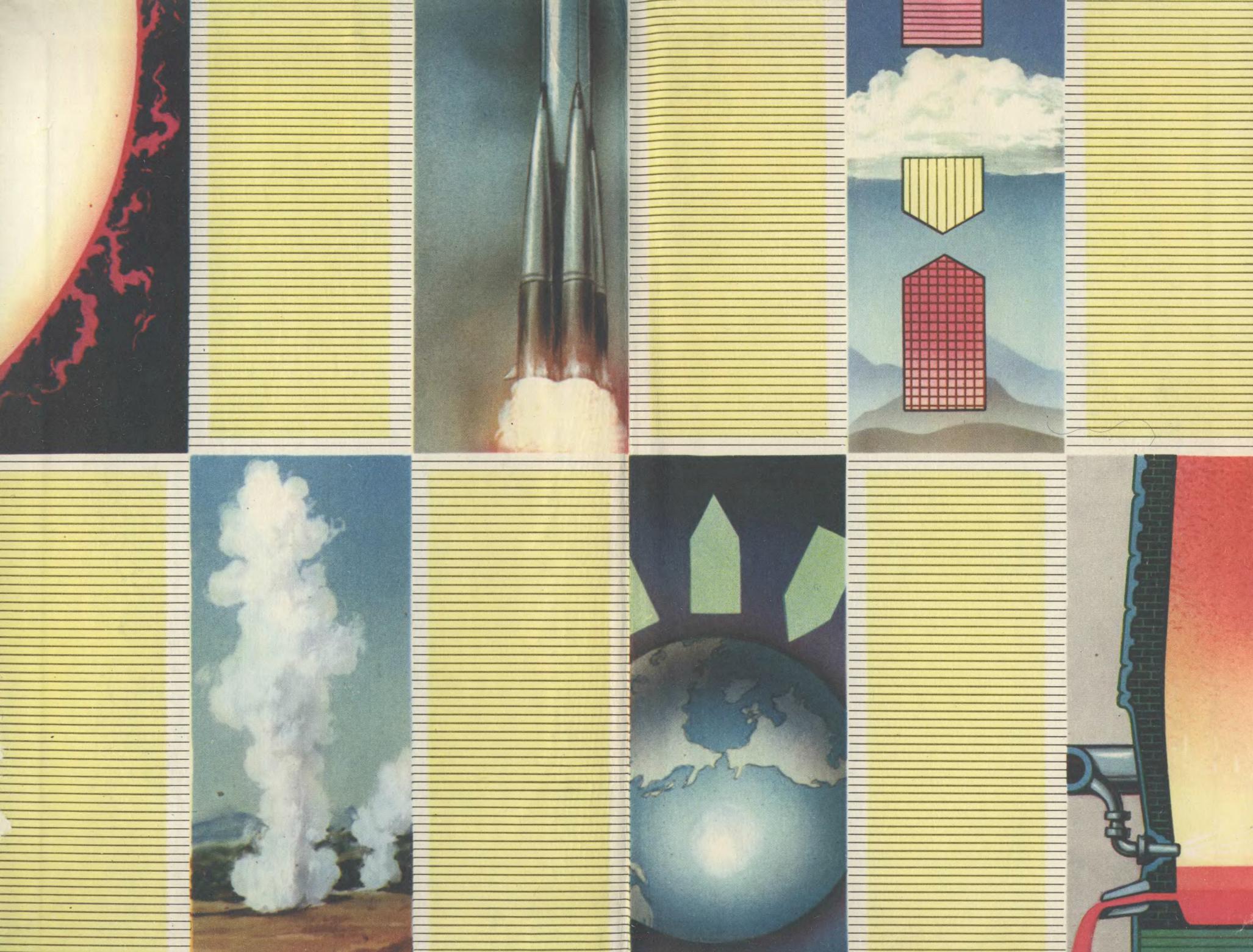




ФИЗИКА- ЮНЫМ

S

N



ФИЗИКА- **ЮНЫМ**

Теплота. Электричество

**Книга для внеklassного чтения
7 класс**

Составитель М. Н. АЛЕКСЕЕВА

МОСКВА „ПРОСВЕЩЕНИЕ“ 1980

Рекомендовано к изданию Главным управлением школ
Министерства просвещения СССР

Составитель *Мария Николаевна Алексеева*
ФИЗИКА — ЮНЫМ
ТЕПЛОТА. ЭЛЕКТРИЧЕСТВО

Редактор *А. И. Юдина*

Редактор карт *М. Д. Киселева*

Художники *С. Ф. Лухин, Л. С. Вендро*

Художественный редактор *В. М. Прокофьев*

Технический редактор *Л. Е. Пухова*

Корректор *О. В. Ивашина*

ИБ № 3358

Сдано в набор 23.08.79. Подписано к печати 07.02.80. 60×90¹⁶. Бум. типограф. № 8. Гарнит. школьн. Печать высокая. Усл. печ. л. 10+0,25 вкл.+0,25 форза. Уч.-изд л. 9,99+0,26 вкл.+0,45 форза. Тираж 640 000 экз. Заказ № 104.

Цена 66 коп.

Ордена Трудового Красного Знамени издательство «Просвещение» Государственного комитета РСФСР по делам издательств, полиграфии и книжной торговли. Москва, 3-й проезд Мариной рощи, 41.

Отпечатано с матриц Саратовского ордена Трудового Красного Знамени полиграфкомбината на Калининском ордена Трудового Красного Знамени полиграфкомбинате детской литературы им. 50-летия СССР Ростгравполиграфпрома Госкомиздата РСФСР. Калинин, проспект 50-летия Октября, 46.

Алексеева М. Н.

А 47 Физика — юным: Термология. Электричество. Кн. для внеклассного чтения. 7 кл./Сост. М. Н. Алексеева. — М.: Просвещение, 1980.—160 с.

Книга содержит материал по теплоте и электричеству в виде статей, очерков, занимательных задач и ребусов, составленный по программе 7 класса средней школы.

Ф 60601—395
103(03)—80 инф. письмо 4306021100

ББК 22.36+22.33
530.1+537

К ЮНЫМ ЧИТАТЕЛЯМ

Много интересного таит в себе окружающий нас мир. Вероятно, вам хочется больше знать о творениях рук человеческих, например о машинах, их двигателях. Какой двигатель лучше? И кто их изобрел? Как делают вещи, которые вас окружают? Как работают автоматы?

Вас интересуют и явления, протекающие в природе. Почему идет дождь? Нельзя ли вызвать дождь по желанию человека? Как животные могут переносить зимнюю стужу?

Сотни, тысячи «как», «кто», «почему» встают перед вами. Ответы на многие вопросы вы узнаете из школьного курса физики, из передач по радио и телевидению. Эти ответы можно найти и в научно-популярных книгах. Одна из них, предлагаемая вашему вниманию, — «Физика — юным».

Вы учитесь в школе. Одна из важнейших ее задач — подготовка молодежи к трудовой деятельности. Вероятно, не каждый из вас остановил свой выбор на какой-либо профессии. Но вам следует уже сейчас поразмысльть над тем, что для освоения очень многих профессий нужны основательные знания по физике.

Эта книга поможет вам глубже понять смысл физических законов и явлений, вы узнаете, как люди научились их применять, и увидите, что многое скрыто за короткой строчкой учебника.

Если вы любите выполнять опыты, разгадывать кроссворды и другие головоломки по физике, загляните в раздел «В свободную минуту».

Каждую главу надо читать по мере того, как соответствующая тема будет изучена в школе, тогда эта книга поможет вам сделать еще один шаг по пути познания мира.

Книга написана по материалам научно-популярной литературы и статей из журналов «Наука и жизнь», «Знание — сила», «Техника — молодежи», «Юный техник».

Автор - составитель книги выражает глубокую благодарность заведующему кафедрой методики физики Куйбышевского педагогического института доценту В. А. Кондакову, доценту той же кафедры В. А. Бетееву, преподавателям Л. И. Соколовой и Н. И. Сироткиной за их ценные советы и помощь.

ТЕПЛОТА

ГЛАВА

ТЕПЛОПЕРЕДАЧА И РАБОТА

ИЗ ИСТОРИИ ТЕРМОМЕТРА

Древние ученые о тепловом состоянии, т. е. о температуре тела, судили по непосредственному ощущению. Но лишь после изобретения термометра исследование тепловых явлений началось по-настоящему. Первый прибор для наблюдений за изменением температуры (термоскоп)¹ придумал итальянский ученый Галилео Галилей примерно в 1597 г. Этот прибор (рис. 1, а) представлял собой небольшой стеклянный шарик 1 с припаянной к нему стеклянной трубкой 2. Шарик слегка нагревали и конец трубки опускали в сосуд 3 с водой. Через некоторое время воздух в шарике охлаждался, его давление уменьшалось и вода под действием атмосферного давления поднималась по трубке вверх на некоторую высоту h . В дальнейшем при потеплении давление воздуха в шарике увеличивалось и уровень воды в трубке понижался; при охлаждении же вода в ней поднималась. Следовательно, при помощи этого прибора можно было судить только об изменении степени нагретости тела: числовых значений температуры он не показывал, ибо не имел шкалы. Кроме того, уровень воды в трубке зависел не только от температуры, но и от атмосферного давления. И все же создание термоскопа было первым и важным шагом в термометрии.

В 1657 г. термоскоп Галилея был усовершенствован флорентийскими учеными. Они снабдили прибор шкалой из бусин и откачали воздух из резервуара (шарика) и трубки. Это позволило не только качественно, но и количественно сравнивать температуры тел.

Позже прибор был изменен (рис. 1, б): его перевернули шариком вниз, в трубку вместо воды налили спирт и удалили сосуд. Действие этого прибора основывалось на расширении спирта при нагревании, причем показания прибора не зави-

¹ По-гречески: *терм(о)* — тепло, *скоп(ия)* — смотреть.

сели от атмосферного давления. Это был один из первых термометров.

Показания термометров того времени не согласовывались друг с другом, так как не было договоренности о том, как градуировать их шкалы. Например, в качестве «постоянных» точек брали температуры наиболее жаркого летнего и наиболее холодного зимнего дня.

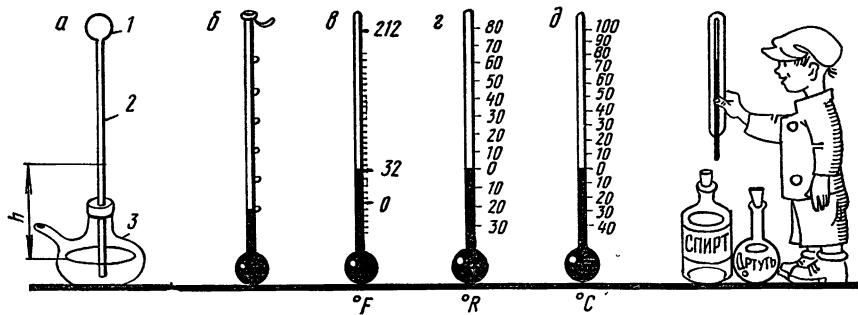
Постоянные точки термометра были установлены в XVIII в. К этому времени уже было известно, что при атмосферном давлении температуры таяния льда и кипения воды постоянны. Эти сведения использовались при усовершенствовании термометров.

В 1714 г. голландский ученый Д. Фаренгейт изготовил ртутный термометр. Погрузив его в смесь льда и поваренной соли, ученый обозначил 0°F . Затем он принял точку таяния льда за 32°F , а точку кипения воды оказалась равной 212°F (рис. 1, *a*). Термометром Фаренгейта пользуются в наше время в США.

В 1730 г. французский физик Р. Реомюр предложил спиртовый термометр (рис. 1, *б*) с постоянными точками таяния льда (0°R) и кипения воды (80°R).

Примерно в это же время в Швеции физик А. Цельсий пользовался ртутным термометром, у которого промежуток между точками таяния льда и кипения воды был разделен на 100 градусов. Чтобы избежать отрицательных чисел при измерении низких температур, он принял точку замерзания воды за 100 градусов, а точку кипения воды за 0 градусов. Однако более удобной оказалась «перевернутая» шкала, на которой температуру таяния льда обозначили 0°C , а температуру кипения воды 100°C (рис. 1, *в*). Таким термометром впервые пользовались шведские ученые ботаник К. Линней и астроном М. Штремер. Этот термометр получил широкое распространение.

Рис. 1.



Как видим, нуль отсчета на шкалах термометров Фаренгейта, Реомюра и Цельсия был выбран произвольно. В 1848 г. английский физик Вильям Томсон (lord Кельвин) доказал возможность создания абсолютной шкалы температур, нуль которой не зависит от свойств воды или вещества, заполняющего термометр. Об этой шкале температур (шкале Кельвина) вы узнаете подробнее в IX классе. Здесь отметим лишь значение абсолютного нуля: $-273,15^{\circ}\text{C}$. При этой температуре прекращается тепловое движение молекул. Следовательно, становится невозможным дальнейшее охлаждение тел.

В настоящее время широко применяют спиртовые и ртутные термометры различного назначения и конструкции. В них для измерения температуры используется увеличение объема тел при нагревании. Но применяются и термометры, действие которых основано на зависимости от температуры других физических величин. Это позволило увеличить точность измерения температуры. Получена также возможность измерять как весьма низкие, так и очень высокие температуры.

Важно помнить, что любой термометр измеряет собственную температуру. Чтобы с его помощью измерить, допустим, температуру воды, необходимо, чтобы в результате теплобмена между водой и термометром наступило тепловое равновесие и их температуры сравнялись. Только тогда можно сделать отсчет по шкале термометра, причем шарик термометра из воды вынимать нельзя.

Рассмотрите теперь цветную вклейку I — вы совершите своего рода «путешествие» по шкале температур.

ЧТО ТАКОЕ ТЕПЛОТА?

В XVIII в. многие ученые считали, что теплота — это особое вещество «теплород», невесомая жидкость, содержащаяся в телях. Приток теплорода в тело должен вызывать его нагрев, убыль — охлаждение. Количество теплорода во всех тепловых процессах должно оставаться неизменным. Теория теплорода удовлетворительно объясняла многие известные в то время тепловые явления.

Решительным противником теории теплорода был М. В. Ломоносов. Он считал, что природа теплоты состоит в движении молекул тела, которые он называл корпускулами. Ломоносов полагал, что корпускулы совершают вращательное движение. На основе своих представлений Ломоносов объяснял такие тепловые явления, как теплопроводность, плавление и т. д. Вот его объяснение процесса теплопроводности: при соприкосновении нагретого тела с холодным первое охлаждается, а второе нагревается. Это происходит потому, что корпускулы нагретого тела врачаются быстрее, чем корпускулы холодного. При соприкосновении тел движение

«быстрых» корпушки будут передаваться корпушкам холдного тела, которые врачаются медленно. В результате передачи своего движения корпушки горячего тела замедлят движение, и тело охладится, а вращение корпушки холдного тела ускорится, и оно нагреется.

Однако голос Ломоносова тонул в хоре голосов, восхвалявших теорию теплорода. Решить вопрос о том, верна ли эта теория или нет, мог только наглядный, убедительный опыт. Такие опыты были поставлены в конце XVIII в.

В 1798 г. английский ученый Бенджамин Томсон (граф Румфорд) наблюдал за сверлением каналов в орудийных стволах. Он был поражен выделением большого количества теплоты при этой операции. Усомнившись в существовании теплорода, Румфорд решил поставить ряд специальных опытов. При одном из них в металлической болванке, помещенной под воду, высверливалось отверстие с помощью тупого сверла, приводимого в движение силой двух лошадей. Спустя два с половиной часа вода закипела. «Изумление окружающих, увидевших, что такая масса воды закипает без огня, было неописуемо», — вспоминал Румфорд. Из своих опытов он сделал вывод, что никакого теплорода не существует, а причина теплоты заключается в движении.

В 1799 г. английский физик и химик Гемфри Дэви произвел новый эксперимент, который тоже свидетельствовал против теории теплорода. Опыт Дэви состоял в следующем: под колокол воздушного насоса, откуда предварительно был выкачен воздух, помещались два куска льда при температуре 0 °С. Оба куска можно было тереть друг о друга при помощи специального часового механизма. При трении лед таял, причем температура получившейся воды оказалась на несколько градусов выше 0 °С. С точки зрения теории теплорода этот опыт совсем необъясним, поскольку удельная теплоемкость льда меньше, чем у воды. Отсюда Дэви заключил, что теплота могла появиться только в результате движения. «Итак, — писал Дэви, — самими опытами доказано, что теплородная жидкость не существует».

Опыты Румфорда и Дэви нанесли теории теплорода сокрушительный удар. Но прошло еще много лет, прежде чем учёные полностью отказались от привычных теплородных представлений.

ТЕПЛОТА РЕЗАНИЯ И ... СВАРКА ТРЕНИЕМ

Если вам случалось вытачивать какую-либо деталь на станке, то вы знаете, как сильно нагреваются при этом и резец, и заготовка, и стружка. Разогрев происходит в результате трения инструмента о деталь и о стружку, причем

до 99 % теплоты резания идет на нагревание стружки. При скоростной обработке температура в зоне резания достигает более 800 °С. Чем больше скорость или усилие подачи (т. е. чем больше мощность), тем больше разогрев, который увеличивает износ режущего инструмента. Заметим, что нагрев инструмента зависит и от других причин, например от тепло-проводности материала инструмента и изделия. Чем выше их теплопроводность, тем быстрее отводится теплота от наиболее нагревающихся мест.

Чтобы уменьшить нагрев, в зону резания подают жидкость, которая и охлаждает, и смазывает трущиеся поверхности резца, стружки и детали. Кроме того, жидкость вымывает стружку из зоны резания. Для этой цели лучше всего подходит вода: ведь из всех распространенных жидкостей у нее самая большая удельная теплоемкость. К воде для лучшей смазки добавляют различные вещества, например мыло.

В подавляющем большинстве случаев выделение тепла при трении — явление вредное, и в технике с ним ведется борьба. Вредными являются и давно известные случаи приваривания стружки к резцу. Но в конце XIX в. были сделаны удачные попытки сварки трением металлических прутков. Однако практическое применение этот способ сварки нашел лишь в 60-х годах нашего столетия, когда токарь-новатор А. И. Чудиков доказал возможность получения доброкачественного соединения стальных стержней с помощью нагрева трением. По идеи А. Чудикова были построены станки для сварки трением.

... В зажимы станка, похожего на токарный, закрепляют две стальные детали. Нажатием кнопки на щите управления сводятся вплотную детали и с большой силой прижимаются друг к другу. Нажатие другой кнопки — и одна деталь начинает быстро вращаться (рис. 2, а). Несколько секунд... и в местестыковки деталей возникает огненное кольцо: в результате трения выделяется большое количество теплоты, температура быстро повышается. Между трущимися поверхностями появляется тонкий слой расплавленного металла. Наш рассказ длится дольше, чем сварка. Станок остановился, огненное кольцо уже потухло, расплавленный металл затвердел. Деталь сварена. Ее внешний вид и разрез показаны на рисунке 2, б. Сварное соединение оченьочно, прочнее цельного металла.

ТЕРМОРЕГУЛИРОВАНИЕ «ЛУНОХОДА-1»

17 ноября 1970 г. на поверхность Луны в районе Моря Дождей совершила мягкую посадку станция «Луна-17» и с нее по трапам сошел «Луноход-1» — первый самодвижущийся

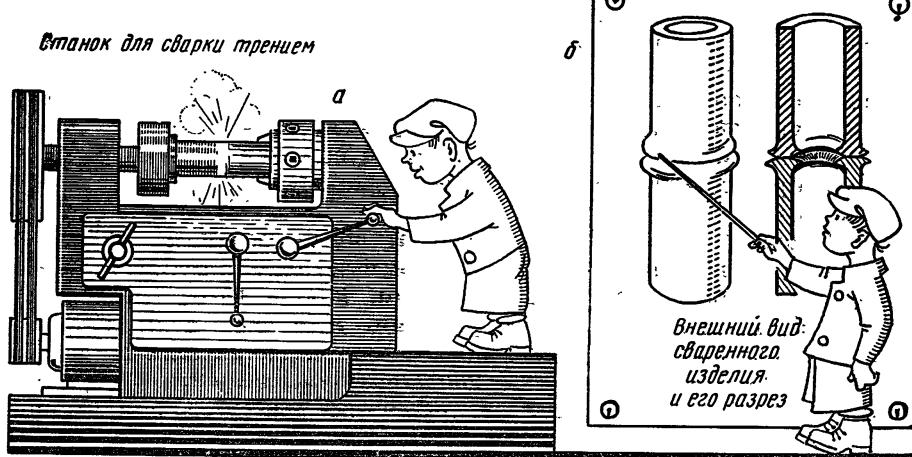
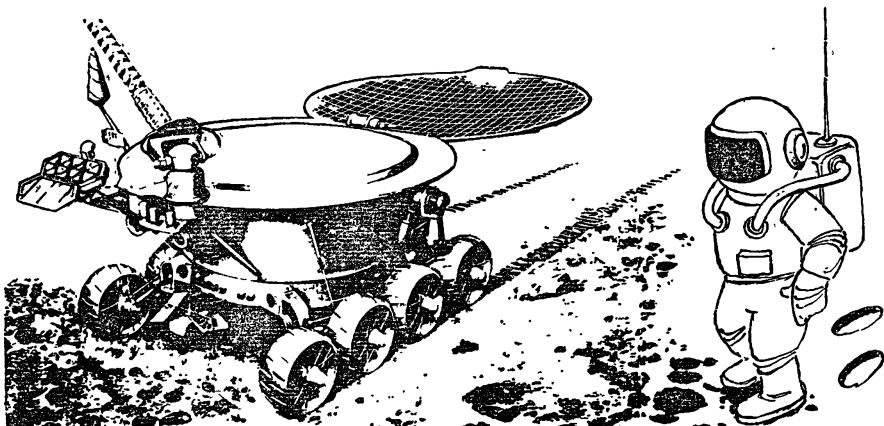


Рис. 2.

аппарат, управляемый человеком с Земли (рис. 3). Он передал на Землю много ценных сведений и закончил свою работу 4 октября 1971 г. Успешная и длительная работа «Лунохода» — большое достижение отечественной науки и техники.

Условия, в которых работал «Луноход-1», весьма своеобразны. Луна отражает всего лишь 7 % падающей на нее лучистой энергии, а 93 % поглощается, и поверхность Луны нагревается. Температура лунного грунта при отвесном падении солнечных лучей поднимается до 100 °С. Вещество, из которого состоит поверхность Луны, очень плохо проводит

Рис. 3.



тепло. Горячий слой тонок. Все это означает, что полученная от Солнца энергия уходит обратно в космос, но уже с невидимыми лучами. И получается, что днем «Луноход-1», находящийся на лунном грунте, подогревается как Солнцем, так и Луной. Ночью (а она, как и день на Луне, длится почти 14 земных суток) наступает лютая стужа, и лунный грунт остывает примерно до -150°C .

Научная аппаратура, находившаяся внутри «Лунохода-1», оставалась «жизнеспособной» только при температурах, близких к комнатной, поэтому он был оборудован системой терморегулирования. Теплоизоляция, как шуба, покрывала весь корпус «Лунохода-1», все выступающие приборы. Она состояла из многослойных тончайших металлизированных пленок, проложенных стекловатой. Это так называемый пассивный способ регулирования температуры. Но идеальных теплоизоляторов нет, поэтому применили и активный способ регулирования температуры. Вентилятор перемешивал газ внутри «Лунохода-1», создавая принудительную конвекцию, обеспечивающую равномерность температуры внутри корпуса. Автоматика регулировала движение газа, его охлаждение и подогрев. На крыше лунохода располагался радиатор, который во время жаркого лунного дня излучал избыток тепла в окружающее пространство, а ночью радиатор был закрыт «одеялом» из многослойного теплоизолятора.

