груз массой 1 т кран поднимает на высоту 20 м за 1 минуту?

40.3 ● Лёгкую плоскую катушку прямоугольной формы подвесили на нити и с помощью гибких проводников подключили к источнику тока (рис. 216). При замыкании ключа по катушке идёт ток и она поворачивается на некоторый угол, оставаясь в таком положении. Объясните наблюдаемое явление.

40.4 ● Как изменится угол отклонения полурамки от вертикали, если скользящий контакт реостата сдвинуть влево (рис. 212)?

40.5 ● Проводник с током частично находится в магнитном поле (рис. 217, а). Как изменится сила, действующая на проводник со стороны

§ 41. ЭЛЕКТРОМАГНИТЫ



Следует испробовать, не производит ли электричество каких-либо действий на магнит.

Х.К. Эрстед (1777–1851), датский физик

Вы уже знаете, что вокруг проводника с током существует магнитное поле.


Если ввести внутрь катушки с током железный сердечник, то магнитное поле катушки значительно усилится. Катушку с железным сердечником называют электромагнитом.

Лабораторная работа

«Измерение подъёмной силы электромагнита».

Оборудование: электромагнит разборный, источник тока, реостат, амперметр лабораторный, ключ, соединительные провода, рычаг лабораторный, штатив лабораторный, стограммовые грузы.

Указания к работе

 Обмотку электромагнита включите в цепь электрического тока последовательно с реостатом и амперметром. Вблизи электромагнита расположите рычаг, ось которого закрепите на необходимой высоте в муфте штатива (рис. 218).

На левой части рычага подвесьте стограммовый груз, а на правой части – якорь (перемычку) электромагнита с крючком.

Подайте ток в обмотку электромагнита, якорь поместите на сердечнике электромагнита. Перемещая груз, добейтесь отрыва якоря от сердечника. (При необходимости на левую часть рычага можно подвесить дополнительные стограммовые грузы.)

Меняя силу тока в цепи, выясните, на сколько приходится перемещать груз, чтобы добиться отрыва якоря от сердечника. Сделайте вывод, как зависит «подъёмная» сила электромагнита от силы тока в обмотке катушки.

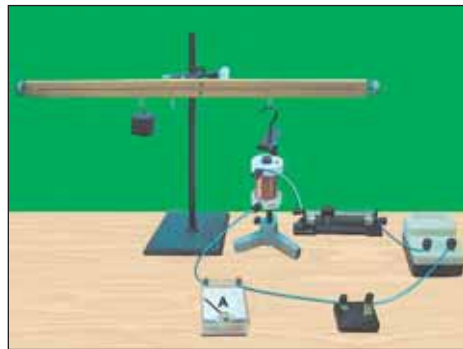


Рис. 218

Проведённые опыты позволяют сделать выводы, что сила притяжения якоря к электромагниту увеличивается при возрастании силы тока в обмотке.

Также сила притяжения зависит от числа витков в катушке электромагнита и наличия железного сердечника. Чем больше число витков в катушке, тем больше сила притяжения. Если вынуть из катушки сердечник, то обнаруживается, что без сердечника сила притяжения якоря к катушке крайне мала.

Применение электромагнитов. Действие электромагнитов можно регулировать, меняя силу тока в катушке. Их можно быстро размагничивать, выключая ток. Эти свойства электромагнитов позволяют широко использовать их в технических устройствах. На заводах применяют грузоподъёмные электромагниты, которые захватывают и перемещают сотни килограммов железной стружки, металлолома (рис. 219). С помощью грузоподъёмных электромагнитов можно также транспортировать стальные рельсы, листы (рис. 220). Используются электромагниты и в устройстве железоотделителей. Они предназначены для извлечения магнитных примесей из сыпучих материалов. В зависимости от мощности электромагнита можно извлекать магнитные примеси массой от 10 г до 100 кг с глубины до 75 см.



Рис. 219. Грузоподъёмный электромагнит ЭМ42. Напряжение питания 220 В. Электрическая мощность 11 кВт. Масса поднимаемой стружки до 200 кг



Рис. 220. Грузоподъёмный электромагнит ЭМП16. Напряжение питания 220 В. Электрическая мощность 3,85 кВт. Масса поднимаемых листов стали до 660 кг

Электромагнит является основным элементом электрического реле¹. Реле предназначено для замыкания или размыкания электрических цепей. Рисунок 221 поясняет принцип действия реле. При замыкании ключа *К* в управляющей цепи ток в катушке *1* электромагнита создаёт магнитное поле. Возникшее магнитное поле притягивает к сердечнику электромагнита якорь *2*. При повороте якоря и смещении толкателя *3* одна пара контактов может разомкнуться (контакты *4* и *5*), а другая пара, наоборот, замкнётся (контакты *5* и *6*).

Характерной особенностью реле является то, что управляющая (командная) цепь и управляемая (исполнительная) цепь электрически никак не связаны. Это позволяет с помощью малых токов и напряжений в управляющей цепи включать более мощные управляемые цепи, сила тока и напряжение в них могут быть больше в сотни и тысячи раз.

Пронаблюдаем действие модели реле (рис. 222). Укрепим на штативе электромагнит. Роль якоря будет играть упругая стальная линейка. Замкнём ключ. Ток проходит через амперметр и катушку электромагнита. При появлении тока в катушке якорь-линейка притягивается к сердечнику электромагнита и замыкает контакты, укреплённые на изолирующем штативе. В итоге замыкается цепь лампы.

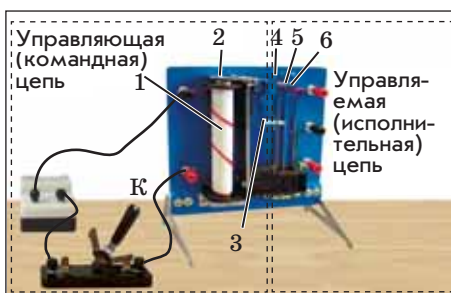


Рис. 221



Рис. 222

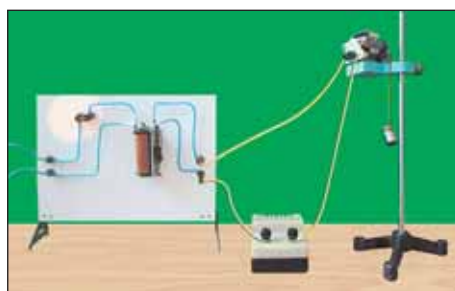


Рис. 223

¹ Происходит от французского *relouer* – сменить, заменить.

Другим важным свойством реле является возможность дистанционного¹ управления различными электрическими цепями и приборами. Включим в управляющую цепь последовательно с катушкой реле фоторезистор, а к контактам управляемой цепи подключим электродвигатель и источник тока (рис. 223). Если фоторезистор осветить, то его сопротивление уменьшится. При этом сила тока в катушке реле увеличивается, и усилившееся магнитное поле притягивает якорь реле. Контакты управляемой цепи замыкаются, и электродвигатель приходит во вращение.

Электромагнит, техническое применение электромагнитов, **реле**, примеры практического применения реле.