Кроме того, поддержание заданной температуры обеспечивалось солнечной батареей (о ней рассказано в главе V) и «печкой», использующей энергию атомов радиоактивных веществ.

ТЕПЛОВИДЕНИЕ – ЧТО ЭТО ТАКОЕ?

Все тела, даже глыба льда, излучают энергию, но слабо нагретые тела излучают мало энергии в единицу времени. Кроме того, их излучение (его называют инфракрасным) не воспринимает человеческий глаз, поэтому слабо нагретые тела мы не видим в темноте.

Но за счет энергии инфракрасного излучения могут происходить химические реакции, благодаря чему возможно фотографирование в темноте. Если снимок сделать с самолета или с искусственного спутника Земли, можно получить важные сведения о степени нагретости больших участков поверхности Земли. Например, на снимке в инфракрасных лучах светлым тоном выделяются участки с более теплой водой, сбрасываемой в водоем заводом. Границу ее распространения нельзя заметить на обычной фотографии того же водоема. Но эту границу необходимо знать, так как излишнее повышение температуры воды вредно для ее обитателей. А охрана богатств

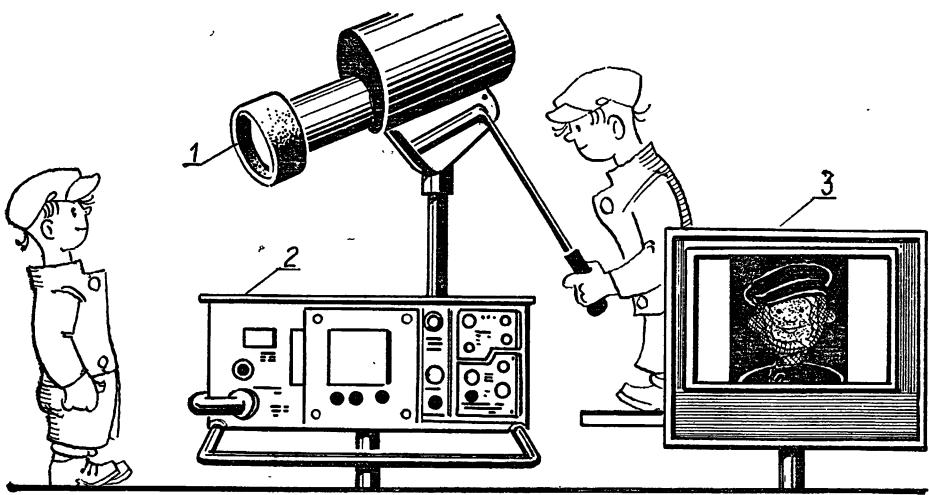


Рис. 4.

природы (и водоемов тоже) — обязанность всех граждан нашей страны. Это записано в Конституции СССР.

Недавно удалось создать чувствительную и надежную аппаратуру для немедленного видения слабо нагретых предметов — тепловизоры. Конструкции их разнообразны, но главная часть приемника тепловизора (рис. 4) — экран 1, покрытый тонким слоем фотосопротивления — веществом, у которого сопротивление прохождению электрического тока изменяется при поглощении падающей на него лучистой энергии. В электрической цепи тепловизора возникают электрические сигналы, зависящие от падающего на него инфракрасного излучения. Сигналы подаются на пульт управления 2, а затем на прибор 3, похожий на телевизор. На его экране и видно, например, что различные участки головы человека нагреты неодинаково: более светлые части изображения соответствуют более нагретым участкам.

Но бывают тепловизоры, на экране которых получают цветное изображение с условным подбором цветов; например, белая и желтая окраска соответствует теплым участкам, зеленая и синяя — самым холодным. Изображение на экране тепловизора можно сфотографировать. Так получают тепловые фотографии. Тепловизоры способны различать малые участки объекта, отличающиеся по температуре на тысячные доли градуса. Температурный интервал работы тепловизоров — от -30 до $+2000^{\circ}\text{C}$.

Для тепловидения найдется немало работы. Специалистам часто бывает важно знать, где расположен очаг повышенной

температуры. Например, литейщик хочет знать, равномерно ли нагревается отливка, в каких местах она раскалена сильнее; медики хотят найти участки, где температура кожи чуть повышенна. Ответ на эти вопросы дает тепловизор. Термовая съемка с самолета может обнаружить очаг лесного пожара, невидимый из-за дыма, или предупредить о предстоящем извержении вулкана, проследить за передвижением стада диких животных в лесу... Трудно даже определить область применения, которая посильна тепловидению.

ТЕМПЕРАТУРА И ЖИЗНЬ

Без тепла нет жизни. Известно, что слишком сильные холод и жара разрушают все живое. Но споры и семена некоторых растений выдерживают значительное охлаждение (см. цвет. вклейку I, 21, 22). Термокровные организмы — млекопитающие и птицы — имеют постоянную температуру тела (там же, 13), которая почти не зависит от изменений температуры внешней среды. Например, белая куропатка нормальную для нее температуру тела 45°C сохраняет даже при сорокаградусном морозе.

Животные с холодной кровью не имеют постоянной температуры тела, она колеблется у них в зависимости от внешних температурных условий, но может быть выше температуры окружающей среды. Например, насекомые, обитающие в полярных областях и высокогорных районах, имеют темную окраску. Темное тело насекомого хорошо поглощает солнечное излучение и имеет более высокую температуру, чем окружающий воздух.

У некоторых земноводных и пресмыкающихся имеются специальные пигментные (окрашенные) клетки, находящиеся в коже. В теплую погоду пигментные клетки малы, цвет кожи светлый, она почти не поглощает солнечное излучение. Если станет холоднее, расширяясь, клетки сливаются, окраска кожи резко темнеет, поглощение лучистой энергии увеличивается, и тело животного нагревается.

Известно, что потеря тепла пропорциональна поверхности тела, поэтому размеры ушей, хвоста, лап животного играют важную роль в экономии тепла. Например, уши у животных холодных областей всегда меньше, чем у животных, обитающих в теплых местах. Так, уши арктической лисицы малы по сравнению с ушами лисицы, живущей в умеренном климате, а их родственник из пустыни Сахары — фенек имеет огромные ушные раковины. Они пронизаны сетью кровеносных сосудов и служат «радиаторами» для охлаждения мозга фенека.

Важнейшую роль в поддержании нужной температуры тела животных играет защитный покров — жировой слой, мех или перья.

Задумывались ли вы над тем, почему горбат верблюд? Если бы жировые запасы верблюда были распределены равномерно по всему телу, то вследствие плохой теплопроводности жира в знойной пустыне верблюд не смог бы охлаждаться и погиб бы от перегревания. Толстый слой жира, напротив, способствует сохранению тепла тела пингвина, белого медведя, тюленя и моржа, которые приспособились к холодному климату. Они часами могут плавать в ледяной воде. Жировые запасы императорского пингвина к приближению зимы достигают 10—15 кг на 35 кг общей массы.

Изолирующая способность меха и перьев хорошо известна. Но они не только плохо проводят тепло (окружающий воздух еще менее теплопроводен!), они задерживают конвекционные потоки и ослабляют излучение тепла. Распушив мех, раздув перья, животные образуют воздушную подушку, изоляционные свойства которой тем больше, чем она толще. Понаблюдайте, например, как изменяется внешний вид воробья зимой и летом.

Нижняя поверхность лап животных не покрыта мехом, но лапы не замерзают даже на снегу, так как их температура поддерживается током крови. Кровь — прекрасный теплоноситель; она на 75—80 % состоит из воды, удельная теплоемкость которой очень велика. Однако артериальная кровь, доходя до нижней части лапы животного, не должна быть горячей (теплопередача во внешнюю среду была бы велика). С другой стороны, венозная кровь, поступающая от лап к внутренним органам, не должна быть холодной, иначе на нагревание этой крови погребовалось бы много тепла.

«Разработанные» природой механизмы для восстановления тепла в незащищенных местах тела животных похожи на те, которые ныне употребляются человеком в различных теплообменниках. Тепло артериальной крови, идущей изнутри тела, обогревает венозную кровь, возвращающуюся от конечностей, которые были в соприкосновении с «ледяной» водой или снегом. Этот теплообмен посредством противотока происходит в пучке капилляров, где вены и артерии соприкасаются. Температура лапы или носа животного постепенно снижается и приближается к температуре окружающей среды.

Благодаря описанным выше (и многим другим) приспособлениям жизнь существует, казалось бы, в самых неблагоприятных для нее условиях.

ТОПЛИВО

Человек издавна применяет различные виды топлива: каменный уголь, нефть и природный газ, торф и дрова, горючие сланцы. Для получения энергии с физической точки

зрения наиболее выгодны нефть, газ и каменный уголь, так как удельная теплота сгорания этих видов топлива высока.

... За 6 тыс. лет до н. э. добывалась нефть на берегу Евфрата. О бакинской нефти упоминается в описаниях походов Александра Македонского. Но соперничать с углем нефть начала в XX в. Использование нефти тесно связано с развитием двигателя внутреннего сгорания и таких средств транспорта, как автомобиль, самолет, тепловоз. Но первые автомобили появились только в 1885 г.

Производство рождается потреблением, на примере нефти это отчетливо видно. В начале XX в. в мировом топливном балансе на долю нефти и газа приходилось всего 3,7 %. Позднее наряду с общим ростом добычи всех видов минерального топлива происходило постепенное превращение нефти и газа в основной источник энергии. Ныне они покрывают около 70 % потребления энергии во всем мире. Однако мировые запасы нефти и газа могут быть исчерпаны за 20—50 лет.

В нашей стране добыча нефти растет и в 1980 г. будет доведена до 620—640 млн. т. Удельная теплота сгорания нефти высока — 43,5—46 МДж/кг, это значит, что 1 кг нефти может заменить примерно 1,5 кг угля, более 3 кг торфа, 4 кг дров, причем добыча и перевозка нефти требуют меньших затрат. Самый выгодный способ транспортировки нефти к потребителю — нефтепровод. Протяженность нефтепроводов растет с каждым годом. Так, например, волжская нефть по нефтепроводу «Дружба» поступает в Польшу, Чехословакию, Венгрию, ГДР.

По разведанным запасам нефти Советский Союз занимает второе место в мире, а по запасам природного газа — первое.

Уже 8 тыс. лет назад горючий газ поддерживал вечное пламя в храмах огнепоклонников, но лишь в конце XIX в. газ стали применять для освещения, приготовления пищи и отопления.

Природные газы состоят главным образом из метана — соединения углерода с водородом. Метан горит, не оставляя ни дыма, ни золы. Природный газ — самое дешевое из известных топлив; причины этого: высокая удельная теплота сгорания (около 45 МДж/кг), сравнительная простота добычи и несложность транспортировки. К месту потребления газ приходит по трубам. Диаметр труб магистральных газопроводов достигает 1,42 м, а рабочее давление газа 7,4 МПа.

Газ удобен в обращении. Газовые горелки и топки просты по конструкции, их легко зажечь и потушить, легко усилить или ослабить пламя. Переход на газовое топливо значительно оздоровляет атмосферу промышленных центров, избавляет население от дыма и копоти. Добыча газа в нашей стране в 1980 г. будет доведена до 400—435 млрд. м³.

По сравнению с нефтью и газом каменный уголь имеет меньшую удельную теплоту сгорания (27 МДж/кг). Однако и в настоящее время он является одним из самых важных источников энергии, причем его роль в снабжении страны топливом и электроэнергией будет возрастать. Добыча угля в нашей стране в 1980 г. увеличится до 790—810 млн. т.

Главный потребитель каменного угля — металлургическая промышленность. Нагревая каменный уголь без доступа воздуха, удаляют из него летучие вещества и получают кокс, плотное и одновременно пористое твердое топливо — «пищу» домны. Удельная теплота сгорания кокса — 29—31 МДж/кг. Газ, выделяющийся при коксовании угля, тоже хорошее топливо.

Треть всего добываемого каменного угля идет на электростанции. Современная тепловая электростанция мощностью в 1200 МВт потребляет 10—12 железнодорожных составов угля в сутки.

Бурый уголь, удельная теплота сгорания которого невелика (13—14 МДж/кг), выгодно сжигать в топках электростанций, построенных вблизи места добычи, так как снижаются транспортные расходы. По решению XXV съезда КПСС создаются крупные топливно-энергетические комплексы в Сибири (на базе Канско-Ачинского буроугольного бассейна) и в Казахстане (на базе Экибастузских угольных разрезов). Запасы угля этих бассейнов достигают 8 млрд. т, а мощность (толщина) пластов — 100 м! Залегают они неглубоко. Добыча угля ведется открытым способом. Стоимость вырабатываемой электроэнергии будет значительно меньше, чем при использовании самых выгодных видов топлива.

В. И. Ленин называл каменный уголь «хлебом промышленности». Эта оценка и сейчас остается в силе.

Нельзя забывать, что запасы угля на Земле обильны. Если для получения энергии использовать только уголь, то и тогда его хватит людям на 200—500 лет.

В Советском Союзе имеются богатые залежи горючих сланцев и торфа, но удельная теплота сгорания этих видов топлива не так велика: 7—15 МДж/кг для сланцев и 10,5—14,5 МДж/кг для торфа. Это означает, что разрабатывать их залежи выгодно в местах, близких к потребителю. Так, Прибалтийская и Эстонская ГРЭС, имеющие суммарную мощность 3 млн. кВт, потребляют горючие сланцы. Электроэнергия, которую вырабатывают эти станции, обходится дешево. Директивы XXV съезда КПСС предусматривают развитие добычи горючих сланцев в европейской части страны.

Экономия топлива — одна из важных задач, стоящих перед энергетиками. Ведь свыше трех четвертей электроэнергии в нашей стране вырабатывается на тепловых электростанциях. Их ведущая роль в ближайшем будущем сохранится.

ВЗРЫВ—ТРУЖЕНИК И ВРАГ

Взрыв — это быстрое горение. Выделение энергии происходит в результате химической реакции, причем за ничтожные доли секунды твердое взрывчатое вещество превращается в газ. Этот газ не может расшириться мгновенно, поэтому он имеет давление в десятки миллиардов паскалей и высокую температуру.

Сама по себе энергия взрывчатого вещества невелика. При взрыве 1 кг тротила выделяется в 8 раз меньше энергии, чем при сгорании 1 кг угля, но эта энергия при взрыве выделяется в десятки миллионов раз быстрее, чем при обычных процессах горения. Ни одна машина не может соперничать по мощности с зарядом взрывчатого вещества. Именно это и сделало взрывные работы важным средством механизации трудоемких и тяжелых процессов в промышленности, на транспорте, в строительстве, сельском хозяйстве.

С некоторыми «профессиями» взрыва вас знакомит рисунок 5. Главное поле деятельности взрыва — горнорудная промышленность. Вся железная руда, значительная часть угля, гранит, мрамор и многое другое добываются с помощью взрыва. Взрыв дробит породу на куски, которые удобно вывозить (1, 6). Когда пласти угля лежат близко к поверхности, путем взрыва снимают верхние слои «пустой» породы (2). С помощью взрыва дробят железный лом и пни (3, 7), валят старые строения (8), прокладывают тоннели и каналы, расчищают реки (4, 5).

Гигантская по масштабам работа была проведена в 1966 г. в урочище Медео, вблизи Алма-Аты. Двумя взрывами была создана защитная плотина. Летом 1973 г. на эту плотину с гор обрушился поток камней и размытой водой земли объемом 4 млн. м³. Плотина, рожденная взрывом, остановила стихию.

Нередко взрываются, принося беду, такие вещества, которые, казалось бы, не являются взрывчатыми. Например, угольная пыль — такой же враг шахтеров, как и рудничный газ. Керосин и нефть не сразу воспламеняются от горящей спички, но если их распылить в воздухе, они также дают взрывчатую смесь. В чем здесь дело? В колоссальной разнице поверхностей горения. Общая площадь поверхности пылинок во много раз больше площади поверхности одного куска вещества такой же массы. Горение же происходит с поверхности. Мельчайшие пылинки сгорают настолько быстро, что происходит взрыв. Поэтому достаточно пламени спички, случайной искры или разогрева подшипников, чтобы в помещении с запыленным воздухом произошел взрыв. Вот почему на фабриках и заводах часто можно видеть надписи «не курить» даже там, где, казалось бы, нет ничего воспламеняющегося.

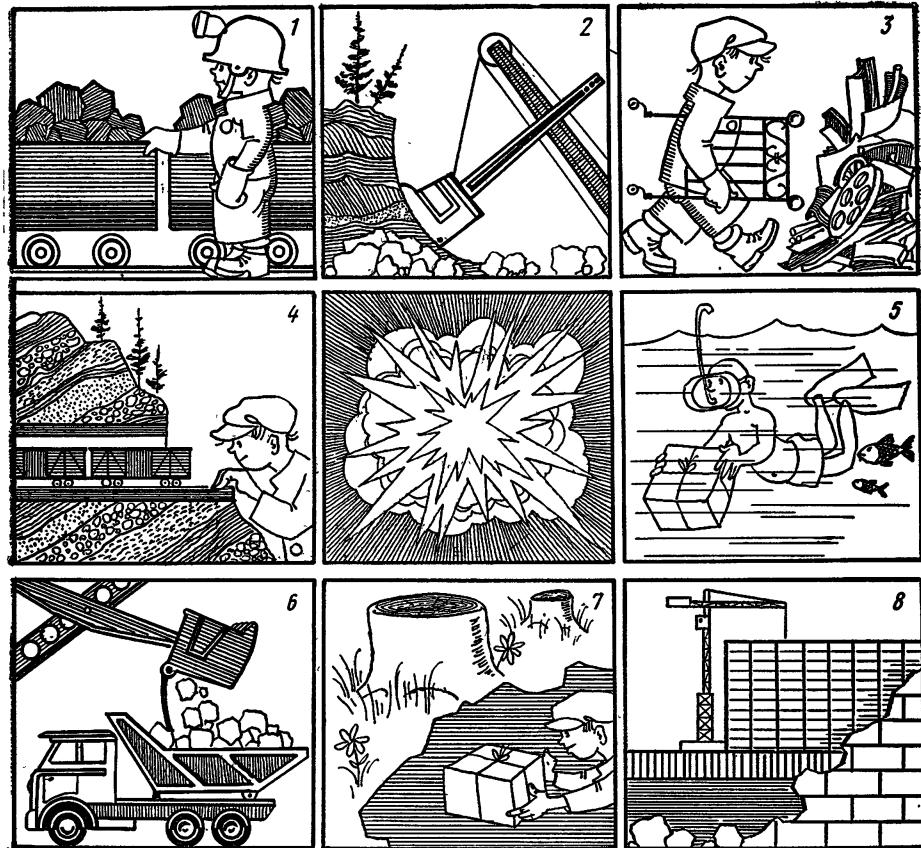


Рис. 5.

Быстрое сгорание веществ в распыленном состоянии широко используется в технике. Например, в топку котельных тепловых электростанций подается мельчайшая угольная пыль. Жидкое топливо поступает в топку в виде мельчайших капелек.

ТЕПЛО ЗЕМНЫХ НЕДР

Уже первобытному человеку было известно, что во многих местах из отверстий и трещин в земле, главным образом в горных местностях, выходит огонь, и это явление связывалось с существованием на глубине каких-то могущественных или злых существ.

Есть много доказательств тому, что температура в земных недрах очень высока: и огненная лава, изливающаяся на по-

верхность во время извержения вулканов, и горячие источники, бьющие из глубин, и повышение температуры по мере углубления в толщу земной коры. Исследования показали, что температура земной коры с глубиной возрастает чаще всего на 1 °С на каждые 28 м, но в некоторых районах гораздо быстрее. Однако с удалением от поверхности рост температуры постепенно замедляется. В 100 км под поверхностью земной коры температура равна примерно 1250 °С. Среднее значение теплового потока из глубин через каждый квадратный метр поверхности Земли составляет около 0,05 Дж в секунду. Для всей планеты в год это составляет около $8 \cdot 10^{20}$ Дж!

Наиболее распространенными и доступными для использования носителями подземного тепла являются горячая вода и пар. Уходя по трещинам в земной коре вниз, вода нагревается и уже в виде кипятка и пара возвращается назад на поверхность. В вулканических областях нашей планеты много горячих источников, которые периодически извергаются в виде фонтанов, их называют гейзерами. Температура воды в гейзерах колеблется от 60 до 99 °С. Много гейзеров в нашей стране на Камчатке. Гейзер «Великан» выбрасывает струю воды диаметром до 3 м на высоту до 30—40 м, а пар временами поднимается вверх на 400 м.

Горячая вода в земной коре существует везде, где имеются водопроницаемые породы. Подземные воды с температурой 37—100 °С и выше называют термальными. Современная буровая техника позволяет вывести горячую воду на поверхность с глубины нескольких километров, поэтому подземная вода представляет собой своеобразное полезное ископаемое. Ее запасы практически неисчерпаемы.

Тепло Земли все шире используется во многих странах. Так, в Италии работают электростанции на подземном паре, а столица Исландии Рейкьявик отапливается горячей водой и паром гейзеров. В стране, где не вызревали огурцы и томаты, сейчас можно купить ананасы и виноград, выращенные в теплицах.

В нашей стране естественную горячую воду применяли для лечебных целей еще в XVIII в. Однако промышленное ее использование началось только в конце 40-х годов XX в. на одном из заводов Северного Урала. В это же время в Дагестане бани стали работать на подземной горячей воде. Позже ее теплом стали обогреваться и жилые дома ряда городов. Районы, где уже обнаружены запасы термальных вод, нанесены на карту СССР (рис. 6). Из них наиболее известны крупные подземные бассейны горячей воды на Кавказе и в Западной Сибири. Многочисленны горячие источники на Камчатке, Курильских островах.

На Камчатке в долине реки Паужетки построена электростанция мощностью 5 МВт, работающая на подземной паро-

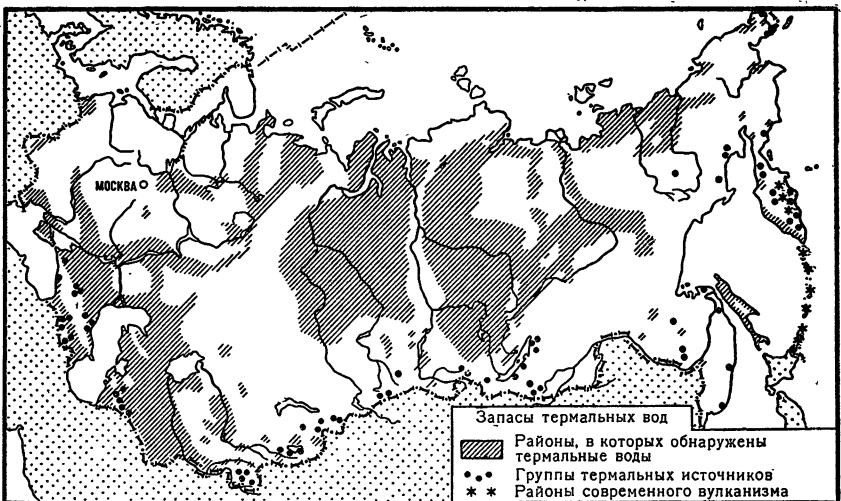


Рис. 6.

водяной смеси с температурой 144—200 °С и давлением 0,2—0,4 МПа. Стоимость энергии на этой станции в 10—15 раз меньше, чем на дизельных электростанциях. Идут работы по теплофикации населенных пунктов Камчатки за счет горячих источников. При домах отдыха имеются открытые плавательные бассейны, даже зимой температура воды в них около 37 °С. Строятся теплично-парниковые комбинаты.

Горячие подземные воды выгодно использовать в различных отраслях народного хозяйства. В суровых условиях Чукотки эти воды можно применять для оттаивания грунта и снабжения золотодобывающих драг. Крупнейшие в мире запасы термальных вод Западной Сибири могут повысить нефтедобычу пластов тюменских месторождений, так как подогретая нефть становится менее вязкой.

Новое полезное ископаемое — подземная горячая вода и пар — только начинает служить человеку, но будущее у него большое.

ИЗ ИСТОРИИ ОТКРЫТИЯ ЗАКОНА ПРЕВРАЩЕНИЯ И СОХРАНЕНИЯ ЭНЕРГИИ

Трудами ученых XVIII в. было доказано, что при совершении механической работы возникает теплота. Но какова количественная связь между ними? Всегда ли надо затратить одно и то же количество работы (и какое именно),

чтобы получить единицу количества теплоты? Ответ на эти вопросы искали многие ученые в первой половине XIX в. Подсчеты, дающие ответ на эти вопросы, содержались в рукописи молодого французского инженера Сади Карно, изданной после его смерти в 1832 г. С. Карно сформулировал закон превращения и сохранения энергии в механических и тепловых процессах. Но работа Карно тогда не привлекла внимания физиков.

Немецкий ученый Роберт Майер услышал однажды от моряка, что во время сильной бури вода нагревается. Эти слова, наряду с некоторыми наблюдениями самого ученого, побудили его взяться за определение отношения количеств работы и теплоты.

Основываясь на опубликованных в печати данных по определению удельных теплоемкостей газов, Майер подсчитал количество теплоты, необходимое для нагревания на один градус одной и той же массы газа в разных условиях. Для нагревания газа при постоянном объеме теплота Q_1 необходима только для увеличения его внутренней энергии. Для нагревания же его при постоянном давлении необходимо большее количество теплоты Q_2 , поскольку в этом случае не только внутренняя энергия газа увеличивается, но, расширяясь, он совершает работу A . Майер нашел способ рассчитать работу газа A . Затем, сравнив ее с разностью $Q_2 - Q_1$, он определил, какое количество работы «равноценно» одной калории теплоты. Этот расчет Майер выполнил в 1842 г.

Позднее в своей книге, изданной в 1845 г., Майер рассмотрел с качественной стороны превращения всех форм энергии, которые были известны в то время, и впервые сформулировал закон превращения и сохранения энергии в общей форме. В той же книге Майер описал круговорот энергии в природе, указав, что источником энергетических превращений на Земле является Солнце.

Английский ученый Джемс Джоуль, ничего не зная о работах Майера, решил поставить ряд опытов, чтобы доказать, что при различных процессах, при которых совершается работа и выделяется теплота, для получения единицы количества теплоты надо затратить одно и тоже количество работы. Уже в 1841 г. он опубликовал выводы из своих опытов по исследованию превращения работы электрического тока в теплоту. К тем же выводам независимо от Джоуля в 1842 г. пришел петербургский академик Эмiliй Ленц. Вы будете изучать в разделе «Электричество» найденный ими закон, который является частным случаем закона превращения и сохранения энергии.

Джоуль выполнил задуманную им серию опытов. Наибольшую известность получил опыт, поставленный Джоулем в 1850 г.

$$1 \text{ ккал} = 4190 \text{ Дж}$$

$$A = 2Ph$$

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

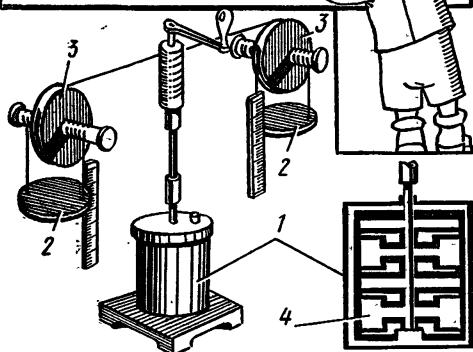


Рис. 7.

сам Джоуль пользовался иными единицами измерения физических величин. Название единицы энергии (работы) «джоуль» дано в честь Джемса Джоуля. Благодаря опытам Джоуля, Ленца и других ученых закон превращения и сохранения энергии был утвержден на прочной экспериментальной основе.

В 1847 г. вышла в свет работа немецкого ученого Германа Гельмгольца. На основе известных научных данных он теоретически исследовал превращения энергии во многих механических, тепловых, электрических, световых и химических процессах и сформулировал закон превращения и сохранения энергии как всеобщий закон природы.

Этот важнейший закон природы открыт усилиями ученых многих стран.

СУДЬБА СОЛНЕЧНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА ЗЕМЛЕ

Грандиозна мощность излучения Солнца, она составляет $3,86 \cdot 10^{26}$ Вт. Из колосального потока лучистой энергии, испускаемой Солнцем, лишь миллиардные доли достигают нашей планеты. Но эта, казалось бы, ничтожная доля огромна. Настоящая лавина лучистой энергии каждую секунду обрушивается на земной шар — $2,1 \cdot 10^{18}$ Дж! Куда же тратится это море энергии?

В калориметр 1 наливали воду, масса и температура которой были известны (рис. 7). Свинцовые грузы 2, опускаясь, приводили в движение блоки 3, которые в свою очередь вращали мешалку 4 внутри калориметра. Вследствие трения лопастей мешалки о воду температура в калориметре повышалась. Если вес грузов P , опускаются они с высоты h , то работа $A = 2Ph$. Количество теплоты $Q = cm(t_2 - t_1)$, где c — удельная теплоемкость воды, m — ее масса, $t_2 - t_1$ — повышение температуры. Из опыта Джоуля следовало, что 1 ккал = = 4190 Дж. Заметим, что

Часть этой энергии задерживается атмосферой. Чем ниже солнце над горизонтом, тем меньшая доля лучистой энергии, падающей на верхнюю границу атмосферы, доходит до поверхности Земли, так как лучи проходят при этом больший путь в атмосфере.

На что затрачивается энергия, «застрившая» в атмосфере? Главным образом на ее нагрев. В результате неравномерного нагревания различных участков атмосферы образуются ветры. Их механическая энергия — одно из превращений энергии Солнца. Большая часть солнечного излучения, достигшего поверхности земного шара, падает на гигантские зеркала океанов и морей. Эти лучи частично отражаются от них, а частью поглощаются и превращаются во внутреннюю энергию нагревшейся воды. Некоторая доля этой энергии пойдет на испарение воды и после ряда превращений станет гидроэнергией больших и малых рек. Заметим, что океаны и моря, когда солнце стоит низко, отражают большую часть солнечных лучей. Но когда солнце высоко, почти вся лучистая энергия поглощается водной массой (отражение при этом равно 5%). Значит, вода в океанах и морях на экваторе и в тропиках, где солнечные лучи почти отвесны, нагревается намного сильнее, чем в высоких широтах.

Те солнечные лучи, которые падают на поверхность суши, тоже частично отражаются, а поглощенная лучистая энергия почти вся превращается во внутреннюю энергию нагревшейся суши. Лишь небольшая доля солнечной энергии «усваивается» растениями. Растительность и оголенная почва отражают значительно меньше лучей, чем снег и лед, которые не берегут солнечное тепло: отражение достигает 80—90 %. Поэтому-то прохладно летом в Арктике, несмотря на большой приход солнечного тепла во время долгого полярного дня. Распаханное черноземное поле поглощает почти 95 % солнечного излучения и так сильно нагревается при этом, что над ним видны теплые струйки поднимающегося вверх воздуха.

До сих пор мы говорили преимущественно о приходе солнечной энергии к поверхности Земли. Но если бы Земля только получала солнечную энергию, никуда ее не расходуя, она давно бы уже раскалилась. Температура поверхности Земли из года в год в среднем остается постоянной, значит, имеется постоянный отток энергии. На что же она расходуется? (См. цвет. вклейку II, вверху, 1.)

Часть полученной лучистой энергии теряется, уходя в мировое пространство при отражении от водной поверхности и суши и от облаков, а часть — при излучении поверхности Земли и атмосферы, невидимом для человеческого глаза. Но часть излучения атмосферы направлена к поверхности Земли. Это противоизлучение атмосферы. В процесс противоизлучения «вмешиваются» облака. Они поглощают часть земного

излучения (большую, чем поглощает воздух) и излучают сами — как в межпланетное пространство, так и в сторону Земли. Поэтому облака, окружающие Землю, ночью предохраняют ее от остывания (см. там же, 2). Но днем облака уменьшают приход солнечного тепла.

Таковы самые главные статьи прихода и расхода лучистой энергии на Земле. Земной шар излучает в космическое пространство примерно столько же энергии, сколько он получает от Солнца.

Теперь сравним приход и расход лучистой энергии ночью и днем, зимой и летом. Ночью прихода солнечной энергии нет, но излучение поверхности Земли и атмосферы продолжается, противоизлучение же атмосферы компенсирует лишь часть потерь теплоты. Поэтому ночью поверхность Земли охлаждается в любое время года. А что происходит днем?

При шарообразной форме нашей планеты в один и тот же момент времени, допустим в полдень на полюсе, в умеренных широтах, в тропиках и на экваторе, солнечные лучи падают на поверхность под разными углами, которые меняются по сезонам. В течение одной секунды на площадку, расположенную под прямым углом к лучам, приходится больше лучистой энергии, чем на ту же площадку, расположенную под острым углом, поэтому поверхность земного шара в разных своих частях освещается и нагревается различно. Приход тепла в течение дня зависит и от его длительности.

В летний день в нашей стране на всех широтах приход лучистой энергии намного превышает расход, и поверхность Земли нагревается, обогревая воздух. Зимним днем в наших субтропиках, где снег — редкость, приход лучистой энергии бывает больше, чем расход. В умеренных широтах, чем ближе к полярному кругу, тем ниже Солнце днем стоит над горизонтом и короче день, а зимой здесь все бело от снега. Поэтому приход тепла здесь меньше, чем расход, даже в светлое время суток, и поверхность Земли зимой выстывает.

Хотя климат различных областей Земли зависит от многих причин, но прежде всего от прихода солнечного излучения.

«СОЛНЕЧНАЯ ТЕХНИКА»

Известна легенда о том, что, когда вражеский флот осаждал город Сиракузы, Архимед вызвал на крепостные стены всех женщин города, которые принесли с собой зеркала. По команде великого ученого они навели солнечные зайчики на одну и ту же точку вражеского корабля. Так, гласит предание, был сожжен вражеский флот.

В XX в. достигла значительных успехов инженерная наука о непосредственном использовании солнечной энергии — гелиотехника (гелиос по-гречески солнце). В нашей стране

большое внимание этой науке уделяют ученые Средней Азии.

Энергия, получаемая Землей с солнечными лучами, велика, однако использование ее связано с большими трудностями. Во-первых, вследствие того, что солнечная энергия мало концентрирована. У поверхности Земли каждый квадратный метр плоскости, перпендикулярной солнечным лучам, получает в среднем 2,9 МДж/ч, т. е. столько, сколько выделяется при

полном сгорании 0,1 кг хорошего каменного угля. Поэтому площадь приемников солнечного излучения должна быть велика, и их нелегко построить. Вторым недостатком солнечной энергии является ее непостоянство, вызванное сменой дня и ночи, времен года и облачностью.

Каковы же сейчас достижения гелиотехники? Наиболее просты так называемые «горячие ящики», работающие на принципе парника. На рисунке 8 показано применение «горячих ящиков» в сушилке. Ящик с хорошей теплоизоляцией снизу и покрытый стеклом сверху ставят в наклонном положении, стеклянной стороной к югу. Солнечное излучение на 80—85 % проникает через стекло, и уложенный на дне ящика металлический зачерненный лист поэтому нагревается. Для лучшего поглощения энергии этот лист делают волнистым. Излучение, исходящее от нагретого листа, сквозь стекло не происходит. Кроме того, стекло уменьшает тепловые потери от обдува ветром. В результате температура внутри ящика повышается на 40—50 °С по сравнению с температурой окружающей среды. Нагретый воздух с помощью вентилятора подается в сушильную камеру при температуре около 80 °С. На принципе «горячего ящика» работают солнечные устройства различного назначения: водоподогреватели, опреснители соленой воды и др.

Для получения температур выше 100 °С применяют установки, в которых солнечные лучи собираются на небольшой площади. Представим себе вогнутое зеркало, на которое падают солнечные лучи, как показано на рисунке 9. Отражаясь от идеально изготовленного зеркала, лучи сходились бы в одной точке, называемой фокусом. Практически вблизи фокуса

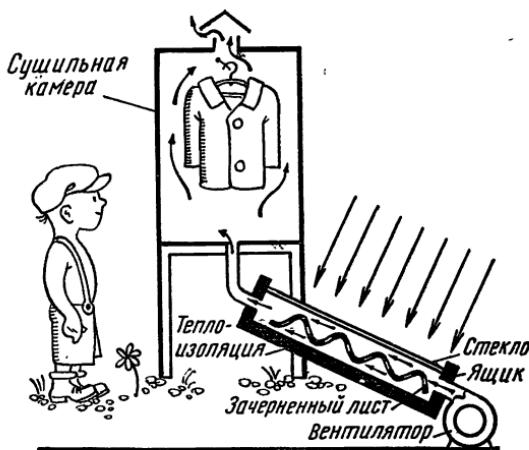


Рис. 8.

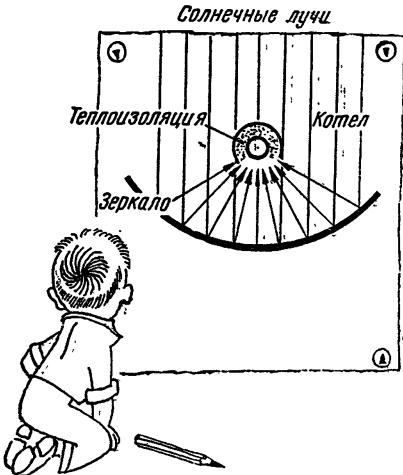


Рис. 9.

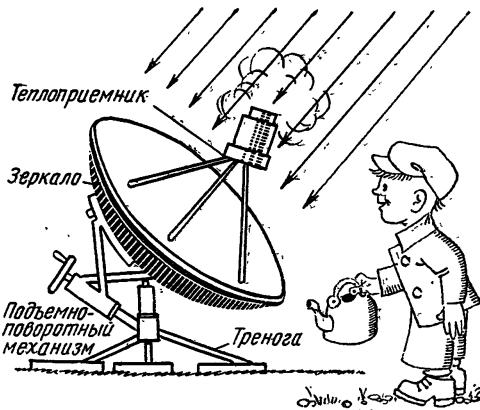


Рис. 10.

образуется пятно (фокальное пятно), где и располагают котел нагревателя. Площадь поверхности, отражающей солнечные лучи, будет значительно больше площади фокального пятна, т. е. происходит концентрация (сгущение) солнечных лучей.

Разработано много солнечных установок с концентраторами. В странах с солнечным климатом распространены солнечные кухни (рис. 10) с набором посуды. Такая кухня соответствует по мощности электроплитке в 800 Вт.

Солнечные печи для научных исследований при высоких температурах (см. цвет. вклейку I, 4) часто незаменимы, так как они «чисты»: достигается нагрев до 3600 °С при отсутствии продуктов горения.

Энергию солнечных лучей можно превращать непосредственно в электрическую в фотоэлементах и термоэлементах. О них рассказано в главе V.

Нельзя ли за счет энергии солнечного излучения снабжать человечество электрической энергией? Ведь энергия, получаемая Землей от Солнца, превышает потребности человечества в энергии в 30 000 раз! Однако пока построены лишь маломощные гелиоэлектростанции. В начале XX в. в Египте работала такая станция мощностью 44 кВт. Ее зеркала направляли солнечные лучи на паровой котел, а далее все происходило, как в обычной теплоэлектростанции.

Малая гелиотехника добилась больших успехов; гелиотехника больших мощностей — дело будущего.

В СВОБОДНУЮ МИНУТУ

Опыт с нитью

Несколько витками белой нити (№ 10) плотно обмотайте середину стеклянной пробирки и поместите ее над пламенем свечи (рис. 11). Считая раз, два, три и т. д., заметьте момент, когда станет видно обугливание нити. Повторите опыт, намотав нить на толстый металлический стержень. Сравните и объясните результаты двух опытов.

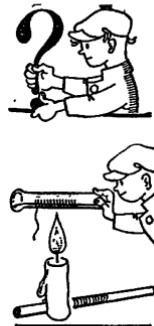


Рис. 11.

Погаснет ли свеча?

На лепешку из пластилина поставьте горящую свечу. Накройте ее ламповым стеклом (или широкой стеклянной трубкой) и слегка вдавите стекло в пластилин. Свеча погаснет. Почему? Повторите опыт, поместив в ламповое стекло пластину из жести (рис. 12). Теперь свеча будет гореть долго. Почему?



Рис. 12.

Полосатый стакан

Стакан из тонкого стекла заклейте изнутри полосками белой и черной бумаги одинаковой ширины (рис. 13). Снаружи к стакану прикрепите воском (стеарином) на одной высоте гвоздики по одному против каждой белой и черной полосок. Поставьте на тарелку стакан, а в него свечку строго в центре. Фитиль должен быть немного ниже уровня, где прикреплены гвоздики. Зажгите свечку с помощью лучинки. Через некоторое время гвоздики начнут отпадать. Какие гвоздики отпадут первыми? Почему?

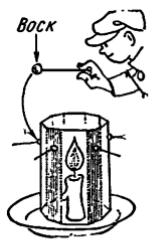


Рис. 13.

Почему не одновременно?

Сделайте из проволоки двухрожковую вилку. Концы рожков загните одинаковыми кольцами и укрепите их в горизонтальной плоскости (рис. 14). Вырежьте из жести два кружка диаметром примерно 2,4 и 1,7 см (лучше, если эти кружки будут медными). На центр кружков капните со свечки стеарин и воткните в него по спичке. Положите кружки на кольца рожков вилки спичками вниз. Нагрейте скрученную часть проволоки пламенем свечи или сухого спирта. От какого кружка спичка отпадет быстрее?

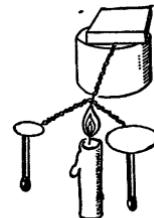


Рис. 14.

Догадайтесь

В каждую клетку, включая нумерованную (рис. 15), надо поставить букву так, чтобы слова по горизонтали означали: 1. Прибор для измерения температуры. 2. Передача тепла струями жидкости или газа. 3. Один из видов передачи тепла. 4 и 5. Современная (4) и старинная (5) единицы измерения количества теплоты. 6. Содержащее углерод вещество, сжигаемое для получения теплоты. 7. Ученый, придумавший первый прибор, отмечавший изменения температуры воздуха. 8. Бытовой сосуд, предохраняющий воду или пищу от теплообмена с окружающей средой. 9. Шведский ученый, усовершенствовавший термометр. 10. Газ, присутствие которого повышает теплоизоляционные свойства снега, ваты, меха и т. п. 11. Самый плохой проводник тепла. 12. Способ, которым может передаваться тепло в безвоздушном пространстве. 13. Единица измерения температуры.

Если слова отгаданы правильно, то в выделенных клетках по вертикали образуется слово, означающее процесс, при котором внутренняя энергия передается от одного тела к другому.

Какой закон?

Разгадав ключ, прочитайте физический закон (рис. 16).

Рис. 15.

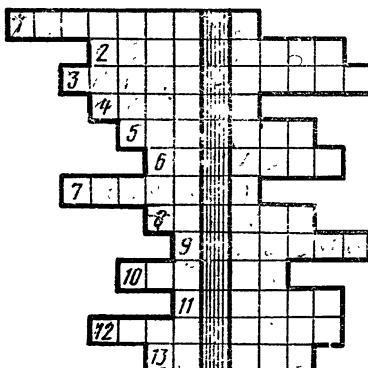
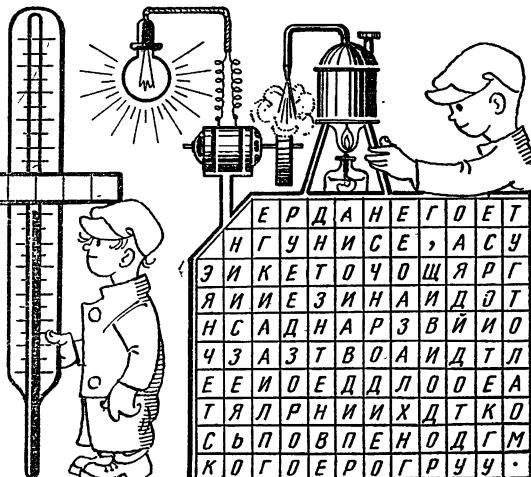


Рис. 16.



ОТВЕТЫ К ГЛАВЕ I

Опыт с нитью. Во втором опыте нить нагревается медленнее, так как теплопроводность и масса металлического стержня больше, чем стеклянной пробирки.

Погаснет ли свеча? Свеча горит, если благодаря конвекции есть приток свежего воздуха. Этого притока нет, когда основание лампового стекла погружено в пластилин, и свеча гаснет. Она горит, если внутри лампового стекла есть перегородка, так как по одну ее сторону нагретый воздух и продукты сгорания поднимаются вверх, а по другую поступает свежий воздух. Поставьте палец попеременно по обе стороны перегородки, и вы в этом убедитесь.

Полосатый стакан. Отпадут сначала те гвоздики, которые прикреплены против черных полосок бумаги, так как здесь стекло больше нагреется: черные поверхности больше поглощают энергию падающего на них излучения, чем белые.

Почему не одновременно? Спичка отпадет быстрее от маленького кружка. Его масса меньше, и он нагревается быстрее.

Догадайтесь. По горизонтали: 1. Термометр. 2. Конвекция. 3. Теплопроводность. 4. Джоуль. 5. Калория. 6. Топливо. 7. Галилей. 8. Термос. 9. Цельсий. 10. Воздух. 11. Вакуум. 12. Излучение. 13. Градус. По вертикали: теплопередача.

Какой закон? Начав со скошенного левого угла снизу вверх, двигаясь змейкой по диагоналям квадратов, на которые разбита фигура, можно прочитать: «Энергия никуда не исчезает и не создается из ничего, она только превращается из одного вида в другой или переходит от одного тела к другому».

**ИНТЕРЕСНО И ПОЛЕЗНО ЗНАТЬ,
ЧТО ...**

... Процесс плавления лежит в основе производства стали и других сплавов, в основе обработки металлов литьем.

... В 1980 г. производство стали в нашей стране достигнет 160—170 млн. т. Такое количество стали дореволюционная Россия (на уровне 1913 г.) смогла бы выплавить примерно за 40 лет.

ЛИТЬЕ

Семь тысяч лет назад в Древнем Египте и Вавилоне в каменных формах начали получать бронзовые отливки. Однако литье не является устаревшим методом обработки. Напротив! Литые изделия окружают нас повсюду. Например, локомотив состоит из литых деталей наполовину, автомобиль — на 60 %. Есть детали, которые можно изготовить только литьем.