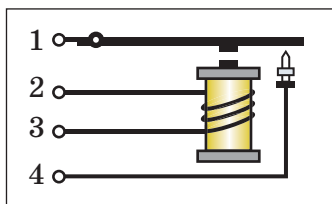


Рис. 224

41.1 ● На рисунке 224 изображена схема электромагнитного реле. К каким зажимам реле следует подключить управляющую (командную) цепь, а к каким управляемую (исполнительную) цепь? Ответ обосновать.

41.2 ● Первый в мире электромагнитный телеграф был изобретён российским учёным и дипломатом П. Шиллингом в 1832 г. В 1837 году американский художник и изобретатель С. Морзе сконструировал телеграфный аппарат, записывающий сигналы в виде точек и тире (1 – ключ, 2 – электромагнит, 3 – якорь, 4 – пружина, 5 – колёсико, смазанное краской) (рис. 225, а, б). По схеме объясните работу телеграфного аппарата.

По схеме объясните работу телеграфного аппарата.

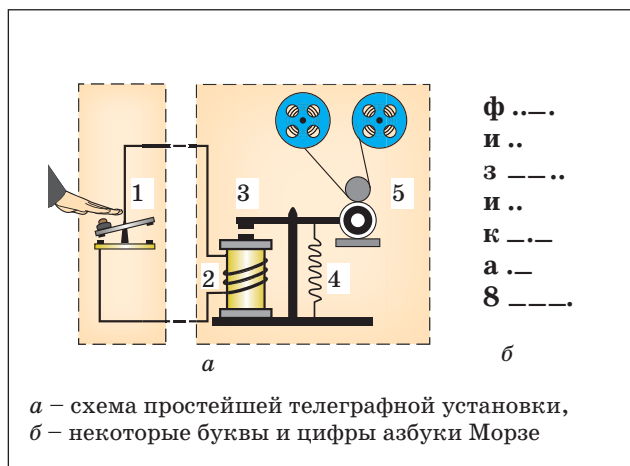


Рис. 225

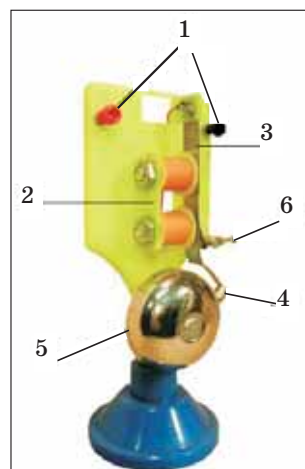


Рис. 226

¹ Дистанционный – находящийся на некотором расстоянии.

41.3 ● На рисунке 226 изображена схема электрического звонка (1 – контакты для подключения звонка к электрической цепи, 2 – дугообразный электромагнит, 3 – якорь – упругая железная пластинка, 4 – молоточек, 5 – звонковая чаша, 6 – регулировочный винт). Объясните принцип действия звонка. Изменится ли действие звонка, если направление тока в цепи звонка изменить на противоположное? Как следует изменить силу тока в обмотке электромагнита для устойчивой работы звонка, если регулировочный винт 6 будет вывернут на несколько оборотов?

41.4 ● Используя данные, приведённые в пояснениях к рисункам 219 и 220, определите силу тока и сопротивление обмотки грузоподъёмных электромагнитов ЭМ42 и ЭМП16.

41.5 ● Нередки случаи, когда стальные предметы, переносимые грузоподъёмными электромагнитами, не опадают после отключения тока в обмотке. Чем это объяснить? Что следует сделать, чтобы предметы отпали?

§ 42. ЯВЛЕНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ ИНДУКЦИИ



Искусство экспериментатора состоит в том, чтобы уметь задавать природе вопросы и понимать её ответы.

М. Фарадей, выдающийся английский физик

Вам уже известно, что вокруг заряженных частиц существует электрическое и магнитное поле.

Возникновение тока при движении проводника в магнитном поле.

Проделаем опыт. Присоединим проводник к клеммам гальванометра – высокочувствительного прибора для измерения слабого электрического тока. Будем двигать проводник между полюсами дугообразного магнита (рис. 227). При движении проводника стрелка прибора отклоняется, прибор регистрирует ток. Но как только проводник останавливается, ток прекращается. Можно двигать не проводник, а магнит – ток также возникает. Можно использовать не постоянный магнит, а электромагнит – и опять ток существует только во время движения проводника относительно магнитного поля (рис. 228). Вместо одиночного проводника можно использовать проволочную катушку – несколько проводников–витков (рис. 229).



42.1. В чём заключается принципиальное отличие проводников от изоляторов?

42.2. Движением каких заряженных частиц создаётся ток в металлах?

42.3. На какие заряженные частицы – покоящиеся или движущиеся – действует магнитное поле?

42.4. Как по отношению к вектору скорости направлена сила, действующая со стороны магнитного поля на движущуюся заряженную частицу?



42.5. Как объяснить наблюдаемое явление возникновения тока в проводнике, движущемся в магнитном поле?

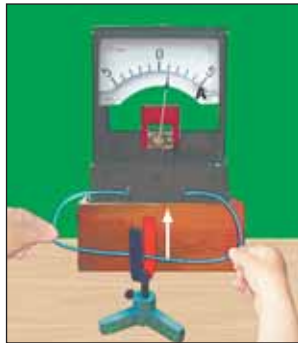


Рис. 227



Рис. 228

Известно, что в металлическом проводнике имеются свободные заряженные частицы – электроны. При движении проводника вместе с проводником движутся и электроны. На движущиеся электроны в магнитном поле действует сила, перпендикулярная скорости и направленная вдоль проводника (рис. 230). Под действием силы электроны смещаются вдоль проводника, в проводнике возникает электрический ток. Используя уже имеющийся у нас «багаж знаний» о свойствах магнитного поля, нам удалось объяснить результаты опытов (рис. 227–229).



Рис. 229

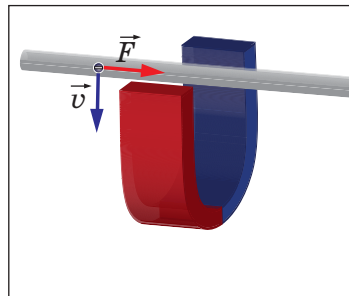


Рис. 230

Явление электромагнитной индукции. Продолжим опыты. На общий железный сердечник наденем две катушки (рис. 231). Первую (нижнюю) катушку включим в электрическую цепь последовательно с амперметром и реостатом. Вторую (верхнюю) катушку подключим к электроизмерительному прибору.

Изменим величину тока в первой катушке. При этом во второй катушке возникает ток! Если же ток в первой катушке неизменен, то во второй катушке тока нет. Ток во второй катушке возникает *только при изменении тока* в первой катушке – или при регулировке силы тока реостатом, или в моменты замыкания или размыкания цепи.

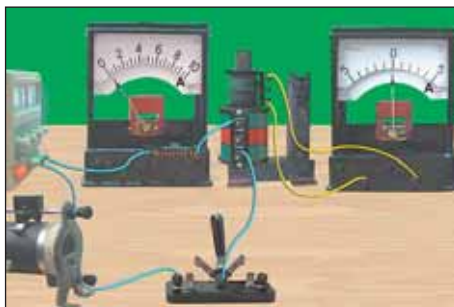


Рис. 231

Как же объяснить результаты этого опыта? При прохождении тока по первой катушке вокруг неё возникает магнитное поле. Это магнитное поле пронизывает витки второй катушки (недаром обе катушки находятся на одном железном сердечнике). Но магнитное поле не будет действовать на свободные электроны, находящиеся в проводнике второй катушки! Почему? Эти заряженные частицы неподвижны¹. А магнитное поле, как известно, действует только на движущиеся заряженные частицы. Таким образом, причина возникновения тока пока нами не выявлена.

При каких условиях в электрической цепи существует ток? Во-первых, электрическая *цепь должна быть замкнута*. Во-вторых, необходимо *наличие свободных заряженных частиц*, которые могут перемещаться по цепи, создавая ток. (В металлах, как вам известно, это свободные электроны; в электролитах – положительные и отрицательные ионы; в полупроводниках – электроны и дырки.) В-третьих, *в проводнике необходимо создать электрическое поле*.

Электрическое поле будет действовать на свободные заряженные частицы, что приведёт к возникновению тока. В качестве источника тока используются гальванические элементы, электрические генераторы, термоэлементы, фотоэлементы и так далее.

¹ Конечно, и в неподвижном проводнике электроны совершают движение – беспорядочное тепловое движение. Но средняя скорость такого движения равна нулю, а значит, равна нулю и средняя сила, действующая на электроны непосредственно со стороны магнитного поля.

Выполняются ли эти условия в рассматриваемом опыте? Первое условие выполнено – витки второй катушки замкнуты на электроизмерительный прибор. Выполнено и второе условие – катушка изготовлена из медной проволоки, а медь – один из лучших проводников. Но каким образом выполнено третье условие?! Каким образом в проводнике создаётся электрическое поле?

Ещё раз проанализируем условия опыта (рис. 231). Изменяя ток в первой катушке, мы тем самым изменяем магнитное поле, пронизывающее вторую катушку. Только в том случае, когда вторую катушку пронизывает переменное магнитное поле, в ней возникает ток. Следовательно, переменное магнитное поле порождает электрическое поле. И возникшее электрическое поле, действуя на неподвижные заряды, приводит к появлению тока в замкнутой цепи.

Возникновение электрического поля при изменении магнитного поля называется явлением электромагнитной индукции.

Явление электромагнитной индукции¹ было открыто выдающимся английским физиком М. Фарадеем в 1831 году. Будучи уверенным в единой природе магнитных и электрических явлений, Фарадей поставил задачу: «Превратить магнетизм в электричество». И эта задача была им успешно решена – на опыте обнаружена взаимосвязь магнитного и электрического полей.

По какому признаку обнаруживается явление электромагнитной индукции? Это возникновение тока в замкнутом проводнике, который находится в переменном магнитном поле. Подтвердим утверждение опытом (рис. 232). Первую катушку подключим к источнику



Рис. 232

переменного тока, а концы второй катушки замкнём на лампочку. В промышленной сети переменный ток меняется как по величине, так и по направлению (направление меняется 100 раз за секунду). Создаваемое этим током переменное магнитное поле порождает электрическое поле. Благодаря явлению электромагнитной индукции во второй катушке возникает ток, лампочка светится.

Если разомкнуть цепь второй катушки, то лампочка светиться не будет.

¹ От латинского *inductio* – наведение.

Может быть, теперь явление электромагнитной индукции не происходит?

Нет! Просто нами не созданы необходимые условия для обнаружения явления.

Пронаблюдаем ещё один опыт. На концах лёгкой алюминиевой пластинки, которая может вращаться вокруг вертикальной оси, закреплены два алюминиевых кольца. Одно из них сплошное, а другое – с разрезом (рис. 233). Поднесём магнит к сплошному кольцу. При приближении магнита замкнутый проводник–кольцо пронизывает нарастающее, то есть переменное, магнитное поле. В соответствии с явлением электромагнитной индукции в проводящем кольце возникает ток. На проводник с током в магнитном поле, как известно, действует сила. В опыте отчетливо видно, как кольцо отталкивается от магнита.



Рис. 233

Изменим условия опыта и будем не приближать, а удалять магнит от сплошного кольца. Кольцо вновь взаимодействует с магнитом, но в этом случае оно притягивается к магниту. Причина возникновения взаимодействия та же, что и прежде. При удалении магнита замкнутый проводник–кольцо пронизывает убывающее, то есть переменное, магнитное поле. В соответствии с явлением электромагнитной индукции в проводящем кольце возникает ток. На проводник с током в магнитном поле вновь действует сила.

Разрезанное кольцо с магнитом не взаимодействует. Почему? Ясно, что разрез препятствует возникновению тока в кольце – электрическая цепь не замкнута.



42.5. Почему при проведении опыта (рис. 233) использовались алюминиевые кольца, а не железные?

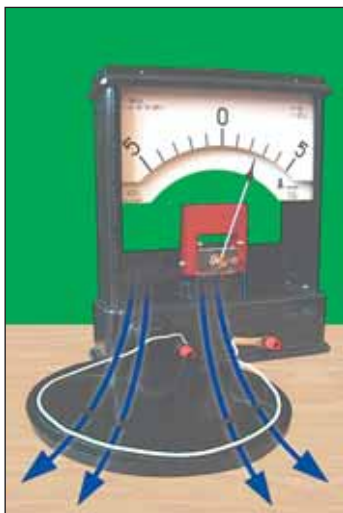
Явление электромагнитной индукции находит самое широкое практическое применение. Оно лежит в основе всей современной электро- и радиотехники. Генераторы электрической энергии электростанций, трансформаторы, преобразующие переменный ток, промышленные электродвигатели переменного тока – вот только некоторые из множества устройств, работающих благодаря явлению электромагнитной индукции. Без этого явления были бы невозможны радиосвязь и телевидение, современные средства связи.

Возникновение тока при движении проводника в магнитном поле, явление электромагнитной индукции, примеры практического применения явления электромагнитной индукции.

42.1 ● Подготовьте ответ о явлении электромагнитной индукции по плану ответа о физической величине.

42.2 ● Прочитайте приведённый ниже отрывок из труда М. Фарадея «Экспериментальные исследования по электричеству» и объясните результаты опыта: «Двести три фута¹ медной проволоки в одном куске были намотаны на большой деревянный барабан; другие двести три фута такой же проволоки были проложены в виде спирали между витками первой обмотки, причём металлический контакт был везде устранён посредством шнурка. Одна из этих спиралей была соединена с гальванометром, а другая – с хорошо заряженной батареей... При замыкании контакта наблюдалось внезапное, но очень слабое действие на гальванометр, и подобное же слабое действие имело место при размыкании контакта с батареей. Но в дальнейшем, при прохождении гальванического тока по одной из спиралей, не удалось обнаружить отклонения гальванометра или иного действия на спираль».