Метод обработки металлов литьем обладает высокими достоинствами. К их числу относятся отсутствие больших потерь металла, высокая производительность, высокое качество получаемых изделий, возможность получить детали сложной формы, размеры которых выдержаны с точностью до 0,1 мм. С помощью литья изготавливают детали массой в несколько граммов и части машин массой в сотни тонн.

Рассмотрим некоторые из способов литья. Рисунки, поясняющие их, помещены на цветной вклейке II (внизу, 1—3).

Литье в земляную форму (1). Этот старинный способ позволяет изготавливать отливки из большинства технических сплавов любых размеров и внешних очертаний.

Сначала изготавливают деревянную или металлическую модель отливки, затем помещают ее в специально подготовленную землю — формовочную смесь *Б*. Чаще всего при этом используют специальные разъемные ящики — опоки *А*. Если в отливке должна быть внутренняя полость, в опоку вкладывают стержни *В*. После уплотнения и сушки смеси модель извлекают. В полученную полость через систему ходов и каналов — литниковую систему — заливают жидкий металл или сплав. Когда металл затвердеет, форму разруша-

ют и извлекают почти готовую отливку: ее надо лишь очистить и отделить литниковую систему.

Однако литье в земляную форму обладает рядом недостатков: необходимо разрушать форму после каждой отливки, точность и чистота поверхности отливок недостаточны, велик расход формовочных материалов. Поэтому все более широкое применение находят другие методы производства отливок.

Кокильное литье (2). Расплавленный металл заливают в металлическую «постоянную» форму, так называемый кокиль Г. Кокиль обычно состоит из двух половин. Как и в земляную форму, в кокиль могут устанавливаться стержни В. Перед заливкой внутренние полости кокиля покрывают огнеупорным защитным покрытием.

Кокильное литье во много раз ускорило процесс производства. Повысились чистота поверхности и точность отливок.

Непрерывное литье (3). Этот способ создан советскими литьщиками. Металл непрерывно заливается в охлаждаемый водой кристаллизатор Д. Его приемный стол Е движется вниз, производя вытягивание отливки по мере ее кристаллизации. Изменяя форму отверстия кристаллизатора, можно получить длинные слитки различных профилей — круглые, квадратные, типа рельсов и т. д.

Методом литья получают изделия не только из металлов и сплавов, но и из пластмасс, камня и других материалов. Например, из обыкновенного серого камня — базальта, расплавив его, можно отлить шестерни, трубы, облицовочные плитки и многие другие изделия. Чем же хороша, скажем, труба из камня по сравнению с чугунной? Она примерно в два раза легче, значительно дольше служит и обходится дешевле.

Литейное производство издавна считалось трудным. В последние десятилетия в литейные цехи заводов пришли различные машины и механизмы. При изготовлении форм стали применять новые материалы. Так, модели отливок начали изготавливать из вспененной пластмассы — пенопласта. Плотность его мала, а режется он даже горячей проволокой. Рабочие без лебедок и кранов легко справляются с многометровыми копиями огромных станин и маховиков.

По решению ХХV съезда КПСС ускоренно развивается производство автоматизированных литейных машин, линий и комплектов оборудования. Они обеспечивают получение точных отливок, а также значительное повышение производительности и улучшение условий труда литьщиков.

А МАТЕРИАЛЫ-ТО НАДО ИЗОБРЕТАТЬ!

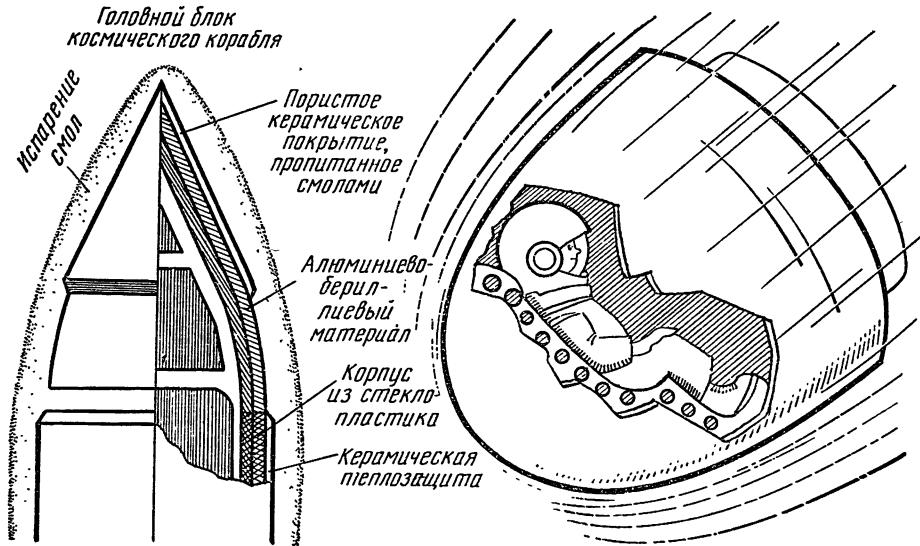
В последние годы создатели новой техники ставят перед специалистами в области материалов особенно жесткие условия. Судите сами. Для сверхзвуковых самолетов и ракет

необходимы материалы, сохраняющие механическую прочность при температуре выше 1300 °С. Вдумайтесь в эту цифру. Привычный для авиации алюминий плавится уже при 660 °С. Даже стальные сплавы при этой температуре теряют прочность. Некоторые детали ракетных двигателей должны работать в потоке газов, раскаленных до 3400 °С. Значит, и славящийся своей тугоплавкостью вольфрам перейдет в жидкое состояние. Ученым теперь приходится создавать комбинированные материалы, соединяющие ценные свойства совершенно разнородных веществ.

Особо суровые испытания выдерживают комбинированные материалы на космических кораблях. Во время взлета корабля и пробивания плотных слоев атмосферы обшивка его разогревается до температуры, исчисляемой сотнями градусов. В момент обратного входа космического корабля в атмосферу Земли в результате торможения аппарата большая часть его энергии движения переходит в тепло, и стенки корабля нагреваются еще сильнее.

Конструкторам приходится идти на всякие ухищрения, чтобы обеспечить космическому кораблю должную тепловую защиту. На рисунке 17 показан головной блок космического корабля. Его стенки состоят из нескольких слоев. Наружный слой сделан из полимеров (смол), которые при нагревании переходят в газообразное состояние, на что требуется огромное количество теплоты. Поглощенное тепло вместе с газом отводится в пространство. Далее идет слой жаростойкой ке-

Рис. 17.



рамики, пропитанной смолами, и алюминиево-бериллиевый материал. Бериллий очень легок, его плотность $1830 \text{ кг}/\text{м}^3$, а плавится он при 1284°C . В новом комбинированном материале частицы бериллия, обладающие высокой прочностью, но малой пластичностью¹, окружены пластической основой из алюминия. Корпус головного блока корабля выполнен из стеклопластика, отличающегося большой прочностью при малой плотности. Однако он нуждается в теплозащите из слоя жаропрочной керамики.

В технике нужны новые материалы, обладающие комплексом полезных свойств. Одни уже созданы и работают, другие предстоит создать.

УДИВИТЕЛЬНОЕ ВЕЩЕСТВО—ВОДА

Вода обладает многими удивительными свойствами, резко отличающими ее от всех других жидкостей. И если бы вода вела себя «как положено», то Земля стала бы просто неузнаваемой.

Все тела при нагревании расширяются, при охлаждении сжимаются. Все, кроме воды. При температуре от 0 до $+4^\circ\text{C}$ вода при охлаждении расширяется, при нагревании сжимается. При $+4^\circ\text{C}$ вода имеет наибольшую плотность, равную $1000 \text{ кг}/\text{м}^3$. При более низкой и более высокой температуре плотность воды несколько меньше. Благодаря этому осенью и зимой в глубоких водоемах конвекция происходит своеобразно. Вода, охлаждаясь сверху, опускается вниз, на дно, только до тех пор, пока ее температура не снизится до $+4^\circ\text{C}$. Тогда в стоячем водоеме устанавливается распределение температуры, изображенное на рисунке 18. Благодаря этому под слоем льда, покрывающим водоем сверху, живут в воде рыбы и другие обитатели водоемов.

Чтобы нагреть 1 г воды на 1°C , ей необходимо отдать в 5, 10, 30 раз большее количество теплоты, чем 1 г любого другого вещества, т. е. вода имеет очень большую удельную теплоемкость. Вследствие этого вода является хорошим теплоносителем. Вспомните, например, водяное отопление у вас дома или «отопление» Европы теплым течением Гольфстрим. Медленное повышение температуры воды при нагревании и соответственно выделение значительных количеств теплоты при охлаждении смягчают колебания температуры вблизи больших водоемов.

Бросьте твердый кусочек свинца в жидкий свинец, и он потонет, так как он плотнее жидкого, как и подавляющее

¹ Пластичностью называют свойство тел изменять свою форму под воздействием силы и сохранять ее после прекращения действия силы.

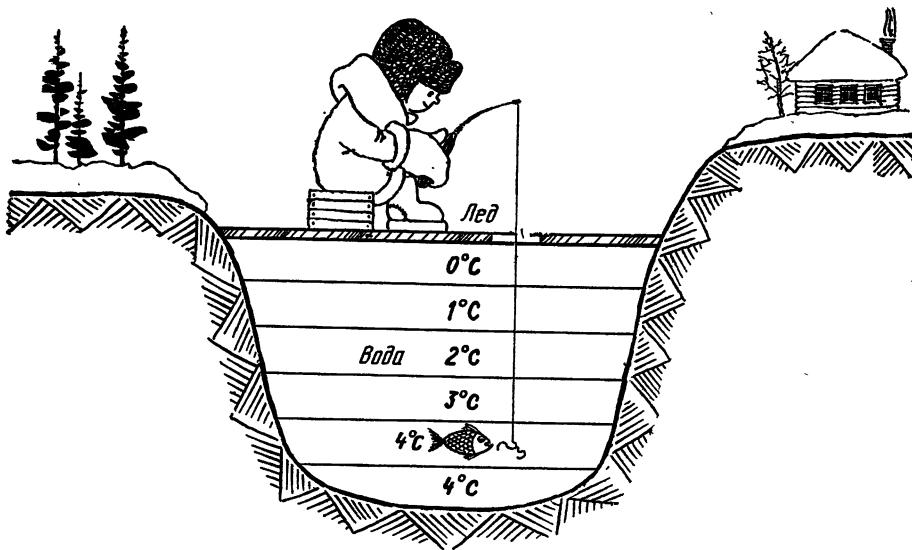


Рис. 18.

большинство других веществ. А вода? Твердая вода — лед — имеет плотность всего $900 \text{ кг}/\text{м}^3$, поэтому льдины спокойно плывут по поверхности реки. Расширение воды при отвердевании вызывает разрушение горных пород. Затекая днем в трещины скал, вода ночью замерзает и отделяет куски породы.

В одном стакане находится лед при 0°C , а в другом — такое же количество «ледяной» воды. Разница между ними по запасу внутренней энергии так же велика, как между водой при 0 и 80°C . Переход из твердого состояния в жидкое сопровождается у воды необыкновенно большим поглощением теплоты — $330 \text{ кДж}/\text{кг}$! Из распространенных металлов только алюминий превосходит воду по величине удельной теплоты плавления. Большое количество теплоты, которое нужно отнять у воды при ее замерзании, объясняет тот факт, что во время снегопада обычно становится теплее, а во время весеннего ледохода у реки сравнительно прохладно.

Вода требует громадного количества теплоты для своего испарения. Вот почему там, где много воды, даже под палящими лучами солнца бывает не очень жарко. Испаряя некоторое количество воды через поры кожи, организм человека имеет возможность поддерживать определенную температуру тела. Собаки, у которых нет потовых желез, достигают того же результата за счет испарения влаги с языка. Если бы удельная теплота парообразования воды была раз в десять меньше (например, как у жидкого азота или керосина), то

один за другим высыхали бы мелкие водоемы, дождь испарялся бы зачастую еще в воздухе, а леса и луга вскоре превратились бы в пустыню.

Аномалии воды — отклонения от нормальных свойств тел — до конца не выяснены и сегодня, но главная причина их известна: строение молекул воды. Атомы водорода присоединяются к атому кислорода не симметрично с боков, а тяготеют к одной стороне. Ученые считают, что если бы не эта несимметричность, то свойства воды резко изменились бы. Например, вода отвердевала бы при -90°C и кипела бы при -70°C .

Изучение воды продолжается.

РАЗДЕЛЕНИЕ ЖИДКОСТЕЙ

В наши дни для всех без исключения отраслей науки и народного хозяйства характерно стремление к чистоте материалов. Методов очистки веществ существует много.

Одним из методов разделения на составные части жидкостей смесей веществ является ректификация. Этот метод основывается на том факте, что каждая жидкость кипит при определенной температуре. Рассмотрим, например, как разделяют на составные части жидкий воздух.

Как известно, сухой воздух на 78% состоит из азота и почти на 21% из кислорода. При соответствующем охлаждении газообразный воздух можно превратить в жидкость. Жидкий азот при атмосферном давлении кипит при очень низкой температуре (-196°C). Для превращения 1 кг жидкого азота в пар требуется небольшое количество теплоты — 201 кДж. Азот, как говорят, весьма летучая жидкость. Жидкий кислород кипит при -183°C , т. е. при более высокой температуре, чем азот, а удельная теплота парообразования у него больше — 214 кДж/кг. Таким образом, кислород — несколько менее летучая жидкость, чем азот.

Если в химический стакан налить жидкий воздух, он будет кипеть и быстро испаряться, причем по мере испарения в оставшейся в стакане жидкости доля кислорода будет увеличиваться и уменьшаться доля азота. Происходит это потому, что азот — очень летучая жидкость, он быстрее испаряется, чем кислород. Если же парообразную смесь азота и кислорода охладить, то в жидкое состояние перейдет больше кислорода, так как температура, при которой начинается конденсация пара, у кислорода выше. Тогда оставшаяся парообразная смесь будет содержать больший процент азота, чем сначала. Оба процесса — испарение жидкого воздуха и конденсация его паров — способствуют частичному отделению азота от кислорода.



Рис. 19.

сделано для увеличения скорости испарения жидкости. Вверх по колонне, проходя через отверстия в тарелках и через жидкость, поднимается парообразная азотно-кислородная смесь, а сверху колонны по трубам 4 с тарелки на тарелку стекает жидкая смесь азота и кислорода (заметим, что патрубки пропускают пар вверх, но не дают стекать жидкости вниз). На каждой тарелке часть пара, имеющего несколько более высокую температуру, чем жидкость, охлаждается и конденсируется, отдавая жидкости теплоту конденсации. При этом жидкость обогащается кислородом, так как он конденсируется при более высокой температуре. Одновременно идет и другой процесс — нагревание и частичное испарение жидкости, причем в пар переходит больше азота, так как он более летуч. Следовательно, жидкость опять-таки обогащается кислородом. Сверху из колонны отводится парообразный азот, снизу — жидкий воздух, обогащенный кислородом. Процесс разделения заканчивается в другой ректификационной колонне.

При помощи ректификационных колонн можно разделить нефть на составляющие ее фракции — бензин, лигроин, керосин, соляр и мазут, которые кипят при различных температурах. А из расплава металлов методом ректификации отделяют примеси, температуры кипения которых отличаются всего на $0,05^{\circ}\text{C}$. Этот способ отделения примесей наиболее производителен.

Многократным повторением процессов испарения и конденсации можно добиться все более полного разделения воздуха на составные части. Этого достигают в аппарате, называемом ректификационной колонной.

Принцип устройства ректификационной колонны поясняет рисунок 19. В вертикальном корпусе 1 одна над другой размещены круглые плоские «тарелки» 2 с отверстиями на дне, прикрытыми патрубками 3. Суммарная площадь тарелок велика, это

РАБОТАЮТ ТЕПЛОВЫЕ ТРУБЫ

Длинный изогнутый стержень сунули одним концом в пламя электрической дуги, другим — в огромный бак с холодной водой. Стержень мгновенно сделался малиново-красным, а вода закипела. Так работает тепловая труба, и действие ее изумляет. Но с какой целью ее сделали и как она устроена?

Деталь под резцом токарного станка разогревается от интенсивного трения. Как лучше отвести тепло от детали и резца? Строители должны проложить туннель под землей, но грунт слишком влажен и зыбок. Единственный выход — заморозить грунт, отняв от него тепло. И там, и здесь все та же проблема теплоотвода.

Известны три способа передачи теплоты: теплопроводность, конвекция, излучение. При конвекции вещество движется, обеспечивая более эффективную теплопередачу. Она будет еще эффективнее, если заставить вещество не только двигаться, но и менять при этом свое агрегатное состояние. Рассмотрим это подробнее.

Вам уже известно, что какой-нибудь теплоноситель, например вода, может в процессе конвекции переносить теплоту от тела, нагретого до высокой температуры, к более холодному телу. Например, при водяном отоплении вода, циркулируя по трубам, переносит теплоту от котла к отопительным батареям. При этом вода нагревается от стенок котла, а отдавая теплоту батареям, она охлаждается, однако агрегатное состояние воды не изменяется.

Но передача тепла при циркуляции теплоносителя может происходить иначе, так что его агрегатное состояние будет изменяться. Теплоноситель, находясь в жидком состоянии, подходит к нагретому телу и получает от него такое количество теплоты, что жидкость закипает и обращается в пар. К холодному телу теплоноситель подходит уже в парообразном состоянии и, конденсируясь на нем, отдает ему теплоту конденсации. Если каким-нибудь способом добиться, чтобы образовавшаяся жидкость снова подошла к нагретому телу, то все начнется сначала, будет происходить циркуляция теплоносителя и перенос теплоты от нагретого тела к более холодному.

Теплоносителем может служить такое вещество, у которого удельная теплота парообразования и конденсации очень велика.

Оказывается, что по сравнению с конвекцией в случае, когда вещество-теплоноситель, циркулируя, изменяет свое агрегатное состояние, перенос теплоты возрастает в сотни, а то и в тысячи раз. В этом состоит идея устройства тепловой трубы.

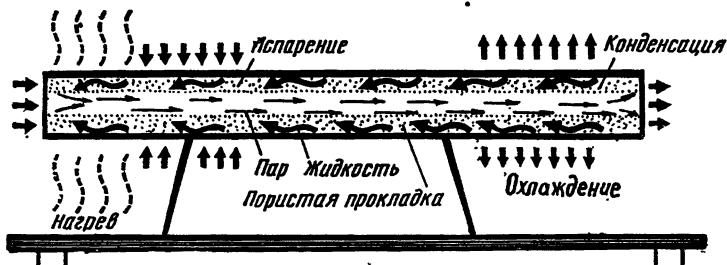


Рис. 20.

Тепловая труба герметически замкнута (рис. 20). Внутренние ее стенки выложены каким-либо пористым материалом. Воздух изнутри откачен. Жидкость заполняет поры прокладки и испаряется там, где трубу нагревают, потребляя значительное количество теплоты. Пар, распространяясь по трубе, достигает того конца, где ее охлаждают, и там конденсируется, отдавая теплоту конденсации. Жидкость оседает на пористой прокладке и впитывается ею. Под действием сил молекуллярного притяжения жидкость возвращается обратно, подобно тому как бензин в зажигалке поднимается по фитилю. В зоне нагрева жидкость испаряется вновь... Так происходит передача теплоты от горячего конца трубы к холодному, от более нагревого тела к менее нагретому.

При умеренных температурах хорошо работают тепловые трубы, заполненные водой или спиртом, при сверхнизких — заполненные жидким водородом. Когда же надо отводить теплоту от тел с очень высокой температурой, применяют жидкие металлы — натрий, калий.

Насколько эффективны тепловые трубы? Вот пример. Тепловая труба массой 0,5 кг, диаметром 1,5 см и длиной 0,6 м передает теплоты столько же, сколько медный стержень той же длины, диаметром 1 м и массой 5000 кг. Тепловые трубы обеспечивают передачу больших количеств теплоты при очень малых перепадах температур.

Если тепловые трубы будут «веером» расходиться из общей точки, то в зависимости от того, где помещен нагреватель, тепловые трубы будут либо концентрировать потоки тепла на малой площади, либо рассеивать его, работая как система охлаждения.

Рассмотрим проект радиатора для охлаждения двигателя космического корабля (рис. 21). Радиатор состоит из множества тепловых труб 1, соединенных в секции. Одним концом трубы выводятся в космос, другим прикреплены к централь-

ной тепловой трубе 2, отводящей тепло от двигателя. Центральная тепловая труба заполнена натрием, он конденсируется при температуре 883 °С. Боковые тепловые трубы заполнены калием, который конденсируется при 760 °С. Натрий, конденсируясь в местах стыка 3 центральных и боковых труб, заставляет испаряться калий, а тот конденсируется во внешних концах боковых труб, излучающих тепло в космическое пространство.

Область, где возможно применять тепловые трубы, ограничить трудно.

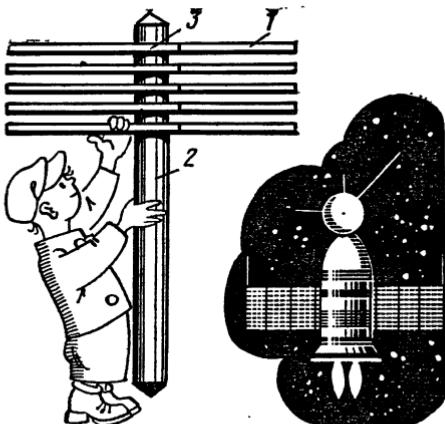
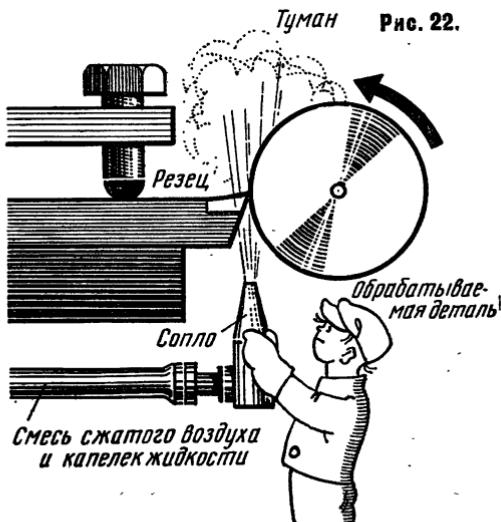


Рис. 21.

ТУМАН ПОМОГАЕТ РЕЗЦУ

О необходимости охлаждать резец станка в процессе работы уже говорилось выше. Но, как оказалось, охлаждать и смазывать резец станка и обрабатываемую деталь выгодно... туманом. В зону резания подают через сопло струю распыленной смазывающей жидкости и сжатого воздуха (рис. 22). При выходе из сопла воздух, расширяясь, охлаждается и часть капелек влаги обращается в кристаллы льда. Соприкоснувшись с разогретым металлом, они тают, а капельки жидкости испаряются, поглощая при этом большое количество теплоты. Расход охлаждающей жидкости сокращается во много раз, а эффект получается большим.



Туман Рис. 22.

ТУМАН И РОСА, ДОЖДЬ И СНЕГ

Будет ли завтра дождь — это интересует всех. Но какова причина выпадения атмосферных осадков? Как объяснить с точки зрения физики образование росы или инея?

Воздух содержит водяные пары, которые под действием солнечного нагревания испаряются с поверхностей океанов, морей и других водоемов. Массу водяного пара в 1 м³ воздуха называют его «абсолютной влажностью». При каждой температуре существует предел влажности. Если температура понизится, избыток паров выделится в виде воды. Чем воздух теплее, тем больше он может содержать водяного пара. Если сравнительно теплый и притом влажный воздух охладится так, что выделится избыток влаги в виде мельчайших капелек, то образуется туман. Туман чаще всего наблюдается над болотами, озерами и реками, потому что там воздух более влажен.