42.3 ● Почти одновременно с Фарадеем получить электрический ток в катушке с помощью магнита пытался швейцарский физик Колладон. При работе он пользовался гальванометром, лёгкая магнитная стрелка которого помещалась внутри катушки прибора. (Подобный прибор изображён на рисунке 188.) Чтобы магнит не оказывал непосредственного влияния на магнитную стрелку, прибор располагали в соседней комнате. Вдвинув магнит в катушку, Колладон шёл в эту комнату и с огорчением убеждался, что гальванометр показывает нуль. Какая ошибка была допущена Колладоном?



42.4 ● Плоский круговой виток, выполненный из алюминиевой проволоки, подключён к гальванометру. Когда виток пронизывает переменное магнитное поле, то в цепи возникает ток (рис. 234, показаны силовые линии магнитного поля). Как изменится сила тока в цепи, если виток заменить на такой же по размерам, но выполненный из железной проволоки? Толщина алюминиевой и железной проволоки одинакова.

42.5 ● В 1822 году французский физик Араго заметил, что колеблющаяся около положения равновесия магнитная стрелка быстро останавливается, если она находится в футляре из меди. Без медного же футляра качания стрелки долго не прекращаются. Объясните это явление. (По этой же причине колебания стрелки компаса быстрее затухают, если корпус прибора латунный, и медленнее затухают, если корпус прибора пластмассовый.)

Рис. 234

¹ 1 фут = 304,8 мм.

§ 43. ВИХРЕВОЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ ПОЛЕ



Мыслящий ум не чувствует себя счастливым, пока ему не удаётся связать воедино разрозненные факты, им наблюдаемые.

Д. Хевеши (1885–1966), венгерский радиохимик, лауреат Нобелевской премии

Вам уже известно, что переменное магнитное поле порождает электрическое.

Два источника электрического поля.

Открытие явления электромагнитной индукции выявило связь электрического и магнитного полей. Было установлено, что электрическое поле создаётся не только электрическими зарядами, но и переменным магнитным полем.

Электрическое поле, порождаемое переменным магнитным полем, называют вихревым электрическим полем.

Каковы же особенности этого поля? Одна из основных особенностей заключается в том, что, создавая ток в замкнутой цепи, вихревое электрическое поле совершает работу.

Убедимся в этом на опыте. На железный сердечник катушки, включённой в электрическую цепь *переменного тока*, накинём лёгкое алюминиевое кольцо (рис. 235, а). Замкнём цепь – кольцо подлетит на некоторую высоту и будет удерживаться в воздухе (рис. 235, б). Почему? В соответствии с явлением электромагнитной индукции переменное магнитное поле катушки порождает вихревое электрическое поле. Оно создаёт ток в замкнутом проводнике – алюминиевом кольце. Благодаря силе, действующей на проводник с током в магнитном поле, кольцо удерживается в воздухе.

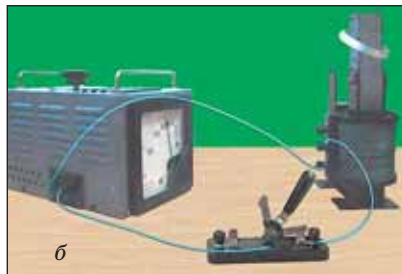
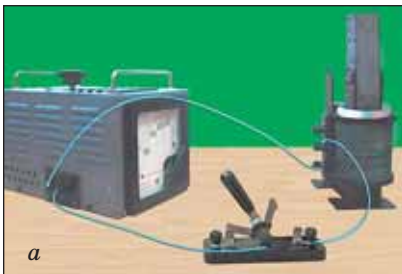


Рис. 235



43.1. Будет ли наблюдаться отталкивание и «зависание» кольца (рис. 235, б), если вместо сплошного кольца взять кольцо с разрезом?

В том, что по сплошному кольцу идёт ток, легко убедиться – через некоторое время кольцо нагреется. Опыт наглядно подтверждает, что вихревое электрическое поле совершает работу при перемещении зарядов по замкнутой цепи. Благодаря работе вихревого электрического поля в замкнутой цепи существует ток «без всякой батарейки».

Обратите внимание! Электрическим полем, созданным зарядами, тоже может совершаться работа, но *только на отдельном участке цепи*. А для поддержания тока в замкнутой цепи этого электрического поля недостаточно – в цепи должен быть источник тока. Только благодаря химической, механической или световой энергии источника – гальванического элемента, генератора, фотоэлемента – в цепи будет существовать ток. В рассмотренном опыте таким источником является вихревое электрическое поле.



43.2. Какие выводы об электрическом взаимодействии были сделаны на основе опытов (рис. 64, а–в, рис. 65, а–в)?

Электрическое поле, созданное заряженным телом, как вам известно, зависит от величины заряда и расстояния до него. Чем больше величина электрического заряда и чем ближе к заряду, тем сильнее его электрическое поле. Для того чтобы выяснить, от чего зависит величина вихревого электрического поля, выполним лабораторную работу.

Лабораторная работа «Изучение явления электромагнитной индукции». Закон электромагнитной индукции.

Оборудование: миллиамперметр, источник тока лабораторный, катушка–моток, электромагнит разборный, магнит, реостат, выключатель, соединительные провода.

Указания к работе



Задание 1. Присоедините катушку–моток к зажимам миллиамперметра. Вдвигая полюс магнита внутрь катушки–мотка, наблюдайте одновременно за стрелкой миллиамперметра.

Повторите наблюдение, выдвигая магнит из катушки, меняя полюса магнита, а также скорость движения магнита.

Увеличьте сопротивление цепи катушки, включив последовательно с катушкой реостат (рис. 236). Вновь наблюдайте возникновение тока при изменении магнитного поля, пронизывающего катушку–моток.

Объясните наблюдаемое явление. Сделайте вывод, от чего зависит сила тока, возникающего в цепи катушки.



Задание 2. Включите катушку электромагнита последовательно с реостатом в цепь источника тока. Катушку–моток, подсоединённую

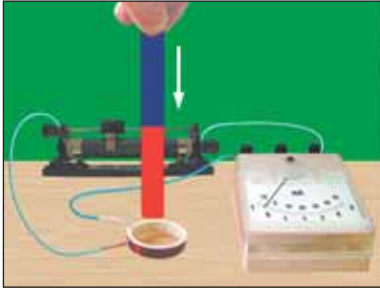


Рис. 236

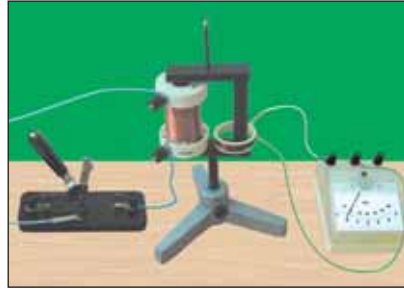


Рис. 237

к зажимам миллиамперметра, наденьте на сердечник электромагнита (рис. 237). Наблюдайте отклонение стрелки миллиамперметра:

- при замыкании и размыкании ключа,
- при изменении силы в цепи электромагнита при смещении подвижного контакта реостата.

Объясните наблюдаемое явление. Сделайте вывод, от чего зависит сила тока, возникающего в цепи катушки.

Что же нового мы обнаружили, выполняя лабораторную работу? Оказывается, *ток, возникающий в проводнике благодаря явлению электромагнитной индукции, тем больше, чем быстрее меняется магнитное поле, пронизывающее проводник*. Но электрические заряды «приводит в движение» вихревое электрическое поле. Таким образом, выяснен **закон электромагнитной индукции**.

Величина вихревого электрического поля определяется быстротой изменения магнитного поля.



Практическое применение явления электромагнитной индукции.

Рассмотрим устройство жёсткого диска компьютера. В 60-х годах прошлого века накопитель информации первых серийных компьютеров представлял собой ящик размером с бытовую холодильник и массой более 900 кг при объёме памяти в несколько мегабайт. В настоящее же время жёсткий диск, имея малые размеры и массу, в состоянии хранить информации в миллионы раз больше! Современный жёсткий диск состоит из трёх блоков (рис. 238). Первый блок – стеклянные или алюминиевые отполированные диски–пластинки, покрытые ферромагнитным материалом. Второй блок – механическая часть диска. Она ответственна за перемещение головок записи–считывания информации и за вращение стопки пластинок. Пластинки вращаются, делая 10 000 оборотов в минуту, так что участки пластинок проносятся мимо головок записи–считывания со скоростью 170 км в час. Третий блок – электронная часть, управляющая работой всех элементов диска.



Рис. 238



43.3. Каковы особенности внутреннего строения и особенности магнитных свойств ферромагнетиков?

Как происходит *запись информации на диск*? При записи от компьютера на электромагнит головки поступают кратковременные токи, текущие то в одном, то в другом направлении (импульсы тока).

В чередовании этих импульсов тока и зашифрована информация (сравните с азбукой Морзе). Магнитное поле электромагнита разворачивает, ориентирует имеющиеся в ферромагнетике отдельные области намагничивания. Ориентация областей намагничивания определяется направлением импульса тока в электромагните головки. Так чередование импульсов тока «превращается» в чередование магнитных областей ферромагнетика. В итоге осуществляется запись и последующее хранение на диске информации, поступившей от компьютера.

Как происходит *считывание информации с диска*? Это происходит с помощью обратного процесса, основанного на явлении электромагнитной индукции. При вращении дисков–пластин отдельные области намагничивания ферромагнетиков «пролетают» под электромагнитом головки. В электромагните возникают импульсы тока, направление которых определяется направлением магнитного поля. Возникшие импульсы тока, в чередовании которых и зашифрована информация, направляются далее в компьютер. Так осуществляется воспроизведение информации с жёсткого диска.

Вихревое электрическое поле, закон электромагнитной индукции, устройство жёсткого диска компьютера.

43.1 ● Сравните электрическое поле, созданное зарядами, и вихревое электрическое поле.

Заполните таблицу.

Название	Электрическое поле, созданное зарядами	Вихревое электрическое поле
Источник поля		
На какие заряды (неподвижные, движущиеся) действует поле		
От чего зависит величина поля		
Совершается ли полем работа при перемещении зарядов		

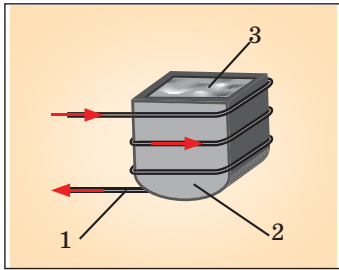


Рис. 239

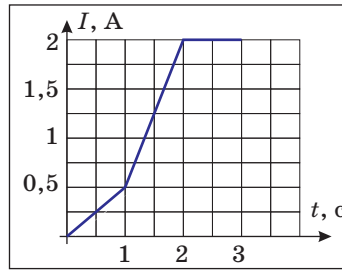


Рис. 240

43.2 ● Плоский замкнутый проводник (контур) сопротивлением $0,20$ Ом пронизывает равномерно нарастающее в течение 1 мин. магнитное поле. При этом в контуре возникает ток силой 30 мА. Определите, какую работу совершит вихревое электрическое поле по преодолению сопротивления проводника за время нарастания магнитного поля.

43.3 ● Почему недалеко от места удара молнии могут сработать предохранители в осветительной сети и выйти из строя электроприборы?

43.4 ● Для получения чистых металлов в металлургии применяют так называемые индукционные печи (рис. 239). Индуктор печи 1 представляет собой катушку из медной трубки, охлаждаемую проточной водой. Внутри катушки – индуктора – находится керамическая ванна – тигель 2 , наполненная металлом 3 . По катушке пропускается переменный ток, и металл в ванне плавится.

Каков принцип действия индукционной печи? С какой целью внутри медной трубки катушки циркулирует вода?

43.5 ● На рисунке 240 изображён график зависимости силы тока в катушке электромагнита от времени. В какой интервал времени вокруг катушки существует наиболее сильное вихревое электрическое поле? Ответ обосновать.

Самое важное в разделе «Магнитные явления»

1. Вокруг движущихся заряженных частиц *существует особая форма материи – магнитное поле.*

2. Магнитное поле *действует силой на движущиеся заряды, проводники с током.* Это явление находит широкое практическое применение.

3. Магнитное поле постоянных магнитов *обусловлено движением заряженных частиц – электронов в атомах вещества.*

4. Земля имеет магнитное поле.

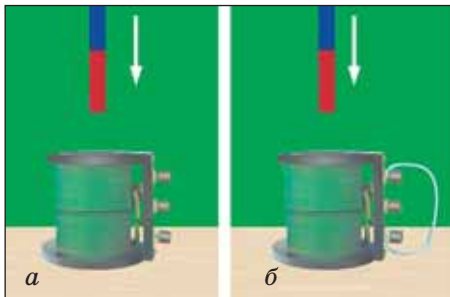
5. *Переменное магнитное поле порождает вихревое электрическое поле.* В этом заключается явление электромагнитной индукции. *Чем быстрее изменяется магнитное поле, тем более сильное вихревое электрическое поле возникает.*

IV.1 ● В своей работе «Гром и молния» французский физик Д. Араго (1786–1853) описывает такой случай. «В июле 1681 г. корабль «Королева», находившийся в сотне миль от берега, в открытом море, был поражён молнией, которая причинила значительные повреждения в мачтах, парусах и прочем. Когда же наступила ночь, то по положению звёзд выяснилось, что из трёх компасов, имевшихся на корабле, два вместо того, чтобы указывать на север, стали указывать на юг, а третий стал указывать на запад». Объясните, почему компасы стали указывать неверное направление.

IV.2 ● Чтобы обезопасить военно–морской корабль от мин, которые взрываются, реагируя на магнитное поле корабля, его размагничивают. Для этого необходимо создать магнитное поле, противоположное магнитному полю корабля. Как это можно сделать практически?

IV.3 ● В Средние века существовало поверье, что сила магнита ослабляется от запаха чеснока. Некоторые часовщики, чтобы размагнитить случайно намагниченную часовую пружину, кипятили её в настое чеснока. Они утверждали, что, действительно, происходит ослабление магнетизма. Верно ли это утверждение, и если да, то как объяснить подобное ослабление магнетизма?

IV.4 ● Сквозь вертикально расположенную катушку электромагнита падает прямой магнит. За одинаковое ли время магнит пролетит катушку при разомкнутой и замкнутой обмотке катушки (рис. 241, а, б)? Ответ обосновать.