Оказывается, что для конденсации пара еще недостаточно, чтобы температура упала. Если в воздухе слишком мало так называемых «ядер конденсации», то водяной пар в воздухе остается, как говорят, в перенасыщенном состоянии. Ядра конденсации — это мельчайшие пылинки различных веществ, вокруг которых образуется водяная пленка. Она быстро расстет в перенасыщенном воздухе. Вот почему над городом часто бывают туманы: в городском воздухе много пыли. Туман образуется тогда, когда создаются подходящие условия температуры и влажности.

Когда в ясные, безветренные ночи земная поверхность, излучая тепло, охлаждается, часть водяных паров из ближайшего к земле слоя, успевшего охладиться, выделяется в виде капель на холодных листьях растений, на траве и т. п. Это роса. При температурах ниже 0 °С вместо капель получаются ледяные кристаллы — иней.

Облака — та же вода в состоянии жидким (мельчайшие водяные капельки) или твердом (ледяные кристаллики). На высоте 1—2 км располагаются слоистые облака, состоящие в основном из водяных капелек. На высоте 3—4 км и более располагаются облака в виде красивых куполообразных наслоений. Это кучевые облака. Они также являются в основном водяными облаками, но в верхней части содержат и ледяные кристаллы. Облака, находящиеся на высоте 6—12 км и похожие на нежные белые волокна, называют перистыми. Они состоят преимущественно из ледяных кристаллов. Даже в жаркий летний день, когда у самой поверхности Земли температура достигает +25 °С, на высоте 12—14 км царит такой же холод, какой бывает на Земле в сильные морозы.

Рассмотрим теперь, как рождаются облака. Предположим, что у поверхности Земли некоторая масса воздуха нагрелась и стала легче окружающего воздуха. Она начинает подниматься вверх, где температура ниже, и воздух охладится. Но в верхних слоях атмосферы и давление меньше, поэтому поднимающийся воздух там будет расширяться. На работу расширения ему понадобится энергия; из-за отсутствия притока теплоты снаружи будет расходоваться внутренняя энергия воздуха, поэтому он еще более охладится. Но это охлаждение несколько замедляется потому, что воздух содержит водяные пары и они, конденсируясь, отдают ему теплоту конденсации. По мере того как воздух поднимается и охлаждается, в нем все больше будет мельчайших капелек воды. Так образуются слоистые облака. Но температура воздуха с оставшимся в нем паром все еще выше окружающей среды, поэтому воздух продолжает подниматься вверх. Если поток воздуха сильный, то он может увлечь за собой вверх и образовавшиеся водяные капли. На большой высоте давление и температура еще ниже, и капли воды превращаются в кристаллики льда, но здесь же могут находиться и переохлажденные (незамерзшие) капли. Образуется кучевое облако. Чем больше перепад температур в атмосфере, тем более мощного развития достигают эти облака. Иное облако имеет высоту 15 км при площади поперечного сечения в несколько сотен квадратных километров. Оно может нести в себе до 1 млн. т воды.

Мы знаем, что облака — собрание водяных капелек и частиц льда. Почему же они не падают вниз, хотя вода и лед тяжелее воздуха? И почему в некоторый момент они все же начинают падать?

Всякое тело, падающее в воздухе, испытывает его сопротивление. Если капля очень мала, сила тяжести лишь немногим больше силы сопротивления, и капельки, хотя и падают, но чрезвычайно медленно; малейшее восходящее движение воздуха останавливает это падение. Мельчайшие капельки воды в облаке так малы, что в 1 г воды содержится 240 млн. таких капель! Но капли в облаке могут расти, например, тогда, когда они, догоняя одну другую, сливаются. Рождение более крупных частиц происходит и тогда, когда капля воды, увлеченная восходящим потоком, сталкивается с кристалликом льда, образовавшимся из водяного пара; при этом столкновении капля воды полностью испаряется, а размер кристаллика льда увеличивается. Ледяной кристаллик растет и, потому, что на нем «охотно» оседают молекулы водяного пара. Кристаллик льда вырастает до таких размеров, что его сила тяжести становится больше силы давления восходящего потока. Ледяной кристаллик падает и, проходя облако, растет еще более. В умеренных широтах из облака, как полагают, все осадки выпадают в виде льда. Если, проходя



Рис. 23.

Град идет обычно из грозовых облаков, вершины которых достигают очень больших высот. Проходя сквозь такое облако, кристаллики льда обмерзают новым слоем льда, а так как в грозовых облаках развиваются сильные вихревые движения, то они подхватываются ими и уносятся снова вверх. Обычно градины не превышают крупной горошинки, но изредка они достигают громадной величины. 14 августа 1961 г. на город Воронеж обрушился дождь с крупным градом. Наибольшие градины имели массу 400 г и более 9 см в диаметре. Градин по 300 г было много. Они пробивали крыши, разбивали стекла, ранили людей и животных.

Нельзя ли точно предсказать выпадение атмосферных осадков? Прежде надо изучить все тонкости этих явлений.

МОЖНО ЛИ УПРАВЛЯТЬ ПОГОДОЙ?

Попытки влиять на погоду в древности были очень распространены. Но средства воздействия на погоду проистекали из самых нелепых суеверий и религиозных предрассудков. В средние века твердо верили, что шум разгоняет градовые тучи и при приближении грозы звонили в колокола. Некоторые народы снимали крыши с храмов, чтобы боги скорее остановили дождь, иначе ведь им самим придется мокнуть!

Погода управляет физическими законами. Главная трудность проблемы управления погодой объясняется тем, что энергия движущихся воздушных масс, которые определяют погоду, и энергия, идущая на образование облаков или осадков, очень велики. Только для образования гряды маленьких кучевых облаков требуется примерно $4 \cdot 10^{14}$ Дж. Столько энергии дает крупная ГЭС в течение нескольких десятков часов. Для того чтобы изменить направление движения воздушной массы, занимающей район диаметром 100 км, нужна энергия, вырабатываемая в течение часа 40 тыс. крупных электростанций. Таким образом, чтобы управлять погодой наперекор естественным атмосферным процессам, необходи-

нижние слои атмосферы, этот лед растает, то выпадает дождь, а если не растает — снег или град.

Снежинки могут иметь форму иголки, шестиугольной призмы, шестиугольной пластинки или звездочки (рис. 23). Форма и размер снежинок зависят главным образом от температуры, при которой они образуются.

мы слишком большие затраты энергии, которыми человечество еще не располагает.

Однако уже теперь человек в состоянии активно воздействовать на погоду, но лишь на небольших территориях. Можно, затратив небольшую энергию, в момент неустойчивости метеорологического процесса так «подтолкнуть» его, чтобы он продолжал развиваться в нужном для нас направлении, например, чтобы вместо града выпал бы дождь или рассеялся туман, закрывший аэродром.

В феврале 1961 г. астрономы Советского Союза и ряда зарубежных стран съехались в Крым, чтобы наблюдать редкое явление — полное затмение Солнца. Годами готовились астрономы к наблюдениям. Но в день затмения весь Крым был покрыт слоем облаков. Однако астрономы все же провели свои наблюдения! Поднявшийся утром самолет «засяял» облака частицами твердой углекислоты, выпал снег, и небо очистилось.

Для борьбы с градом используют специальные пушки и ракеты. В центр градоопасного облака ракеты или снаряды пушки несут частицы иодистого серебра, вызывающие образование большого числа мелких ледяных частиц вместо крупных градин. Эти частицы при падении успевают растаять и превратиться в безобидные капли дождя. Защита от града полей, садов и виноградников ведется сейчас в ряде южных областей нашей страны, предотвращая большие убытки.

Все эти достижения лишь первые шаги человека на увлекательном и трудном пути управления погодой.

В СВОБОДНУЮ МИНУТУ

Как вынуть?

Опустите небольшой кусочек льда в стакан с водой и попытайтесь вытащить лед из воды с помощью нитки и щепотки поваренной соли (рис. 24). Как надо поступить?



Рис. 24.

Птичка Хоттабыча (пьющий утенок)

Эта игрушка имеет наглухо запаянный стеклянный баллончик 1, укрепленный на оси 2 (рис. 25). Ось упирается на подставку 3. В нижнем шарике баллончика находится легко испаряющаяся жидкость 4. Если смочить голову птички, она будет долго кланяться и «пить» из стаканчика, поставленного перед ней. Как это объяснить?

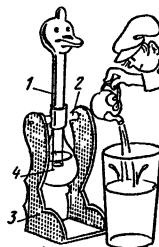


Рис. 25.

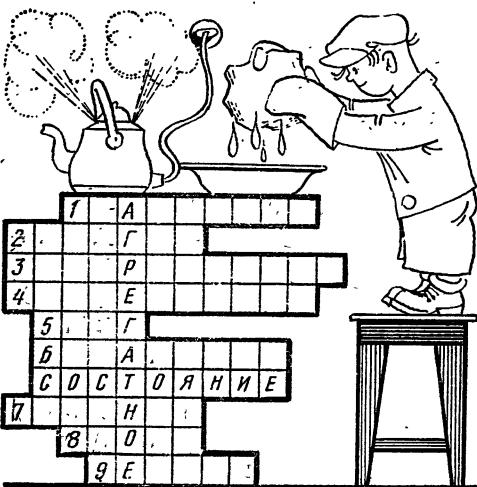


Рис. 26.

Догадайтесь

В каждую клетку, включая нумерованную (рис. 26), поставьте по букве так, чтобы слова по горизонтали означали: 1. Переход вещества из твердого состояния в жидкое. 2. Физическая величина, измеряемая в джоулях. 3. Переход вещества из жидкого состояния в твердое. 4. Переход молекул из пара в жидкость. 5. Распространенная в природе разновидность воды в твердом состоянии. 6. Переход молекул из жидкости в пар. 7. Процесс, сопровождающийся быстрым образованием и ростом пузырьков пара, прорывающихся через поверхность жидкости наружу. 8. Ящик с формовочной землей, применяемой в литейном деле. 9. Топливо, получаемое из нефти, кипящее при невысокой температуре.

Найдите ошибку

Один поэт так написал о капле: «Она жила и по стеклу текла, но вдруг ее морозом оковало, и неподвижной льдинкой капля стала, а в мире поубавилось тепла». Какая физическая ошибка здесь допущена?

ОТВЕТЫ К ГЛАВЕ II

Как вынуть? Положите нитку на лед и присыпьте поваренной солью. Образуется охлаждающая смесь, и нитка примерзнет к льдинке. Подождав немного, поднимите нитку вверх, а вместе с ней поднимется и льдинка.

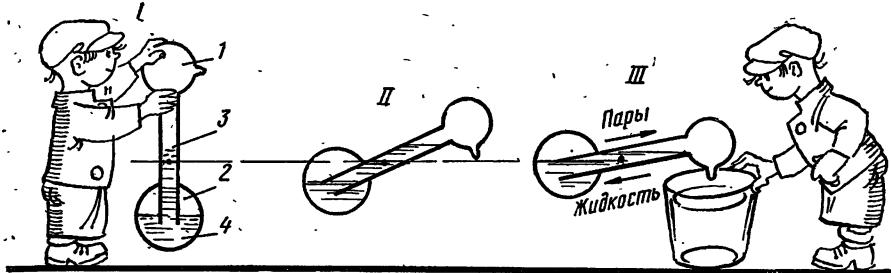


Рис. 27.

Птичка Хоттабыча (рис. 27, I). Верхний шарик 1 (голова птички) и трубка 3 (шея) образуют длинное плечо рычага. Нижний шарик 2 (брюшко) — короткое плечо. В исходном положении I равновесие достигается тогда, когда трубка 3 почти вертикальна, а вся жидкость 4 находится внизу. После смачивания внешней поверхности шарика 1 водой начинается ее испарение, вследствие чего шарик 1 охлаждается и пары в нем начинают конденсироваться. Давление паров в шарике 1 уменьшается, а в шарике 2 остается прежним, поэтому столб жидкости по трубке 3 начинает подниматься из шарика 2 вверх. Вследствие этого увеличиваются и масса, и сила тяжести длинного плеча рычага, а короткого уменьшаются. Равновесие рычага нарушается, и птичка наклоняется (II). Наступает момент, когда нижний конец трубы 3 уже не будет погружен в жидкость. Тогда под действием силы тяжести начинается движение жидкости вниз в шарик 2 и движение паров в обратном направлении (под действием разности давлений III). Давление в шариках выравнивается, а вся жидкость стекает вниз. Птичка занимает исходное положение I. Затем все начинается сначала.

Догадайтесь. 1. Плавление. 2. Энергия. 3. Отвердевание. 4. Конденсация. 5. Снег. 6. Испарение. 7. Кипение. 8. Опока. 9. Бензин.

Найдите ошибку. Поэт забыл закон сохранения и превращения энергии. Убавилась внутренняя энергия капли. При отвердевании капля отдает теплоту «в мир» — воздуху, стеклу.

ТЕПЛОВЫЕ ДВИГАТЕЛИ И РАЗВИТИЕ ТЕХНИКИ

До конца XVII — начала XVIII в. человек не построил никаких двигателей, кроме ветряного и водяного колеса. Созданием новых двигателей люди в те времена не занимались потому, что все хозяйство держалось на рабах, а позже, в средние века, на крепостных, которые выполняли почти всю работу, необходимую для жизни общества.

Но вот в городах начали зарождаться первые ремесленные цехи, а позднее более крупные производства — мануфактуры, где труд был разделен на отдельные несложные операции. Поскольку простую операцию быстрее и лучше может выполнить машина, появляются различные машины и станки, приводимые в движение от водяного колеса. На смену мануфактурам приходят фабрики и заводы. Для изготовления машин и станков требовалось много металла. Чтобы плавить металл, необходимо топливо. Сначала использовались дрова, а затем каменный уголь, который нужно было добывать из глубоких шахт.

Но как приводить в действие машины, если вблизи от завода нет реки? Как откачать воду из шахты и спасти ее от затопления? Как поднять уголь на-гора? Чем заменить лошадей, доставляющих уголь и руду с шахт и рудников к плавильным печам? Как, наконец, кораблям, перевозившим сырье для фабрик и вырабатываемые ими товары, избавиться от парусов и не зависеть от воли ветра? Требовался такой двигатель, который мог бы выполнить всю эту работу, не будучи связанным с водой и не зависящим от погоды. Новый двигатель должен был быть универсальным, т. е. приводить в действие самые разнообразные машины. Нужны были двигатели различной мощности, которые устроили бы владельцев небольших мастерских и хозяев крупных фабрик и заводов, рудников, шахт. Новый двигатель должен был работать за счет нового источника энергии, который нетрудно доставить в любое место и в любое время года. И поскольку двигатель собирались ставить на транспортные машины, то он должен был иметь небольшие размеры и вес и работать от источника энергии, который находился бы тут же, на машине. И человек такой двигатель построил. Это был тепловой дви-

гатель, а точнее, тепловые двигатели, поскольку всем требованиям один двигатель удовлетворить не может.

Рождение тепловых двигателей было нелегким. Много изобретателей в разных странах работали над их созданием, много было побед и разочарований, но каждый из них в большей или меньшей мере внес свой труд в создание новых двигателей, появление которых совершило целый переворот в жизни человечества.

Тепловые двигатели играют важную роль и в наше время. Но очень широко применяют и электродвигатели. Возникает вопрос: нельзя ли везде и всегда применять только электродвигатели? Ведь они могут иметь самую различную мощность, просты в обслуживании, имеют высокий КПД и приводятся в движение дешевой электроэнергией. Нет! Для того чтобы выработать электроэнергию, нужно вращать ротор генератора электрического тока с помощью какого-либо двигателя — первичного.

В первичных двигателях энергия топлива, воды, ветра, т. е. природных источников, преобразуется в механическую. Таким образом, тепловые двигатели — паровая машина и турбина, двигатели внутреннего сгорания, реактивные двигатели — являются двигателями первичными, а электродвигатели работают в результате действия первичных двигателей и являются двигателями вторичными.

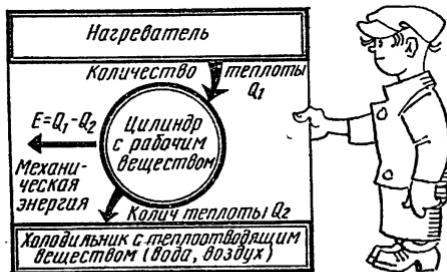
Без тепловых двигателей невозможно представить себе ни жизнь современного общества, ни жизнь людей в будущем.

КПД ТЕПЛОВЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

В 1824 г. в Париже была издана небольшая по объему книга «Размышления о движущей силе огня и о машинах, способных развивать эту силу». Ее автор — французский инженер Сади Карно. Уже в 18 лет он стал инженером. С. Карно любил и умел обобщать известные ему разрозненные факты. Как инженер, он хорошо знал поршневые паровые машины, но задумался над тем, каковы общие законы, которым подчиняются любые тепловые двигатели, и как сделать, чтобы они потребляли меньше топлива, т. е. как повысить их КПД.

Карно пришел к выводу, что каждый тепловой

Рис. 28.



двигатель должен иметь нагреватель, температура которого высока, и холодильник, температура которого значительно ниже температуры нагревателя. В таком двигателе должен находиться пар (или газ) — рабочее вещество, способное изменять объем при нагревании и охлаждении. Рабочее вещество получает от нагревателя количество теплоты Q_1 , часть которой идет на совершение полезной работы, когда рабочее вещество, расширяясь, перемещает поршень в цилиндре, а часть теплоты Q_2 оно отдает холодильнику.

В книге Карно описал круговой тепловой процесс (цикл), работая по которому тепловой двигатель имел бы наибольший КПД. Карно делает вывод, что, чем выше температура нагревателя и чем ниже температура холодильника, тем больше КПД тепловой машины. Этот вывод положил начало новой науке о теплоте — термодинамике. Изобретатели получили возможность не «на ощупь», а сознательно приблизить работу реального теплового двигателя к идеальному (но недостижимому!) циклу, рассмотренному Карно. Законы, открытые Карно, легли в основу совершенствования всех тепловых двигателей.

Теперь объяснена важная особенность работы тепловых двигателей: не все количество теплоты, полученное рабочим веществом от нагревателя, превращается в механическую энергию, часть его обязательно отдается холодильнику (рис. 28). Пожелать, чтобы холодильнику «не досталось» теплоты все равно, что пожелать, чтобы все беспорядочно движущиеся молекулы газа или пара в цилиндре двигателя вдруг полетели бы в одном направлении — к поршню, а после столкновения с ним имели бы скорость, равную нулю, т. е. отдали бы поршню всю свою кинетическую энергию. Но и этого мало. Нужно, чтобы и потенциальная энергия взаимодействия молекул обратилась бы в нуль. Ни то, ни другое невозможно. Следовательно, внутренняя энергия рабочего вещества не может полностью переходить в механическую энергию движения механизмов, а КПД тепловых двигателей не может быть равным 100 %. Но повышать его можно и нужно, путь к этому указал Карно: надо увеличивать температуру нагревателя и понижать температуру холодильника. Борьба за повышение КПД тепловых двигателей имеет громадное народнохозяйственное значение.

ИЗ ИСТОРИИ ПОРШНЕВОЙ ПАРОВОЙ МАШИНЫ

Первую паровую машину построил в 90-х годах XVII в. французский изобретатель Дени Папен. Она была весьма несовершенна. В цилиндрическом сосуде с поршнем кипятили воду. Образующийся пар поднимал поршень. Затем

сосуд снимали с огня и обливали холодной водой, чтобы пар конденсировался и образовался вакуум, под действием атмосферного давления поршень опускался вниз. Это был рабочий ход поршня. Для следующего хода поршня вверх надо было снова кипятить воду в цилиндре. КПД этой машины был очень низок, а работала она медленно. Однако большая заслуга Д. Папена состоит в том, что он впервые (в 1690 г.) правильно описал, в какой последовательности должен идти процесс работы поршневой паровой машины.

В дальнейших ранних попытках создания паровой машины паровой котел уже был отделен от рабочего цилиндра.

Наиболее удачной была машина, построенная англичанами Т. Ньюкоменом и его помощником Коули. Их машина начала работать в 1711 г. Она приводила в движение насос. Пар получали в кotle 1 (рис. 29). Когда под действием силы тяжести опускались штанга насоса и груз 7, то поднимался поршень 4, подвешенный на другом конце балансира 8, а пар из парового котла поступал в цилиндр 2. Когда поршень достигал своего высшего положения, кран 3 закрывался, из сосуда 5 через кран 6 в цилиндр вспрыскивалась холодная вода, пар конденсировался и образовывался вакуум. Атмосферное давление заставляло поршень опускаться, а груз 7 подниматься. Затем снова в цилиндр впускался пар. Машина Ньюкомена — Коули использовалась свыше 90 лет, однако она имела серьезные недостатки: КПД ее был низок, а рабочие ходы поршня машины разделялись длительными промежутками; она могла приводить в действие только насос.

Русский техник Иван Иванович Ползунов значительно усовершенствовал паровую машину. Постройку своей машины Ползунов завершил в 1765 г., а пущена она была в 1766 г. после смерти изобретателя.

Машина Ползунова имела два цилиндра (рис. 30). Когда один из цилиндров сообщался с паровым котлом, в другой впускалась охлаждающая вода; поршни опускались под действием атмосферного давления. В то время, как один из них опускался, под другой поступал пар, и он поднимался. Движение поршней передавалось на шкив, поэтому шкив непрерывно

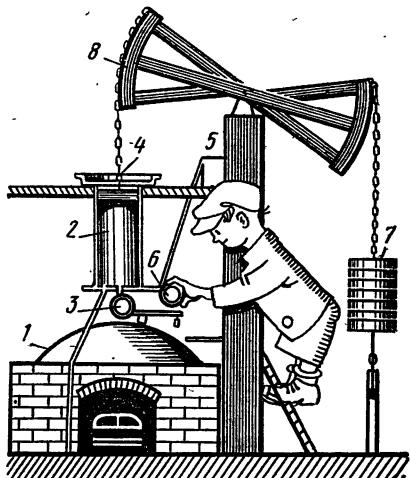


Рис. 29.

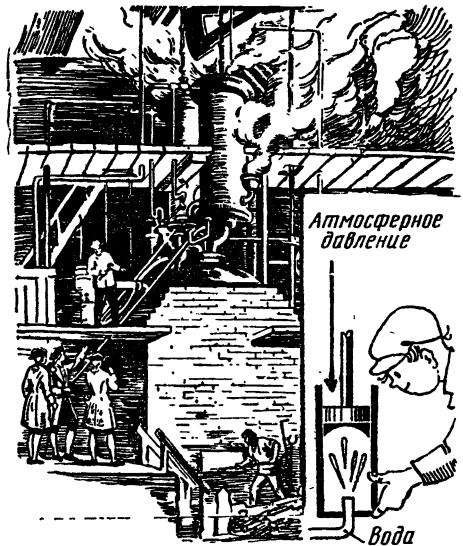


Рис. 30.

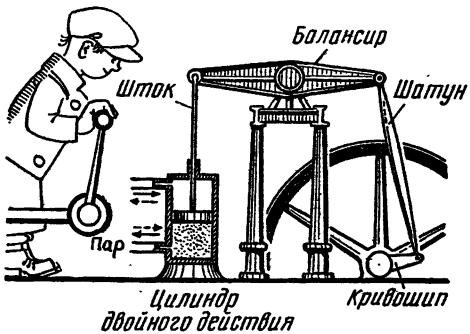


Рис. 31.