IV.5 ● На рисунке 220 изображён грузоподъёмный электромагнит ЭМП 16. Чему равна наибольшая сила, с которой электромагнит может действовать на лист стали?

Рис. 241

P. S.



Изучая раздел «Магнитные явления», вы узнали очень важные научные факты:

- в природе существует магнитное поле;
- источником вихревого электрического поля является переменное магнитное поле.

Но при этом мы ограничились рассмотрением лишь качественной стороны дела.

– *Не изучены физические величины*, характеризующие магнитное поле и магнитные свойства вещества.

– *Не приведены формулы* для расчёта силы, действующей со стороны магнитного поля на движущуюся заряженную частицу, на проводник с током.

– *Не указана формула* для расчёта силы тока, возникающего благодаря явлению электромагнитной индукции.

– *Нам не известна формула* для расчёта энергии магнитного поля проводника или катушки с током.

В старших классах в курсе физики вы изучите эти количественные соотношения и углубите свои знания по теме.

Заключение

Реки – это дороги, которые и сами движутся, и нас несут туда, куда мы держим путь.

*Б. Паскаль (1623–1662),
французский мыслитель*

В курсе физики восьмого класса вами изучен ряд физических явлений, законов, величин.

За прошедший учебный год вами сделан большой шаг в изучении физики. Во-первых, углубились ваши знания об атомарно-молекулярном строении вещества. Вам теперь известно, как протекают тепловые явления и как они используются на практике. Во-вторых, вам теперь известно, что помимо вещества существует ещё одна форма материи – электрическое и магнитное поле. Открытие Фарадеем явления электромагнитной индукции позволило установить, что эти поля связаны между собой, а Максвеллом была создана теория электромагнитного поля.

Следующий шаг в познании законов природы вам предстоит сделать в 9-м классе. Вы изучите:

- Основные законы механики.
- Механические и электромагнитные колебания и волны.
- Световые явления.
- Элементы квантовой физики.

Перед тем как попрощаться с учебником физики 8-го класса, советуем вам:

- Ещё раз в конце каждого раздела прочитать «Самое важное».
- Ещё раз прочитать эпиграфы к параграфам и дать им объяснение с физической точки зрения.
- Выполнить итоговые задания.

Итоговое задание 1 ● По плану ответа подготовьте ответ:

- о явлении теплового движения;
- о явлении горения топлива;
- о явлении плавления кристаллического вещества;
- о явлении кипения жидкости;
- о явлении электрического тока,
- о явлении электромагнитной индукции.

Итоговое задание 2 ● По плану ответа подготовьте ответ:

- о первом законе термодинамики;
- о законе Ома;
- о законе Джоуля и Ленца;
- о законе электромагнитной индукции.

Итоговое задание 3 ● По плану ответа подготовьте ответ о величинах, указанных в таблице на заднем форзаце учебника.

Итоговое задание 4 ● По плану ответа подготовьте ответ об опыте, который подтверждает:

- изменение внутренней энергии тела при совершении над телом работы;
- изменение внутренней энергии тела при теплообмене;
- зависимость сопротивления проводника от его размеров и материала проводника;
- одностороннюю проводимость полупроводникового диода;
- существование явления электромагнитной индукции.

Итоговое задание 5 ● По плану ответа подготовьте ответ:

- о психрометре;
- об электрометре;
- о реостате;
- об амперметре;
- о диоде.

Спасибо за работу! До встречи в 9-м классе.

Ответы к заданиям

2.4. 7,2 МДж. **2.5.** 50 Дж. **3.5.** На 177 Дж; в первую минуту. **4.5.** 4,2 Дж.
4.10. 11,5 кДж. **5.1.** 680 МДж. **5.2.** 160 МДж. **5.3.** Торф. **5.4.** 240 м.
6.1. 35 %. **6.2.** 33 %. **6.3.** 25 %. **6.4.** 25 %. **7.3.** 30 %. **7.4.** 74 т. **7.5.** 0,13 %.
8.2. На $2100 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}}$; в 2 раза. **8.3.** 17,3 кДж. **8.4.** 230 кДж. **9.1.** 0,2 кг.
9.2. 16 800 МДж. **9.3.** 68 °С. **9.4.** 25 °С. **10.1.** 42 Дж. **10.2.** 4,1 г. **10.5.** 140 °С.
10.7. 13 м. **10.8.** $3900 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}}$. **10.10.** 65 °С. **12.3.** На превращение в пар;
 в 7,5 раза. **13.1.** 744 кДж. **13.2.** Больше количество теплоты потребуется для
 плавления железа. **13.3.** 0,2 кг. **13.4.** 8,2 кг. **14.2.** 1,3 кг. **14.3.** Внутренняя энергия
 свинца в жидком состоянии больше на 12 кДж. **14.4.** 2,5 кг. **14.5.** 5 г.
I.1. 4,6 МДж. **I.2.** 26 кг. **I.3.** 25 %. **15.1.** Электронная оболочка атома в нейтральном
 состоянии содержит 17 электронов; чтобы атом хлора стал отрицательным ионом, число электронов
 должно быть больше 17. **16.3.** 20 мкН.
16.5. 36 Дж. **20.5.** 40 Вт. **21.1.** 0,15 А. **21.2.** 100 В. **21.3.** 27,5 Ом. **21.4.** 5 Ом.
22.1. 0,5 мА. **22.2.** 2 мОм. **22.3.** 120 В; 90 В. **22.4.** Сопротивление первого
 резистора больше сопротивления второго резистора в 2 раза. **23.1.** 33 Ом.
23.2. 1,5 Ом; 3 А. **24.1.** 0,50 Ом·мм²/м. **24.2.** 0,33 мм². **24.3.** 14 м. **24.4.** 1 Ом.
24.5. Удельное сопротивление второго проводника больше удельного сопротивления
 первого проводника в 4,5 раза. **25.1.** 12 Ом; 3 Ом. **25.2.** 24 Ом.
25.3. 3,6 Ом. **25.4.** 60 Ом; 0,5 А; 0,5 А; 20 В. **25.5.** 27 В. **26.1.** 15 кОм; 6 кОм.
26.2. 3 Ом. **26.3.** 0,9 Ом. **26.4.** 13 Ом; 40 В; 40 В; 1 А. **26.5.** 0,5 А. **27.1.** 4,5 В.
27.2. 0,2 А; 1 А. **27.4.** 6 Ом. **27.5.** 4,8 Ом. **28.1.** 16 Вт. **28.2.** 110 Вт; 3,96 МДж;
 1,1 кВт·ч. **28.3.** 2 А; 40 В; 60 В; 80 Вт; 120 Вт. **28.4.** 5 А; 3,3 А; 8,3 А;
 500 Вт; 330 Вт. **28.5.** 220 Дж. **29.1.** 600 кДж. **29.3.** 0,60 Ом; 1,5 кДж.
29.5. 42 Ом. **30.1.** 76 %. **30.4.** 34 м. **II.2.** 2 Ом. **II.3.** 0,25 Ом. **II.4.** Необходимо
 использовать предохранитель на 10 А. **32.2.** 75 Мм/с; скорость составляет
 25 % от скорости света. **32.4.** 50 кВ. **32.5.** 7,8 км/с. **33.3.** 30 А. **33.4.** 0,5·10⁻¹² Н.
34.3. 500 кВт; от 26 до 34 часов. **35.1.** В 2,5 раза. **35.2.** Первый график относится
 к освещённому фоторезистору; в 4 раза. **35.3.** 0,75 мА. **35.4.** 0,24 мА.
36.2. 100 Ом; 400 кОм; в 4000 раз. **36.5.** 20 Ом; 4 Ом. **III.1.** В 18 раз. **III.3.** 38 %.
III.5. 0,45 В. **40.2.** 72 %. **41.4.** 50 А; 4,4 Ом; 17,5 А; 12,6 Ом. **43.2.** 11 МДж.

Предметно-именной указатель

А

Абсолютная шкала температур 12
 Абсолютный нуль температуры 11
 Аккумулятор 101
 Аморфные тела 62
 Ампер (единица измерения) 106
Ампер А.М. 106
 Амперметр 108
 Анализ 77
 Аналогия 22
 Анод 101
 Атом 85

В

Вакуум 166
 Взаимодействие магнитное 194
 Взаимодействие электрическое 85
 Внутренняя энергия 13
 Вольт 111
Вольт А. 111
 Вольт-амперная характеристика 165
 Вольтметр 113
 Выключатель автоматический 154

Г

Газовая турбина 43
Гальвани А. 101
 Гальванический элемент 101
 Гальванометр 217
Герц Г. 94
 Горение топлива 30
 Громкоговоритель 212

Д

Двигатель внутреннего сгорания 41
 Дизель 42
 Диод 187

Диэлектрик 90
 Дуга электрическая 172
 Дырка (в полупроводниках) 183

З

Закон
 – Джоуля и Ленца 149
 – Ома 117
 – сохранения электрического заряда 90
 – электромагнитной индукции 225

И

Излучение 23
 Изолятор 90
 Индукционная печь 227
 Испарение 64

К

Калориметр 56
 Катод 101
 Кельвин (единица измерения) 12
 Киловатт-час 144
 Кипение 69
 Количество теплоты 16
 Коллектор электродвигателя 210
 Конвекция 21
 Конденсатор 95
 Конденсация 65
 Короткое замыкание 154
 КПД теплового двигателя 38
 – максимально возможный 38
 Кристаллизация 61
 Кристаллические тела 60
 Кулон (единица измерения) 91
Кулон Ш. 89

Л

Лампа накаливания 153
Ленц Э.Х. 149

Лодыгин А.Н. 151
Ломоносов М.В. 11

М

Магнит постоянный 197
 Магнитная
 – аномалия 203
 – буря 203
 Магнитное
 – поле 194
 – Земли 201
Максвелл Дж.К. 93
 Материя 92
 Масс-спектрограф 206
 Модель 35, 163
 Мощность тока 142

Н

Нагревание вещества 46
 Нагреватель теплового
 двигателя 36
 Напряжение электрическое 111
 Насыщенный пар 66
 Нейтрон 85

О

Ом (единица измерения) 118
Ом Г. 117
 Относительная влажность
 воздуха 67
 Охлаждение вещества 46

П

Первый закон
 термодинамики 16
 Переход р-п 186
 Плавкий предохранитель 154
 Плавление 60
 Поле электрическое вихревое 223
 Полупроводник
 – р-типа 185
 – п-типа 185
 Полярное сияние 206
Полов А.С. 94
 Потребитель электроэнергии 103

Пробка электрическая 154
 – автоматическая 154
 Проводимость полупроводников
 – дырочная 182
 – примесная 185
 – собственная 185
 – электронная 182
 Проводник 90
 Протон 85
 Психрометр 68
 Психрометрическая таблица 68

Р

Работа тока 143
 Рабочее тело теплового
 двигателя 36
 Разряд
 – газовый 172
 – дуговой 172
 – искровой 173
 – коронный 174
 – тлеющий 175
 Ракетный двигатель 43
 Резистор 103
 Реле 215
 Реостат 125
 Ротор электродвигателя 210

С

Сверхпроводимость 165
 Сила тока 106
 Силовые линии магнитного поля 198
 Соединение проводников
 – последовательное 132
 – параллельное 134
 Солнечный ветер 202
 Сопротивление 118
 Статор электродвигателя 210

Т

Телевидение 170
 Телеграф 216
 Температура
 – кипения 70
 – плавления (кристаллизации) 60

Тепловизор 28
Тепловое движение 10
Тепловой двигатель 36
Теплообмен 16
Теплопроводность 20
Терморезистор (термистор) 181
Термоэлектронная эмиссия 167
Томсон Дж.Дж. 167

У

Удельная
– теплоёмкость 48
– теплота
– парообразования 74
– плавления 72
– сгорания топлива 31
Удельное сопротивление 123
Ускоритель заряженных
частиц 207

Ф

Фарадей М. 92
Ферромагнетик 199
Фоторезистор 182

Х

Холодильник теплового
двигателя 37

Э

Экология 44
Электризация тел 86
Электрическая цепь 100
Электрический
– генератор 102
– заряд 85
– ток 97
Электрическое поле 92
Электрод 101
Электродвигатель 210
Электролиз 179
Электромагнит 213
Электромагнитные волны 94
Электрометр 87
Электрон 85
Электронагревательный
прибор 151
Электронная
– лавина 173
– лучевая трубка 167
– пушка 168
Электроскоп 91

Я

Явление электромагнитной
индукции 220
Ядро атома 85

Краткий справочник по курсу физики 7 класса

1. *Механическое движение* – изменение положения тела в пространстве относительно других тел с течением времени. Быстрота механического движения характеризуется скоростью.

$$v_{\text{равном}} = \frac{s}{t}$$

Величина	Скорость	Путь	Время
Обозначение	v	s	t
Единица измерения	$\frac{\text{м}}{\text{с}}$	м	с

2. Скорость тела изменяется при его взаимодействии с другими телами. *Мерой взаимодействия тел является сила*. Сила измеряется в ньютонах (Н).

$$F_{\text{тяж}} = mg$$

$$g = 10 \frac{\text{Н}}{\text{кг}}$$

(вблизи Земли)

Величина	Сила тяжести	Масса	Коэффициент
Обозначение	$F_{\text{тяж}}$	m	g
Единица измерения	Н	кг	$\frac{\text{Н}}{\text{кг}}$

3. *Механическая энергия* – мера движения и взаимодействия тел. Энергия измеряется в джоулях (Дж). *В природе выполняется закон сохранения и превращения энергии*.

Кинетическая энергия – мера движения тела.