было уже не атмосферное давление, а давление самого пара, которое могло быть сделано значительно большим атмосферного. Поршень перемещался под давлением пара как в одну, так и в другую сторону. На рисунке 31 показана схема первой паровой машины Уатта, построенной в 1784 г. Первые паровые машины Уатта имели мощность около 35 кВт и КПД менее 3 %.

Трудами Уатта и других изобретателей паровая машина постепенно совершенствовалась и завоевывала все новые и новые отрасли промышленности и транспорта.

К концу XIX в. мощность паровой машины достигла 15 МВт, КПД 15 %, давление используемого пара 12 МПа, а его

поворачивался то в одну, то в другую сторону. Возвратно-вращательное движение шкива могло быть преобразовано во вращение рабочего вала. Это давало возможность приводить в движение станки и другие механизмы. Таким образом, машина Ползунова была первым в мире универсальным паровым двигателем.

Паровая машина стала использоваться широко после усовершенствований, внесенных в ее конструкцию англичанином Джемсом Уаттом. Он стремился снизить затраты топлива и решил разделить цилиндр машины на два: в одном — горячем — осуществлять выпуск пара и рабочий ход, в другом — холодном — конденсацию пара. Так паровая машина приобрела конденсатор. Это сразу значительно повысило ее экономичность. Уатт внес в конструкцию паровой машины целый ряд других усовершенствований. Важнейшее из них заключалось в том, что в машине Уатта движущей силой



Рис. 32.

температура 400 °С. Но поршневая паровая машина с ее низким КПД постепенно была заменена более совершенными тепловыми двигателями.

ВОЗНИКНОВЕНИЕ ПАРОВОГО ТРАНСПОРТА

Это произошло в 1769 г. Неуклюжая телега на трех колесах, впереди которой возвышался котел, с невообразимым шумом сделала почти три круга по двору парижского арсенала (рис. 32). Телегу вел ее изобретатель Никола Кюньо. Она предназначалась для перевозки пушек. Скорость ее была невелика — 5 км/ч. Приводила ее в действие паровая машина с двумя цилиндрами. Движение поршней с помощью передаточного механизма передавалось на переднее колесо, которое начинало вращаться, и телега приходила в движение. «Паровая телега» Кюньо применения не получила.

К началу XIX в. объем грузов, которые надо было перевозить, так возрос, что создание парового транспорта стало насущной необходимостью. Эта техническая задача привлекла внимание многих изобретателей Европы и Америки.

Заводские и рудничные «чугунные дороги» на конной тяге подсказали английскому изобретателю Ричарду Тревитику мысль поставить паровой экипаж на рельсы и сделать его локомотивом, который тянет поезд с грузом по рельсам. Тревитик построил первый в мире паровоз и успешно испытал

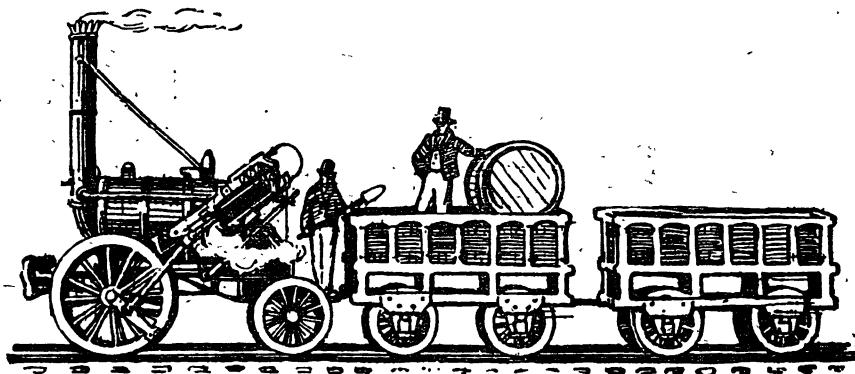


Рис. 33.

его в 1804 г. Но ни паровоз Тревитика, ни паровозы других изобретателей широкого распространения не получили, хотя уже в 1825 г. в Англии была открыта железная дорога общественного пользования.

В 1829 г. в Англии был проведен конкурс на лучший локомотив. Лучшим оказался локомотив «Ракета», построенный английским инженером Джорджем Стефенсоном. С его именем и связывают изобретение паровоза (рис. 33). «Ракета» могла развивать скорость до 21 км/ч при массе поезда в 17 т; позднее на этом локомотиве была достигнута неслыханная в то время скорость — 45 км/ч. Успех «Ракеты» определялся увеличением производительности пара в небольшом паровом кotle. Горячие топочные газы проходили по пучку трубок, отчего увеличивалась площадь нагрева. Паровоз Стефенсона стал отцом всех паровозов, созданных впоследствии.

Вслед за Англией началось строительство локомотивов и в других странах. В России в 1834 г. отец и сын Е. А. и М. Е. Черепановы, крепостные крупнейшего горнозаводчика Урала Демидова, построили первый отечественный паровоз (рис. 34). Этот паровоз перевозил руду на территории Нижнетагильского завода по специальной «чугунной дороге». Он развивал скорость 15 км/ч при грузе в 3,5 т. Затем был построен второй паровоз, способный перевозить уже 17 т. В паровозе Черепановых количество трубок в паровом кotle достигало 80. Паровоз двигался не только вперед, но и назад — это было важным техническим усовершенствованием.

Первая железная дорога общественного пользования, в России была открыта в 1837 г. Она связала Петербург и Царское Село (ныне г. Пушкин).

КПД паровозов ниже, чем стационарных паровых машин. К середине XX в. он повысился лишь до 5—8%, поэтому в

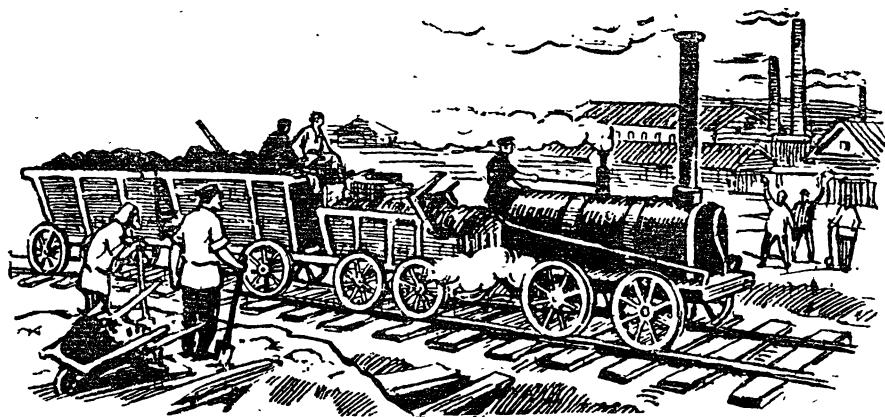


Рис. 34.

нашей стране выпуск паровозов был прекращен. В 1973 г. доля тепловозов и электровозов составляла 99,2% грузооборота железных дорог.

Использовать паровую машину для передвижения судов впервые задумал изобретатель Дени Папен. В последней трети XVIII в. многие изобретатели пытались соорудить паровые суда. Американец Роберт Фультон, с именем которого связывают изобретение парохода, построил свой пароход «Клермонт» в 1807 г. Этот пароход совершил регулярные рейсы по реке Гудзон.

В 1815 г. в России уже совершал регулярные рейсы между Петербургом и Кронштадтом небольшой пароход «Елизавета». Это был колёсный пароход длиной 18 м. Он развивал скорость до 9 км/ч.

Паровая машина в течение почти всего XIX в. являлась универсальным двигателем на транспорте.

ИЗ ИСТОРИИ ДВС

Идея создания двигателя внутреннего сгорания (ДВС) родилась еще в XVII в. и принадлежит французскому изобретателю Дени Папену. Он задумал заставить пушку совершать полезную работу. Вместо ствола пушки Д. Папен решил поставить вертикальный цилиндр с поршнем внутри (рис. 35). К поршню прикрепляли шнур, перекинутый через блоки. Во время испытаний к свободному концу шнурка привязали гирю; впоследствии Папен собирался соединить его с поршнем насоса для откачивания воды из шахт. В днище цилиндра находилась выдвижная полочка, на которую насыпался порох, поджигаемый фитилем. Взрыв пороха подбрасывал поршень вверх, при этом открывалось окно, и порох-

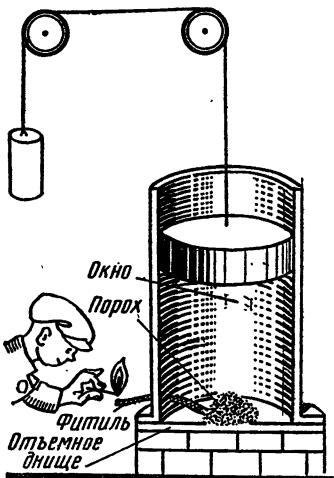


Рис. 35.

дорогой и громоздкой. Владельцы мелких мастерских и фабрик хотели иметь другой двигатель, не нуждающийся в паровом котле. В середине XIX в. научились получать новое топливо — светильный газ. Тогда-то и вспомнили идею Папена. Но первые попытки создать ДВС, работающий на светильном газе, были неудачны.

Французский изобретатель Ленуар применил для зажигания газовой смеси в цилиндре двигателя электрическую искру. В 1860 г. Ленуар взял патент на свой двигатель. По конструкции он почти ничем не отличался от паровой машины, но в цилиндр поступал не пар, а смесь светильного газа с воздухом, поджигаемая искрой. Продукты горения выпускались в атмосферу.

Двигатель Ленуара работал во многих странах мира. Он обладал бесспорным преимуществом перед паровой машиной: компактностью, легкостью, простотой пуска и эксплуатации. Однако его КПД был низким — 3—5 %. Газ в то время стоил дорого.

В истории ДВС начался новый этап — борьба за повышение его КПД. На помощь практике пришла теория.

Изучая труд С. Карно, основателя науки о тепловых машинах, французский инженер Бо де Роша пришел к выводу, что газ в цилиндре перед сжиганием надо сжать. В двигателе Ленуара продукты горения выходят из цилиндра при слишком высокой температуре. Бо де Роша придумал схему рабочего цикла нового двигателя — четырехтактного. Свои идеи Бо де Роша изложил в книге, вышедшей в 1862 г., но экспериментальной машины строить не стал.

ные газы с большой скоростью выходили наружу. Затем цилиндр снаружи охлаждали водой, и в нем создавалось разрежение. Под действием атмосферного давления поршень опускался вниз, а гиря, привязанная к концу соединенного с ним шнура, поднималась. Так представлялась Папену работа новой машины, но уже при первом испытании она была разрушена взрывом. У изобретателя не было средств, чтобы машину сделать заново. Он обращался за помощью к королю, но получил отказ.

В течение долгого времени идея создания двигателя, сжигающего топливо внутри цилиндра, была забыта. Широкое распространение получила паровая машина. Но она была

Немецкий механик-самоучка Николай Отто в 1878 г. создал первый двигатель, работающий по четырехтактному циклу и имеющий КПД 22 %. На Всемирной выставке в Париже он был награжден Большой золотой медалью. Этот двигатель нашел применение во многих странах. Он проложил дорогу новым ДВС.

Двигатель Отто работал только на газе. Для транспорта нужен был двигатель, потребляющий топливо, которое удобно перевозить.

Инженер Г. Даймлер покинул завод, где он работал под началом Отто, и построил двигатель, работавший на бензине. Он был похож на четырехтактный двигатель Отто, но имел карбюратор — бачок с бензином, сквозь слой которого происходило всасывание воздуха в цилиндр. Рабочая смесь, поступавшая в цилиндр, представляла собой смесь воздуха и паров бензина. В 1885 г. Даймлер получил патент на применение бензинового двигателя на транспорте и построил первый автомобиль. Он имел хорошую по тем временам скорость — 18 км/ч. Так ДВС проник на транспорт. На рисунке 36 изображен один из первых автомобилей.

Борьба за повышение КПД двигателей внутреннего сгорания продолжалась. Казалось, путь уже известен: надо сильнее сжать горючую смесь перед ее сжиганием. Однако она, нагреваясь при сжатии, самовоспламенялась.

Выход нашел немецкий инженер Рудольф Дизель. В 1892 г. Р. Дизель получил патент на двигатель, в котором рабочий процесс отличался рядом особенностей: в цилиндре сжимается только воздух, причем очень сильно; от сильного сжатия температура воздуха возрастает настолько, что при впрыскивании в цилиндр топлива оно воспламеняется; образовавшиеся газы производят рабочий ход поршня. Такой двигатель способен был работать без карбюратора и запального устройства, расходуя меньше топлива, чем все известные до того времени тепловые двигатели. Топливом могли быть и бензин, и керосин, и, как думал Дизель, угольная пыль. Последнее устраивало немецких промышленников, которые финансировали работу Дизеля. Ведь известно, что Германия располагает запасами угля, но не имеет нефти. Но заставить двигатель работать на угольной пыли не удалось. Построенный в 1897 г. двигатель работал на керосине

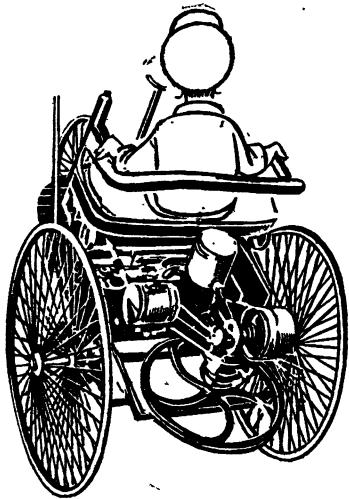


Рис. 36.

и имел высокий КПД — 25 %. Его стали называть дизель-мотором или просто дизелем.

К новому двигателю и его создателю в Германии отнеслись враждебно. Второй родиной этого двигателя стала Россия. Крупный нефтепромышленник Нобель купил у Дизеля право на постройку его двигателей. В 1899 г. инженеры и рабочие завода Нобеля в Петербурге построили двигатель, работавший на сырой нефти. Его КПД был выше, чем у заграничных двигателей, работавших на керосине. Спрос на дизель-моторы возрастил. Они проникли на транспорт.

Расчеты показывали, что суда с дизельными установками (их стали называть теплоходами) экономичнее пароходов и смогут проходить без пополнения топлива гораздо большее расстояние. Конструкторы стали работать над созданием судового двигателя, способного изменять направление вращения. Но прежде чем такой двигатель был построен, в 1903 г. по Волге отправился в плавание построенный в Сормове первый в мире теплоход «Вандал». На нем были установлены дизель-моторы, приводившие во вращение генераторы электрического тока. Вырабатываемый ими ток питал электрические двигатели, а те в свою очередь вращали гребной винт. Подобным же образом используют дизели на тепловозах. Но их электромоторы врашают колеса.

Первый в мире магистральный тепловоз был построен в нашей стране. В. И. Ленин интересовался его постройкой и оказывал поддержку его создателям. Тепловоз отправился в испытательный пробег 6 ноября 1924 г. КПД тепловоза достигает 29 %, он проходит большие расстояния, не пополняя запасов топлива, воды и масла, требует меньших затрат труда обслуживающего персонала, чем паровоз.

С момента своего появления ДВС совершили триумфальное шествие во всем мире. КПД карбюраторных авиационных двигателей ныне доведен до 30 %, а стационарных дизелей — до 36 %.

Применение ДВС чрезвычайно разнообразно. Карбюраторные ДВС установлены на автомобилях, вертолетах, тракторах. Дизели широко применяют на транспорте — в тепловозах, теплоходах, тяжелых автосамосвалах. Кроме четырехтактных двигателей внутреннего сгорания, нашли применение двухтактные ДВС, например, на мотоциклах. У этих двигателей каждый второй ход поршня является рабочим.

Много ДВС нужно народному хозяйству. Вспомним, что в 1980 г. будет выпущено 2,1—2,2 млн. автомобилей и 580—600 тыс. тракторов. Растет агрегатная мощность дизелей. Общая мощность ДВС у нас в стране в несколько раз больше мощности всех электростанций.

ПАРОВАЯ ТУРБИНА

Первым предшественником современных паровых турбин может считаться игрушечный двигатель, который изобрел еще во II в. до н. э.alexандрийский ученый Герон. Принцип действия геронова шара (рис. 37) состоит в следующем. В закрытом сосуде 1 с водой образуется пар, по трубкам 2 пар поступает в полый шар 3, шар имеет возможность вращаться. На шаре имеются две трубки 4 (а и б), концы которых загнуты под прямым углом. Струя пара, выходящая из трубки 4, а по направлению к нам, взаимодействуя с трубкой, толкает ее в противоположном направлении — назад. Заметим, что силу, отклоняющую трубку, называют реакцией струи. Из трубки 4, б струя пара выходит по направлению от нас и толкает эту трубку вперед. Шар приходит во вращение. Так как в этом двигателе используется реактивный принцип и является прообразом реактивной турбины.

В 1629 г. итальянец Бранка создал проект колеса с лопатками (рис. 38). Оно должно было вращаться, если струя пара с силой ударяет по лопаткам колеса. Это был первый проект паровой турбины, которая впоследствии получила название активной турбины. Геронов шар и колесо Бранка не нашли применения, но идеи, заложенные в этих приборах, возможно, повлияли на работы позднейших изобретателей.

Турбостроение по существу началось только с конца XIX в., когда стала ощущаться нужда в быстроходном двигателе. Владельцы угольных копей были заинтересованы в новом паровом двигателе, так как для получения пара можно использовать уголь. В 1883 г. шведский инженер Лаваль получил патент на активную паровую турбину; в 1884 г. английский инженер Парсонс построил реактивную паровую турбину. В паровых турбинах используется не энергия упругости пара (как в поршневой паровой машине), а кинетическая энергия струи пара.

Когда пар вытекает из котла через расширяющееся

Рис. 37



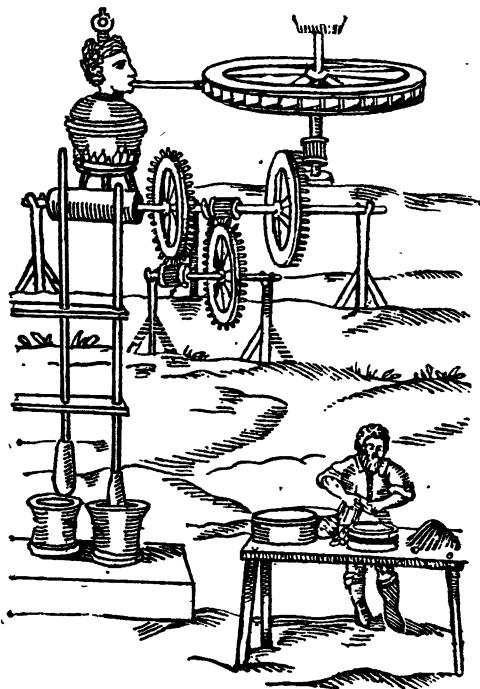


Рис. 38.

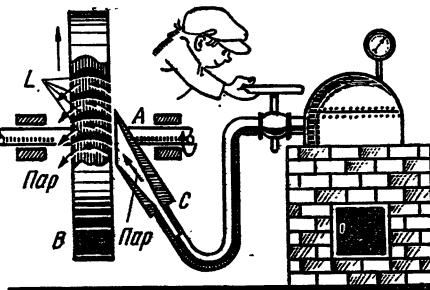


Рис. 39.

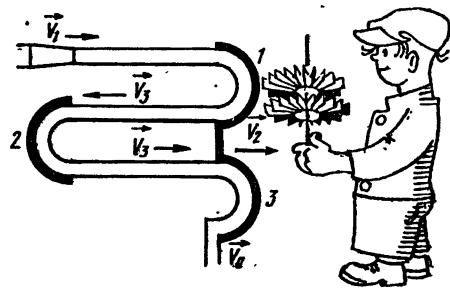


Рис. 40.

сопло (его изобрел Лаваль), объем пара увеличивается, а давление падает. Следовательно, потенциальная энергия пара уменьшится, а кинетическая энергия увеличится. Пар выходит из сопла с большой скоростью.

В турбине Лаваля против сопла *C* расположены лопатки *L*, укрепленные по ободу диска *B* (рис. 39). Выходящий из сопла пар попадает в каналы, образуемые лопатками. Здесь он теряет часть своей кинетической энергии, она идет на приведение диска *B* вместе с валом *A* во вращательное движение.

У первых паровых турбин был существенный недостаток: из-за огромной скорости струи пара скорость вращения диска турбины была излишне велика. Например, турбина мощностью 7,5 кВт имела диск диаметром 10—15 см, который делал в минуту 30 тыс. оборотов. С большинством рабочих машин ее можно было соединить только после снижения скорости вращения; для этого существовала система зубчатых колес, занимавших гораздо больше места, чем сама турбина.

Чтобы снизить скорость вращения диска турбины, изобретатели нашли два способа. Первый способ — применение ступеней скорости. На диске турбины укрепляют не один

ряд лопаток, а больше. На рисунке 40 изображены подвижные рабочие лопатки 1 и 3 из соседних рядов, их скорость относительно Земли v_2 , а скорость струи пара, выходящего из сопла, v_1 (тоже относительно Земли). Лопатка 1 получает только половину кинетической энергии струи пара, и скорость струи пара становится меньше (v_3). Затем струя пара попадает на неподвижную направляющую лопатку 2, причем изменяется только направление движения струи. Далее струя попадает на подвижную рабочую лопатку 3, которой пар отдает вторую половину энергии и с небольшой скоростью v_0 выходит наружу. Введение двух ступеней скорости позволило вчетверо уменьшить скорость вращения диска и вала турбины.

Второй способ снижения числа оборотов вала турбины — применение ступеней давления. Сущность этого способа такова. Пар расширяется в сопле не полностью; поскольку в кинетическую энергию преобразуется только часть потенциальной энергии пара, то и скорость получается ограниченной. После отдачи части энергии лопаткам первой ступени пар снова входит в расширяющееся сопло, где в кинетическую энергию превращается еще некоторая часть потенциальной энергии пара, и так далее. Давление падает ступеньками в каждом ряде сопел, а скорость — в каждом ряде рабочих лопаток. Оказалось, что выгодно строить активную турбину, в которой имеются ступени скорости и ступени давления. Многоступенчатую турбину можно строить и реактивной.

Паровая турбина имеет ряд достоинств: ее КПД достигает 40 %, если велики давление и температура пара ($p \approx 24$ МПа, $t \approx 560$ °С); вал паровой турбины вращается плавно и равномерно; турбина занимает мало места; вода, получаемая при конденсации отработанного пара, очень чиста, что весьма важно для питания паровых котлов. Однако построить такую паровую турбину и обеспечить ее работу очень сложно.

В настоящее время паровые турбины находят широкое применение. Они являются почти единственным тепловым двигателем на мощных тепловых электростанциях, служат основным двигателем на крупных судах. Турбины средних и даже небольших мощностей применяют для привода насосов, воздуходувок и пр.

СССР — страна развитого турбостроения. Быстрыми темпами растет мощность турбин, изываемых для тепловых электростанций. Чем больше мощность паровой турбины и приводимого ею в действие генератора электрического тока, тем меньше затрат труда и материалов требует строительство электростанции заданной мощности и тем ниже

стоимость одного киловатта мощности работающей станции. Решением XXV съезда КПСС был предусмотрен серийный выпуск паровых турбин мощностью 500—800 МВт и освоение производства турбин мощностью 1200 МВт.