Потенциальная энергия – мера взаимодействия тел.

$$E_n = mgh$$

Величина	Потенциальная энергия взаимодействия «тело – Земля»	Масса тела	Высота над Землей
Обозначение	E_n	m	h
Единица измерения	Дж	кг	м

4. *Механическая работа* силы, действующей на тело, определяется изменением кинетической энергии тела.

$$A = E_k - E_{k0}$$

Величина	Работа	Конечная кинетич. энергия тела	Начальная кинетич. энергия тела
Обозначение	A	E_k	E_{k0}
Единица измерения	Дж	Дж	Дж

В случае действия постоянной силы, направленной вдоль перемещения тела,

$$A = Fs$$

Величина	Работа	Сила	Перемещение
Обозначение	A	F	s
Единица измерения	Дж	Н	м

5. *Мощность* характеризует быстроту выполнения работы. Мощность измеряется в ваттах (Вт).

$$N = \frac{A}{t}$$

Величина	Мощность	Работа	Время
Обозначение	N	A	t
Единица измерения	Вт	Дж	с

6. Эффективность механизма по преобразованию энергии в полезную работу характеризуется *коэффициентом полезного действия*.

$$KПД = \frac{A_{полезн}}{A_{полн}} \cdot 100 \%$$

Величина	Коэф. полезн. действия	Полезная работа	Полная работа
Обозначение	$KПД$	$A_{полезн}$	$A_{полн}$
Единица измерения	%	Дж	Дж

7. *Вещество* состоит из отдельных частиц – атомов и молекул, которые находятся в непрерывном хаотическом тепловом движении.

8. Вещества различаются по плотности. *Плотность* – масса единицы объёма вещества.

$$\rho = \frac{m}{V}$$

$$1 \frac{\text{г}}{\text{см}^3} = 1000 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$

Величина	Плотность	Масса	Объём
Обозначение	ρ	m	V
Единица измерения	$\frac{\text{г}}{\text{см}^3}, \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$	г, кг	$\text{см}^3, \text{м}^3$

9. Давление – величина, численно равная силе, действующей на единицу площади поверхности перпендикулярно поверхности. Давление измеряется в паскалях (Па).

$$p = \frac{F}{s}$$

Величина	Давление	Сила	Площадь
Обозначение	p	F	s
Единица измерения	Па	Н	м^2

10. Давление, производимое атмосферой, около 100 кПа. Давление газа определяется его плотностью и температурой. Давление, производимое столбом жидкости, зависит от плотности и высоты столба жидкости.

$$p = \rho gh$$

Величина	Давление столба жидкости	Плотность жидкости	Высота столба жидкости
Обозначение	p	ρ	h
Единица измерения	Па	$\text{кг}/\text{м}^3$	м

11. На тело, погружённое в жидкость или газ, действует выталкивающая (архимедова) сила.

$$F_{арх} = \rho g V$$

Величина	Аrchимедова сила	Плотность жидкости, газа	Объём погружённой части тела
Обозначение	$F_{арх}$	ρ	V
Единица измерения	Н	$\text{кг}/\text{м}^3$	м^3

Оглавление

Обращение к ученику.....	3
Раздел 1. ТЕПЛОВЫЕ ЯВЛЕНИЯ.....	7
§ 1. Тепловое движение. Температура.....	8
§ 2. Внутренняя энергия и способы её изменения.....	13
§ 3. Виды теплообмена.....	19
§ 4. Теплообмен в природе и технике.....	25
§ 5. Горение топлива. Удельная теплота сгорания топлива.....	30
§ 6. Тепловые двигатели.....	35
§ 7. Применение тепловых двигателей.....	40
§ 8. Нагревание и охлаждение вещества.....	46
§ 9. Решение задач по теме «Нагревание и охлаждение вещества»..	50
§ 10. Лабораторная работа «Определение удельной теплоёмкости»..	56
§ 11. Плавление. Кристаллизация.....	59
§ 12. Испарение. Конденсация. Кипение.....	64
§ 13. Теплота плавления. Теплота парообразования.....	72
§ 14. Решение задач по теме «Тепловые явления».....	76
Самое важное в разделе «Тепловые явления».....	81
P. S.	82
Раздел 2. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ЯВЛЕНИЯ.....	83
§ 15. Электрическое взаимодействие. Проводники и изоляторы....	85
§ 16. Электрическое поле. Конденсаторы.....	92
§ 17. Электрический ток.....	96
§ 18. Электрическая цепь.....	100
§ 19. Сила тока.....	105
§ 20. Электрическое напряжение.....	110
§ 21. Закон Ома для участка цепи. Электрическое сопротивление..	115
§ 22. Лабораторная работа «Определение сопротивления участка цепи».....	120
§ 23. Удельное сопротивление. Реостаты.....	122
§ 24. Решение задач по теме «Расчёт сопротивления проводников»..	127
§ 25. Последовательное и параллельное соединение проводников..	132
§ 26. Лабораторная работа «Изучение последовательного соединения проводников».....	138
§ 27. Лабораторная работа «Изучение параллельного соединения проводников».....	140
§ 28. Мощность и работа тока.....	142
§ 29. Закон Джоуля и Ленца. Электронагревательные приборы....	148

§ 30. Лабораторная работа	
«Определение КПД электронагревателя воды».....	155
Самое важное в разделе «Электрические явления».....	158
P. S.	160
Раздел 3. ТОК В РАЗЛИЧНЫХ СРЕДАХ.....	161
§ 31. Ток в металлах.....	162
§ 32. Ток через вакуум. Электронно-лучевая трубка.....	166
§ 33. Ток в газах.....	172
§ 34. Ток в электролитах.....	177
§ 35. Полупроводники.....	180
§ 36. Примесная проводимость полупроводников.....	184
Самое важное в разделе «Ток в различных средах».....	190
P. S.	191
Раздел 4. МАГНИТНЫЕ ЯВЛЕНИЯ.....	192
§ 37. Магнитное поле.....	193
§ 38. Постоянные магниты. Магнитное поле Земли.....	197
§ 39. Движение заряженной частицы в магнитном поле.....	204
§ 40. Действие магнитного поля на проводник с током.	
Электродвигатель.....	209
§ 41. Электромагниты.....	213
§ 42. Явление электромагнитной индукции.....	217
§ 43. Вихревое электрическое поле.....	223
Самое важное в разделе «Магнитные явления».....	228
P. S.	229
Заключение.....	229
Ответы к заданиям	231
Предметно-именной указатель	232
Краткий справочник по курсу физики 7 класса.....	235

Андрюшечкин Сергей Михайлович

ФИЗИКА

8 класс

Обобщённые планы построения ответов
предложены академиком РАО *А.В. Усовой*

Автор выражает признательность за помощь в подготовке учебника
О.Я. Евдокимовой, К.А. Лоушко, И.Г. Кузнецовой

Концепция оформления и художественное редактирование – *Е.Д. Ковалевская*

Подписано в печать 18.05.15. Формат 70 × 90/16.
Печать офсетная. Бумага офсетная. Гарнитура Журнальная.
Объём 15 п.л. Тираж 4 000 экз. Заказ №

Общероссийский классификатор продукции ОК-005-93, том 2; 953005 – литература учебная

Издательство «Баласс»
109147 Москва, Марксистская ул., д. 5, стр. 1
Почтовый адрес: 111123 Москва, а/я 2, «Баласс»
Телефоны для справок: (495) 368-70-54, 672-23-12, 672-23-34
<http://www.school2100.ru> E-mail: izd@balass.su

Отпечатано в филиале «Смоленский полиграфический комбинат»
ОАО «Издательство "Высшая школа"»
214020 Смоленск, ул. Смольянинова, 1