ТЕПЛОВЫЕ ДВИГАТЕЛИ В АВИАЦИИ

С самого зарождения авиации самолет приводили в движение тепловые двигатели. Двигателем первого в мире самолета, созданного в 1882 г. русским офицером А. Ф. Можайским, была паровая машина. Через 20 лет в воздух поднялся самолет братьев Райт. На их самолете работал бензиновый мотор.

История авиации — это история непрерывной борьбы за увеличение дальности, высоты и скорости полета. Главный из этих показателей — скорость. Но с увеличением скорости полета возрастает сила сопротивления воздуха. А чем значительнее сопротивление воздуха, тем большую мощность должен иметь двигатель самолета. При полетах на небольшой высоте увеличение скорости в два раза требует увеличения мощности двигателя в 2^3 , т. е. в 8 раз. Более мощный двигатель имеет большую массу, а существенно облегчить поршневые двигатели не удалось. Но удалось заметно уменьшить сопротивление воздуха, придавая самолету более удобообтекаемую форму и повышая высоту полета, где плотность воздуха меньше. Однако с подъемом на высоту поршневой авиационный двигатель засасывает меньше воздуха. Следовательно, в его цилиндрах в единицу времени может сгорать меньше топлива, а мощность двигателя тогда убывает. Кроме того, в разреженном воздухе падает тяга винтов-пропеллеров самолета. Винт, вращаясь, отбрасывает воздух назад, а отбрасываемая масса воздуха толкает его вперед; так создается тяга, движущая самолет. На большой высоте, где плотность воздуха мала, воздушный винт не может двигать самолет, так как мала масса отбрасываемого назад воздуха.

Вследствие всех этих причин самолеты с винтами-пропеллерами, приводимыми во вращение двигателями внутреннего сгорания, не могут летать на больших высотах и с большими скоростями.

Для больших высот и скоростей понадобились новые двигатели — реактивные. В реактивных двигателях телами, взаимодействующими между собой, являются уже не винт и воздух, а струя газа, вытекающая из двигателя, и сам двигатель. Непрерывно сжигая топливо в двигателе, добиваются того, чтобы давление газа в двигателе было больше, чем давление окружающей среды. Под действием разности давлений газовая струя непрерывно вытекает из двигателя и создает реактивную тягу; на больших высотах она даже

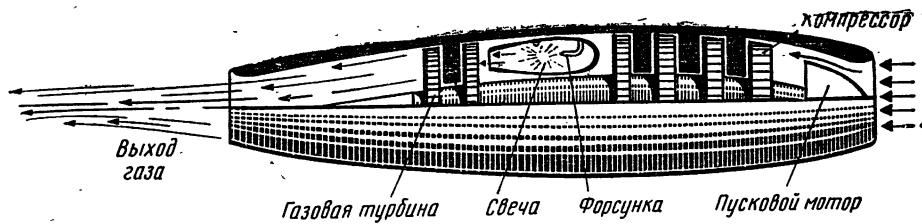


Рис. 41.

увеличивается, так как уменьшается внешнее давление. Реактивная тяга возникает и в безвоздушном пространстве, если обеспечено сгорание топлива. В реактивном двигателе процесс горения идет непрерывно и в единицу времени можно сжечь много топлива. Благодаря этому реактивный двигатель обладает большой мощностью при сравнительно небольших размерах и массе.

Известно несколько видов реактивных двигателей. Широкое распространение получили турбокомпрессорные воздушно-реактивные двигатели. Схема одного из видов такого двигателя дана на рисунке 41. Воздух проходит через переднее входное отверстие к компрессору¹. Сжатый компрессором воздух попадает в камеру сгорания, куда форсунка впрыскивает горючее, которое смешивается с воздухом и быстро сгорает. Поток раскаленных сжатых газов устремляется к выходному отверстию, но на своем пути газы встречают газовую турбину и отдают ей примерно половину своей энергии. (Эта турбина приводит в движение компрессор.) Пройдя турбину, струя раскаленного газа вырывается с большой скоростью из выходного отверстия и создает реактивную тягу. Обозначенные на рисунке 41 пусковой мотор и запальная свеча нужны только при запуске двигателя.

Мощность турбореактивных двигателей может быть очень велика. Так, на первом пассажирском скоростном самолете ТУ-104 были установлены два турбореактивных двигателя, каждый имел мощность более 22 МВт.

РАКЕТЫ И ПОЛЕТЫ В КОСМОС

Ракета была изобретена в Древнем Китае. С давних пор в праздничные вечера люди любуются тем, как, взлетая вверх, ракета рассыпается каскадом разноцветных искр. Но почему взлетает ракета?

В обычной ракете порох, сгорая, образует много газов. Они вытекают струей из отверстия (дюзы) вниз и, взаимодействуя с корпусом ракеты, толкают ее вверх

¹ Компрессор — машина для сжатия и перемещения газов.

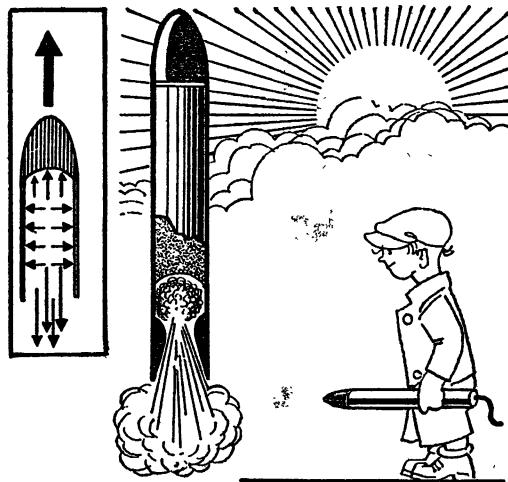


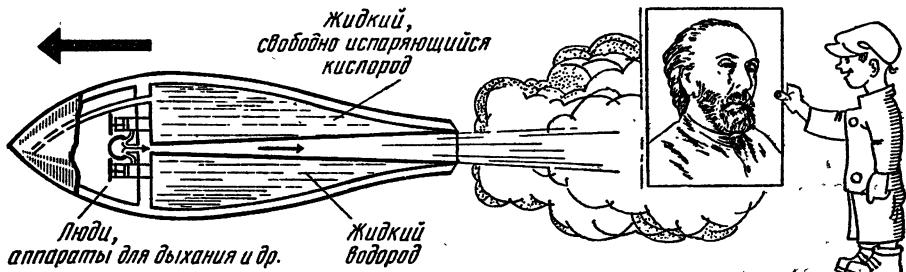
Рис. 42.

для межпланетных сообщений К. Э. Циолковский спроектировал в 1903 г. Схема ее устройства изображена на рисунке 43. Передняя часть металлического корпуса ракеты предназначена для размещения людей и приборов. В средней части ракеты располагали запасы горючего (жидкого водорода) и окислителя (жидкого кислорода). Газы, образующиеся при сгорании топлива, вытекая из камеры сгорания с громадной скоростью, создают большую реактивную тягу.

В нашей стране 4 октября 1957 г. с помощью ракеты-носителя был запущен первый в мире искусственный спутник Земли. Это событие произвело огромное впечатление на весь мир.

Вскоре советские ученые, конструкторы и рабочие под руководством академика Сергея Павловича Королева построили и запустили с помощью ракет новые спутники Земли. Вымпел Советского Союза ракета доставила на Луну, а

Рис. 43.



фотографии обратной стороны Луны были переданы на Землю. Были построены космические корабли-спутники, которые могли не только совершить полет в космос, но и произвести мягкую посадку в выбранном районе Земли.

Полет человека в космическое пространство впервые в истории был осуществлен в Советском Союзе 12 апреля 1961 г. Корабль-спутник «Восток» пилотировал первый в мире летчик-космонавт Ю. А. Гагарин. В честь этого исторического события ежегодно 12 апреля отмечается День космонавтики.

Корабль-спутник «Восток» был выведен на орбиту вокруг Земли с помощью мощной ракеты-носителя. Общая длина ракеты 38 м (высота 12-этажного дома), а диаметр у основания более 10 м. Суммарная мощность двигательных установок ракеты-носителя огромна, она составляла около $15 \cdot 10^6$ кВт. Двигатели работали не все сразу. Сначала работали двигатели первой ступени, потом второй, затем третьей. На рисунке 44 изображена ракета-носитель космического корабля «Восток», где 1 — двигатели первой ступени ракеты, причем каждый из этих двигателей имел по 4 сопла; 2 — двигатель с четырьмя соплами второй ступени; 3 — оперение; 4 — сопло двигателя третьей ступени ракеты; 5 — третья ступень ракеты; 6 — предохранительный обтекатель космического корабля.

С помощью ракет в космическое пространство в нашей стране теперь уже выведено свыше тысячи искусственных спутников Земли и космических кораблей. На Луну были доставлены самоходные аппараты, управляемые с Земли. На космические орбиты вместе с советскими космонавтами вышли космонавты братских социалистических стран.

Развитие космонавтики и проведение исследований в космосе оказали большое влияние на развитие техники и ряда наук: астрономии, медицины, метеорологии и др.

В исследовании космического пространства СССР занимает ведущее положение.

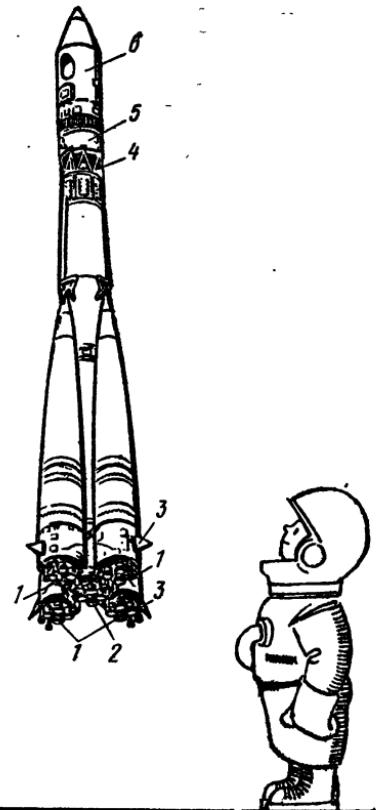


Рис. 44.



В СВОБОДНУЮ МИНУТУ

Автомобиль-воздухомет

Эта игрушка представляет собой тележку, на которой укреплено сопло с надетым на него резиновым шариком (рис. 45). Надуйте шарик, закройте сопло пальцем, поставьте игрушку на край стола и отпустите ее. Как надо расположить игрушку, чтобы она не упала со стола в самом начале движения? Почему игрушка приходит в движение? За счет какой энергии происходит движение игрушки?

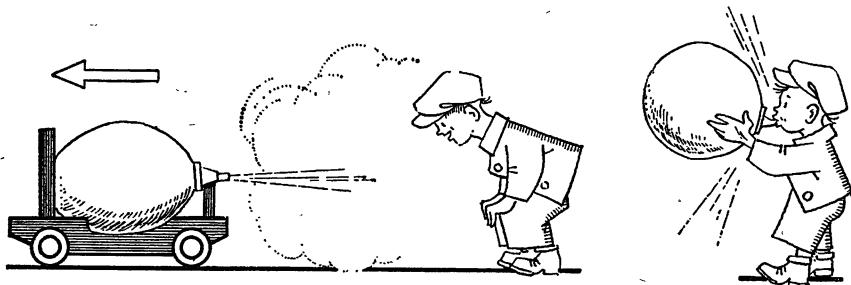


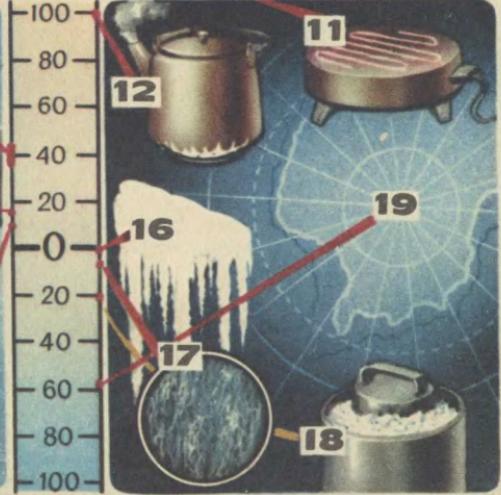
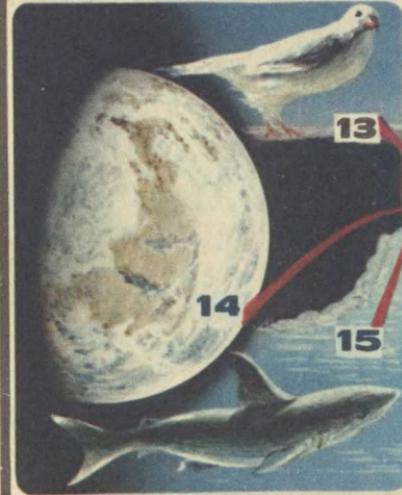
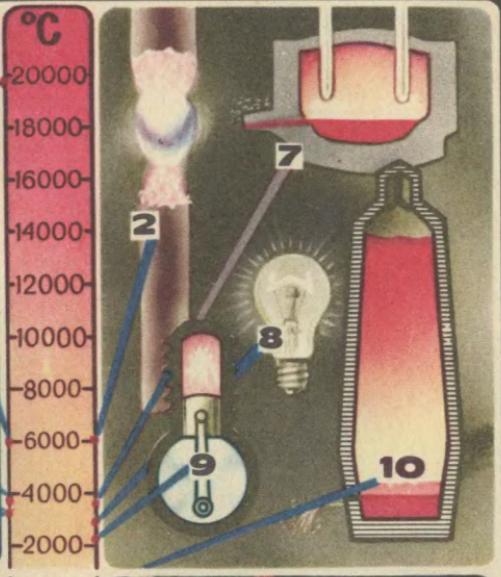
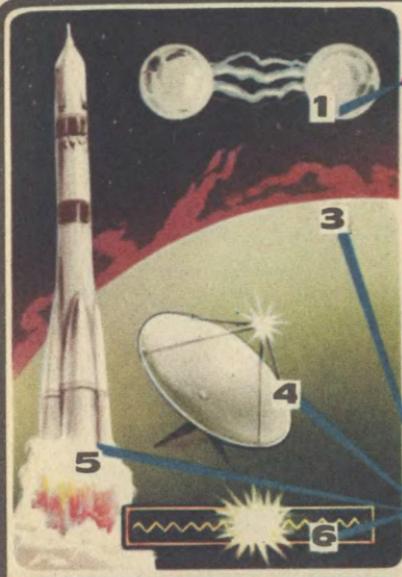
Рис. 45.

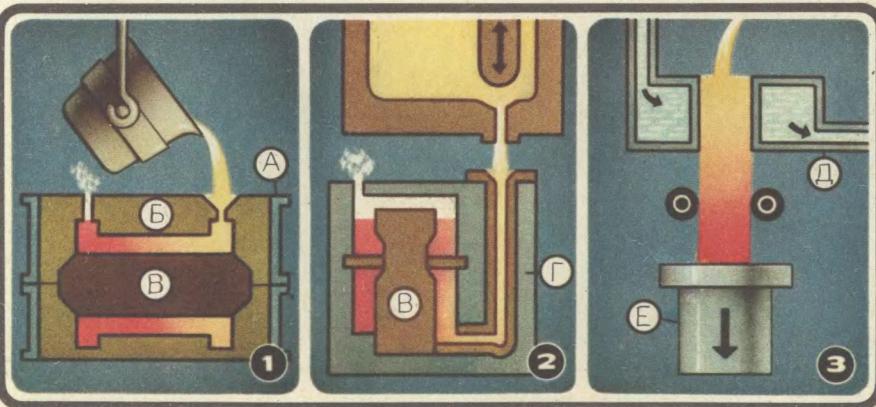
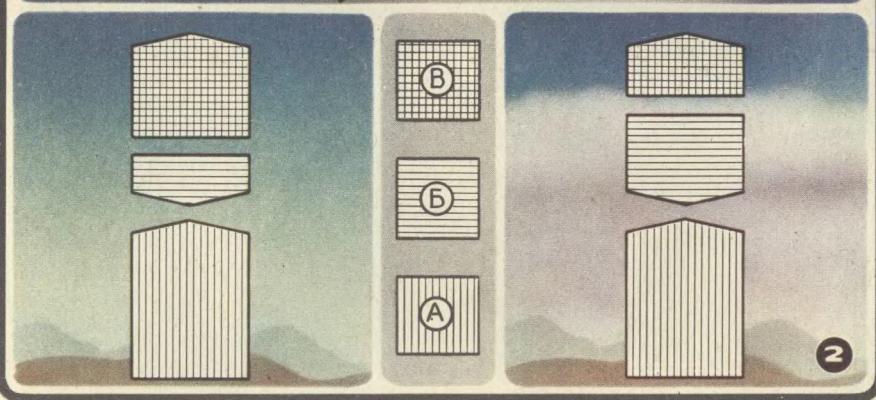
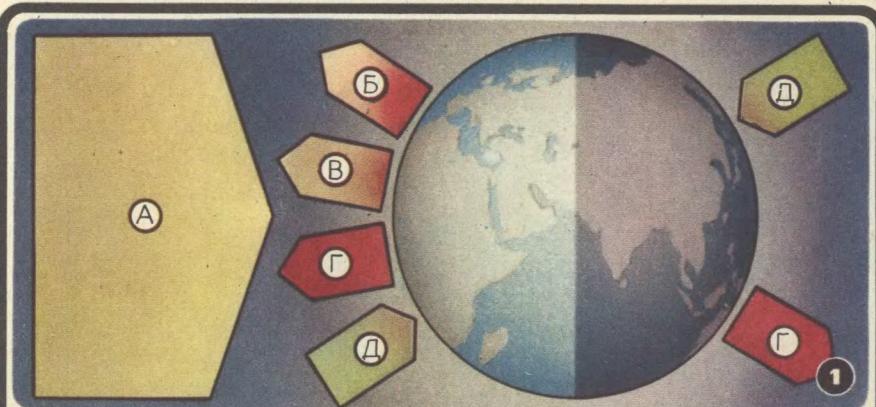
Они были первыми

В каждую клетку рисунка 46 впишите по букве так, что бы по горизонтали расположились фамилии изобретателей и учёных, сделавших большой

1. Температуры, встречающиеся в природе и технике ►

1. Электрический разряд ($19\ 500^{\circ}\text{C}$). 2. Газы в столбе электрической дуги при атмосферном давлении, электросварка (примерно 6000°C и более). 3. Поверхность Солнца (6000°C). 4. Солнечная печь для научных исследований (3600°C). 5. Газы в камере ракетного двигателя (3400°C). 6. Вольфрам плавится (3380°C). 7. Электропечь дуговая (2000 — 3500°C). 8. Нить электролампы (2500°C). 9. Двухтактный карбюраторный двигатель внутреннего сгорания (при сгорании топлива около 2300°C). 10. Доменный процесс (1500 — 1800°C). 11. Спираль электроплитки (600°C). 12. Вода кипит при атмосферном давлении (100°C). 13. Температура тела млекопитающих и птиц (37 — 45°C), рыб (29 — 35°C). 14. Средняя температура земного климата (15°C). 15. Средняя температура океана (10°C). 16. Лед плавится при атмосферном давлении (0°C). 17. Плесень растет (-6°C). 18. Смесь льда и поваренной соли (-20°C). 19. Средняя температура в Антарктиде (-57°C). 20. Жидкий воздух при кипении (-192°C). 21. Споры сохраняются при охлаждении до -250°C . 22. Семена высших растений сохраняют всхожесть после охлаждения до -269°C . 23. Теоретический предел понижения температуры (-273 , 15°C).





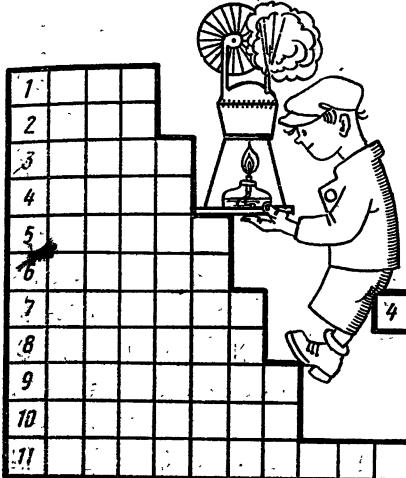


Рис. 46.

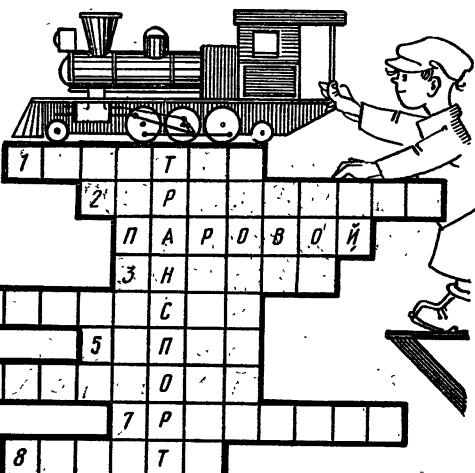


Рис. 47.

вклад в изобретение и совершенствование тепловых двигателей: 1. Изобретатель паровой машины, получившей широкое распространение. 2. Изобретатель, построивший первый четырехтактный газовый двигатель. 3. Изобретатель, построивший первую паровую машину и первую модель двигателя, сжигающего топливо под поршнем. 4. Основатель науки о тепловых машинах. 5. Изобретатель четырехтактного двигателя внутреннего сгорания, в котором в предварительно сжатый воздух впрыскивается горючее. 6. Изобретатель активной паровой турбины. 7. Главный конструктор первых спутников, лунников, космических кораблей. 8. Изобретатель карбюраторного двигателя внутреннего сгорания. 9. Изобретатель паровой машины, при-

◀ II. Распределение лучистой энергии. Литье

В е р х у. 1. Приход и расход лучистой энергии на дневной и ночной стороне Земли. *А*. Солнечное излучение, перехватываемое Землей. *Б*, *В*, *Г*. Отражение от поверхности Земли, облаков и излучение Земли. *Д*. Противоизлучение атмосферы.

2. Влияние облаков на излучение Земли ночью. *А*. Излучение земной поверхности. *Б*. Противоизлучение атмосферы. *В*. Эффективное (суммарное) излучение.

В и з у. 1. Литье в земляную форму: *А* — опока; *Б* — формовочная смесь; *В* — стержень, вкладываемый в опоку для создания внутренней полости в отливке. 2. Кокильное литье: *В* — стержни; *Г* — кокиль. 3. Непрерывное литье: *Д* — кристаллизатор, охлаждаемый проточной водой; *Е* — приемный стол, движущийся вниз.

водившей в движение насос. 10. Изобретатель, построивший первую в мире паровую машину универсального действия. 11. Ученый, впервые спроектировавший ракету для межпланетных сообщений.

Паровой транспорт

В каждую клетку рисунка 47 поместите по букве так, чтобы по горизонтали получить слова, означающие:

1. Изобретатель парохода. 2. Изобретатели, отец и сын, построившие в России первый паровоз. 3. Страна, в которой была открыта первая железная дорога общественного пользования. 4. Изобретатель паровоза. 5. Изобретатель, впервые придумавший использовать паровую машину для передвижения судна. 6. Название первого в мире парохода. 7. Изобретатель первого паровоза (не получившего распространения). 8. Название наиболее знаменитого из первых паровозов.

Паровая вертушка

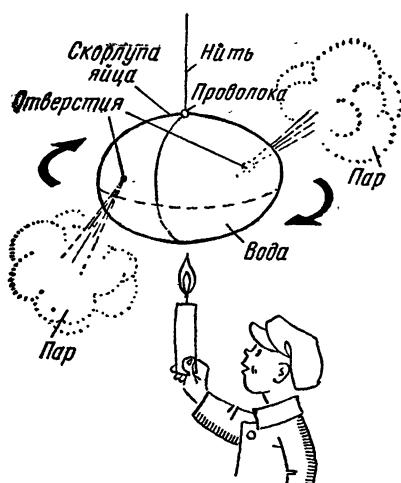


Рис. 48.

В сыром яйце сделайте два прокола иглой так, чтобы прокол у одного конца был слева, а у другого — справа. Перемешав содержимое яйца спицей, в одно из отверстий вдувайте воздух, чтобы удалить белок и желток. Промойте яйцо, на одну треть заполните его чистой водой и обвязите тонкой проволокой. Сверху к проволоке прикрепите нить и подвесьте яйцо над пламенем свечи или сухого спирта. Через некоторое время из отверстий начинает вырываться пар, а яйцо будет вращаться (рис. 48). Почему яйцо вращается?

Ребус

Прочитайте, что здесь написано (рис. 49), и вы узнаете слова, начертанные на памятнике Уатту, установленному на его могиле. Какое изобретение прославило Уатта? Какая единица названа в его честь?



Рис. 49.

ОТВЕТЫ К ГЛАВЕ III

Автомобиль-воздухомет. Автомобиль надо ставить так, чтобы сопло было обращено к краю стола. Игрушка приходит в движение вследствие взаимодействия струи воздуха, вытекающей из шарика, и корпуса игрушки. Автомобиль движется в сторону, противоположную движению струи. Потенциальная энергия сжатого в шарике воздуха переходит в кинетическую энергию струи воздуха, часть которой передается автомобилю.

Они были первыми. 1. Уатт. 2. Отто. 3. Папен. 4. Карно. 5. Дизель. 6. Лаваль. 7. Королев. 8. Даймлер. 9. Ньюкомен. 10. Ползунов. 11 Циолковский.

Паровой транспорт. 1. Фультон. 2. Черепановы. 3. Англия. 4. Стефенсон. 5. Папен. 6. Клермонт. 7. Тревитик. 8. Ракета.

Паровая вертушка. Пар, выходя из острого конца яйца по направлению к нам, толкает этот конец яйца по направлению от нас. Из отверстия в тупом конце яйца пар выходит по направлению от нас, и этот конец получает толчок по направлению к нам. Яйцо вращается, напоминая шар Герона.

Ребус. Зашифровано: «Увеличил силу человека». Уатт внес значительные усовершенствования в паровую машину. В его честь названа единица мощности — ватт.

ЭЛЕКТРИЧЕСТВО

ГЛАВА IV СТРОЕНИЕ АТОМА

НАЧАЛО ИЗУЧЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЯВЛЕНИЙ

Начальные знания об электризации трением относятся к глубокой древности. Так, электризация янтаря при трении была известна еще в VI в. до н. э. греческому философу Фалесу из Милета. Однако историю науки об электрических явлениях можно начать с исследований Вильяма Гильберта, врача английской королевы Елизаветы. Первое сочинение по электричеству и магнетизму Гильберт опубликовал в 1600 г., где описал электризацию трением; здесь же он впервые в истории науки применил термин «электричество» (от греческого слова «электрон», что означает «янтарь»). Гильберт установил, что стекло, смолы и многие другие вещества также электризуются при трении. Натертые щелком или сукном, они притягивают пушинки, соломинки и т. п.

Первую электрическую машину в 1650 г. построил немецкий ученый Отто Герике. Сначала он изготовил из серы большой шар. Натирая рукой шар, Герике наблюдал притяжение к нему легких предметов. Для большего удобства ученый установил шар на оси в особом станке (рис. 50). Вращая с помощью рукоятки шар и прижимая к нему ладонь, его можно было наэлектризовать. С помощью этой электрической машины Герике произвел много опытов. Наблюдая притяжение легких тел к наэлектризованному шару, он заметил, что пушинки и кусочки бумаги, коснувшись шара, отскакивали от него. Герике удалось даже заставить пушинку, коснувшуюся шара, плавать над наэлектризованным шаром в воздухе. Но объяснения этому явлению Герике не нашел. Свои опыты он описал в сочинении «Новые эксперименты», вышедшем в 1672 г.

В 1729 г. английский физик Стефан Грей открыл существование проводников и непроводников электричества. Испытывая различные тела природы, Грей установил, что электри-

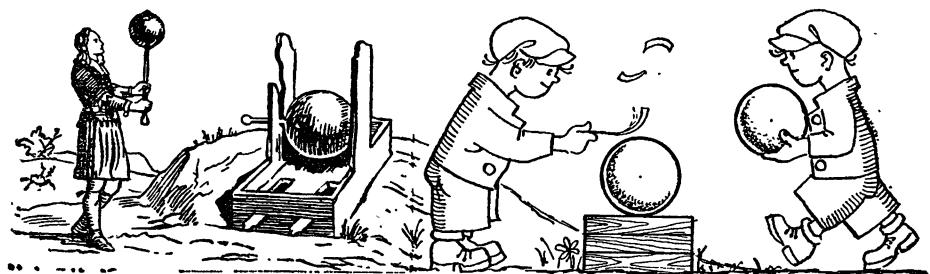
чество распространялось по металлическим проволокам, угольным стерженькам, пеньковой бечевке, но оно не передавалось по каучуку, воску, шелковым нитям, фарфору, которые могут служить изоляторами, предохраняющими от утечки электричества. К числу хороших проводников, как показали опыты Грея, принадлежат ткани тела человека и животных.

Французский исследователь Шарль Дюфе в 1730 г. изучал взаимодействие наэлектризованных тел. Дюфе заметил, что в одних случаях наэлектризованные тела взаимно притягиваются, а в других — отталкиваются. Например, настертая стеклянная палочка отталкивается от другой такой же палочки, но притягивается к наэлектризованному стерженю из смолы. Дюфе объяснил это явление тем, что существуют два рода электричества — «стеклянное» и «смоляное». Тела, заряженные электричеством одного рода, взаимно отталкиваются, а при разноименных зарядах притягиваются.

Более удачное обозначение двух родов электричества, удержанное до нашего времени, в 1778 г. дал известный американский физик и политический деятель Вениамин Франклайн. «Стеклянное» электричество им было названо положительным, а «смоляное» — отрицательным.

Первые приборы для обнаружения электричества и количественного изучения электрических явлений появились в XVIII в. Один из первых электроскопов в 1745 г. построил академик Петербургской Академии наук Георг Вильгельм Рихман. Электроскоп Рихмана состоял из железной линейки, против ребра которой была подвешена льняная нить, внизу имелась шкала. Когда линейка была наэлектризована, нить отталкивалась. С помощью этого прибора Рихман проделал много опытов, особенно по изучению электрического поля вокруг заряженных тел и по электризации металлов.

Рис. 50.



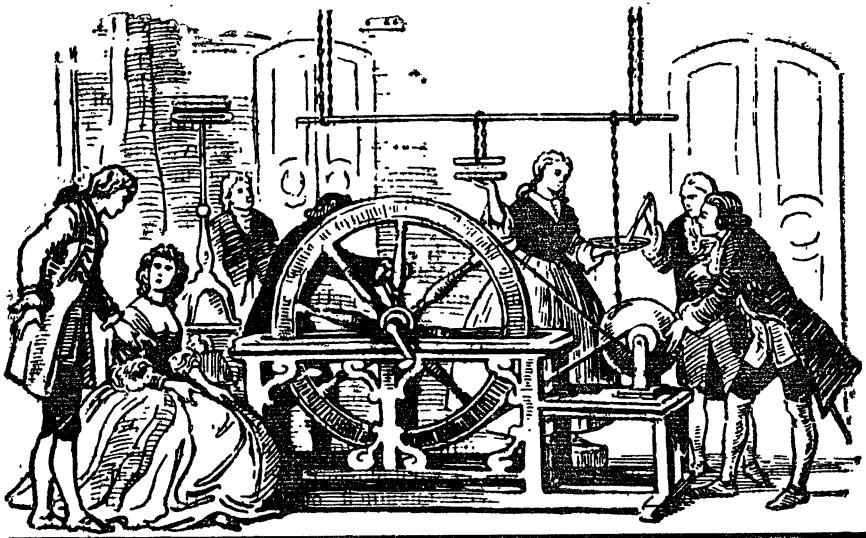


Рис. 51.

В 1785 г. французский инженер Шарль Кулон опытным путем установил, от чего зависит сила взаимодействия наэлектризованных тел. Закон Кулона вы будете изучать в IX классе. Здесь отметим, что из опытов Кулона возникло понятие «количество электричества».

В XVIII в. были построены более мощные электрические машины, чем машина Герике. Одна из них — машина французского физика Жана Нолле (рис. 51). Электричество возникло от трения о ладони стеклянного шара, приводившегося во вращение бесконечным ремнем от колеса. Заряды с шара переходили по проводнику на кондуктор, который был подвешен на шелковых нитях.

В 1750—1780 гг. увлечение «электричеством от трения» было всеобщим. Проводились опыты по электризации людей, воспламенению спирта от искры и т. п. Электрическая машина, с помощью которой вы сами проделываете эффектные опыты в физическом кабинете, изобретена в 1870 г. Уимшерстом.

В XVIII в. была высказана гипотеза, что электрические заряды действуют друг на друга на расстоянии. Но английский физик Майкл Фарадей отказался признать эту гипотезу дальнодействия и обратил внимание на среду, через которую передавались электрические притяжения и отталкивания. В 1852 г. Фарадей проделал такой опыт. Он погружал разноименно заряженные тела в масло (оно является диэлектриком), в котором имелись зернышки какого-либо легкого

порошка; при этом между заряженными телами возникали кривые линии из частиц порошка, идущие от одного заряженного тела к другому. Фарадей предположил, что эти линии не только указывают направление действия сил в различных точках полученного электрического поля, а соответствуют каким-то изменениям в той среде, через которую передаются электрические действия. Этот опыт помог Фарадею создать учение об электрическом поле.

Как видим, многие явления, связанные с электризацией тел, были открыты еще в XVII—XVIII вв., но полное объяснение они получили только тогда, когда развилось учение об электрическом поле и было открыто строение атома.

КОГДА ЭЛЕКТРИЗАЦИЯ ТЕЛ ВРЕДНА

Однажды зимой посетители универмага «Детский мир» в Москве были напуганы женщиной, которая, по словам потерпевших, «колола людей хитро спрятанным шприцем». При расследовании выяснилось, что никакого шприца не существовало: «колола» синтетическая шубка. Она наэлектризовалась при соприкосновении с окружающими предметами, а сухой морозный воздух — диэлектрик, заряды на шубке накапливались, она стала искрить, и эти искры вызывали ощущение укола.

В настоящее время увеличился интерес к «электричеству от трения» — статическому электричеству¹. Главная причина этого интереса — неприятность, которую это электричество доставляет людям, забывающим о технике безопасности.

Еще в прошлом столетии были известны вредные действия статического электричества. Например, кожаные и прорезиненные ремни, наэлектризовавшиеся на вращающихся шкивах, могут стать источником искрового разряда. Он особенно опасен, если в воздухе висит мелкая горючая пыль (скажем, мука): проскочившая от наэлектризованного тела искра может вызвать взрыв и пожар (см. цвет. вклейку III, вверху, 1).

В XX в. вредные проявления статического электричества наблюдаются чаще, так как широко применяют легко электризующиеся вещества: пластмассы, синтетические волокна, нефтепродукты и т. п. Электризация происходит и в быту, и при любом технологическом процессе, где происходит взаимодействие движущихся тел, которые

¹ Статический (лат.) — находящийся в покое. Однако представление, что статическое электричество находится всегда в покое ошибочно.

состоят из материалов, являющихся диэлектриками. Такое взаимодействие происходит при смешении, разделении, механической обработке и т. д. Например, при обработке на прессе пластины из полистирола одни места на ней заряжаются положительно, другие отрицательно (они показаны зеленым и желтым, см. там же, 2). Чем больше скорость технологического процесса, тем значительнее электризация. Накопление зарядов продолжается до тех пор, пока не произойдет искровой разряд.

На kleepromazочной машине, которая смазывает резиновым kleem тканевые материалы, в результате трения материала о валки происходит их электризация. Если не снять эти заряды, то даже небольшая искра может вызвать пожар, так как окружающий воздух насыщен парами бензина. Причиной взрыва может стать человек, так как при контакте с заряженной тканью электризуется и тело оператора.

При движении жидкости-лиэлектрика внутри труб (например, при перекачке горючего из бензозаправщика в баки самолета) происходит электризация и перенос зарядов. Чтобы не произошло искрового разряда и взрыва, повышают электропроводность бензина, добавляя в него соединения хрома.

Взаимодействие наэлектризованных тел затрудняет выполнение многих технологических операций. Например, электризация волокон вызывает их взаимное отталкивание, что мешает работе ткацких станков. Заряженную ткань трудно раскраивать. Такая ткань, кроме того, сильно загрязняется вследствие притяжения к ней частичек пыли.

Для избежания вредных последствий электризации тел в технике применяют различные меры борьбы с этим явлением. Основной метод уменьшения электризации — заземление оборудования. Однако заземление не помогает, если применяется оборудование из материалов, являющихся диэлектриками. Чтобы поверхность таких материалов лучше проводила электричество, ее подвергают обработке. Например, приводные ремни и ленты транспортеров покрывают графитом или бронзовым порошком. С той же целью увеличивают влажность воздуха в помещении; тогда на материалах, не проводящих электричество, образуется тонкая пленка воды. Вода содержит примеси, поэтому является проводником электричества. Иногда ионизируют воздух. Ионы под действием сил притяжения движутся к заряженным поверхностям, уменьшая их заряд. В быту при стирке одежды применяют различные антистатики.

Рассмотренные примеры не исчерпывают, конечно, всех случаев вредной электризации тел и мер борьбы с нею.

КОГДА ЭЛЕКТРИЗАЦИЯ ТЕЛ ПОЛЕЗНА

Статическое электричество может быть верным помощником человека, если изучить его закономерности и правильно их использовать.

В технике применяют метод, сущность которого заключается в следующем. Мельчайшие твердые или жидкые частицы материала поступают в электрическое поле, где на их поверхность «оседают» электроны и ионы, т. е. частицы приобретают заряд и далее движутся под действием электрического поля. В зависимости от назначения аппаратуры можно с помощью электрических полей по-разному управлять движением частиц в соответствии с необходимым технологическим процессом. Эта технология уже пробила себе дорогу в различные отрасли народного хозяйства (см. цвет. вклейку III, внизу, 1—4).

Малая без кисточки. Движущиеся на конвейере окрашиваемые детали, например корпус автомобиля, заряжают положительно, а частицам краски придают отрицательный заряд, и они устремляются к положительно заряженной детали. Слой краски на ней получается тонкий, равномерный и плотный. Действительно одновременно заряженные частицы красителя отталкиваются друг от друга — отсюда равномерность окрашивающего слоя. Частицы, разогнанные электрическим полем, с силой ударяются об изделие — отсюда плотность окраски. Расход краски снижается, так как она осаждается только на детали. Метод окраски изделий в электрическом поле сейчас широко применяют в нашей стране.

Электрические копчености. Копчение — это пропитывание продукта древесным дымом. Частицы дыма не только придают продуктам вкус, но и предохраняют их от порчи. При электрокопчении частицы коптильного дыма заряжают положительно, а отрицательным электродом служит, например, туника рыбы. Заряженные частички дыма оседают на поверхности туники и частично поглощаются ею. Все электрокопчение продолжается несколько минут; прежде копчение считалось длительным процессом.

Электрический ворс. Чтобы получить в электрическом поле слой ворса на каком-либо материале, надо материал заземлить, поверхность покрыть kleящим веществом, а затем через заряженную металлическую сетку, расположенную над этой поверхностью, пропустить порцию ворса. Ворсинки быстро ориентируются в поле и, распределяясь равномерно, оседают на клей строго перпендикулярно поверхности. Так получают покрытия, похожие на замшу или бархат. Легко получить разноцветный узор, заготовив порции разных по цвету ворса и несколько шаблонов, которыми в процессе электроворсования прикрывают поочередно отдель-

ные участки изделия. Так можно сделать многоцветные ковры.

Как ловят пыль. Чистый воздух нужен не только людям и особо точным производствам. Все машины из-за пыли преждевременно изнашиваются, а каналы их воздушного охлаждения засоряются. Кроме того, часто пыль, улетающая с отходящими газами, представляет собой ценное сырье. Очистка промышленных газов стала необходимостью. Практика показала, что с этим хорошо справляется электрическое поле.

По центру металлической трубы устанавливают проволоку *Б*, которая служит одним из электродов, вторым являются стенки трубы *В*. В электрическом поле газ в трубе ионизируется. Отрицательные ионы «прилипают» к частицам дыма, поступающим вместе с газом через вход *А*, и заряжают их. Под воздействием поля эти частицы движутся к трубе и осаждаются на ней, а очищенный газ направляется к выходу *Д*. Трубу время от времени встряхивают, и уловленные частицы поступают в бункер *Г* (см. цв. вклейку III, З).

Электрические фильтры на крупных тепловых электростанциях улавливают 99 % золы, содержащейся в выходных газах.

Смешение веществ. Если мелкие частицы одного вещества зарядить положительно, а другого — отрицательно, то легко получить их смесь, где частицы распределены равномерно.

Например, на хлебозаводе теперь не приходится совершать большую механическую работу, чтобы замесить тесто. Заряженные положительно крупинки муки воздушным потоком подаются в камеру, где они встречаются с отрицательно заряженными капельками воды, содержащей дрожжи. Крупинки муки и капельки воды, притягиваясь друг к другу, образуют однородное тесто.

Можно привести много других примеров полезного применения статической электризации. Основанная на этом явлении технология удобна: потоком заряженных частиц можно управлять, изменения электрическое поле, а весь процесс легко автоматизировать.

ИЗ ИСТОРИИ ИЗУЧЕНИЯ ГРОЗЫ

На первобытного человека сильное впечатление производило непонятное для него явление — гроза. В страхе перед грозой люди обожествляли ее или считали орудием своих богов. Восточные славяне в древности чтили бога Перуна, «творца» молний и грома. Позже наши предки гром и молнию приписывали «деятельности» Ильи-пророка, который, «катаясь на колеснице по небу, пускает огненные

стрелы». Боги грома и молний известны в религиозных представлениях и других народов. Во все времена церковь стремилась насаждать и поддерживать веру народных масс, что молния — это «небесная кара». Уже в древности жрецы использовали электричество атмосферы для получения «небесного огня» во время приношения жертв. С этой целью в египетских храмах строили высокие деревянные мачты, обитые медными листами. Специальное устройство собирало электрический заряд, достаточный для того, чтобы убить искрой человека или животное, приносимое в жертву.

Благодаря упорному труду исследователей удалось показать, что в явлении грозы и молний нет ничего сверхъестественного, что в нем нет места божественной деятельности и нет причин для суеверных страхов.

Электрическая природа грозовых явлений была доказана в середине XVIII в. рядом ученых. Американский ученый Вениамин Франклайн запускал во время грозы высоко в воздух змей и по металлическому проводнику из грозового облака извлекал электрическую искру. В. Франклайн показал, что электрический заряд, образующийся в атмосфере, действует так же, как и обычные электрические заряды.

В ряду первых ученых, доказавших электрическую природу грозы, были великий русский ученый М. В. Ломоносов и его друг Г. В. Рихман.

Летом 1752 г. они построили «громовую машину». Над крышей дома Ломоносова был укреплен изолированный высокий железный шест, нижний конец которого проходил внутрь помещения. К нижнему концу шеста прикрепляли железную линейку, к верхней части которой приклеивали шелковую нить. Такая же машина была установлена и на квартире Рихмана. При приближении грозы металлический шест и линейка с нитью заряжались, и нить, отталкиваясь от нее, отклонялась на некоторый угол. При близкой и сильной грозе из линейки извлекали искры.

Во время одного из таких опытов в 1753 г. Рихман был убит шаровой молнией (рис. 52). Большой опасности подвергался и сам Ломоносов, который во время этой грозы проводил опыты с «громовой машиной» у себя дома. Позже, вспоминая об этом, М. В. Ломоносов писал: «Внезапно гром чрезвычайно грянул в самое то время, как я руку держал у железа и искры трещали. Все от меня прочь бежали...». Через

Рис. 52.



несколько минут Ломоносову сообщили, что Рихмана убила молния.

Ломоносов не без основания беспокоился о том, чтобы смерть Рихмана не была использована для «прекращения наук». Действительно, как в России, так и в других странах церковники и мракобесы встретили смерть Рихмана со злорадным торжеством. Они говорили, что убившая его молния — наказание за «дерзновенные опыты, неугодные богу».

М. В. Ломоносов, тяжело переживая смерть Рихмана, отмечал, что он умер «прекрасною смертью, исполняя по своей профессии должность. Память его никогда не умолкнет».

Электрическую сущность грозовых явлений Ломоносов изложил в работе «Слово о явлениях воздушных, от электрической силы происходящих». Ученый считал, что атмосферное электричество появляется в результате трения частичек «мерзлых паров», которые переносятся восходящими и нисходящими воздушными потоками. Электрический разряд, происходящий между облаком и землей или между двумя облаками, заряженными разноименно, и представляет собой молнию.

В результате своих исследований атмосферного электричества М. В. Ломоносов и Б. Франклин пришли к заключению, что человек может отвлечь молнию от своих жилищ с помощью высоких заземленных металлических стержней — «громоотводов» или, как их правильнее называть, молниеотводов.

Первый в мире молниеотвод в июне 1754 г. водрузил над крестом своего храма сельский священник из Моравии Прокоп Дивиш, крестьянский сын, ученый и изобретатель. Первый в России молниеотвод появился в 1756 г. над Петропавловским собором в Петербурге. Он был сооружен после того, как молния дважды ударила в шпиль собора и подожгла его. В течение короткого времени молниеотвод нашел широкое распространение во всем мире.

В дальнейшем серьезный вклад в теорию грозового электричества внес русский ученый А. И. Войков.

Советский ученый Я. И. Френкель развил теорию грозы далее. Она находит все более широкое признание и подтверждение. Продолжаются эксперименты по изучению атмосферного электричества, которые проводят с помощью современного оборудования.

КАК ОБРАЗУЮТСЯ ГРОЗОВЫЕ ОБЛАКА

В летний день мы часто видим, как в небе плывут кучевые облака, однако ни дождя, ни грозы нет. Как же создается электрический заряд в грозовом облаке?

Заряжение частиц грозового облака происходит, как полагают ученые, несколькими путями.

Когда в верхней части облака в вихре пурги ледяные кристаллы сталкиваются друг с другом, они разламываются и электризуются. Более крупные осколки заряжаются отрицательно, осаждаются в нижнюю часть облака и там тают. Мелкая ледяная пыль, заряженная положительно, относится потоками воздуха вверх. В этом случае вершина облака будет заряжена положительным электричеством, а нижняя часть — отрицательным. Такие грозовые облака наблюдаются часто.

Когда крупные дождевые капли у основания облака разбрызгиваются порывами ветра, то большая часть капли заряжается положительно, а сдуваемые с нее мельчайшие брызги — отрицательно. Водяную пыль воздух уносит вверх а положительно заряженной область в этом случае образуется в нижней части облака.

Но не только так могут заряжаться грозовые облака. Капельки воды и частицы льда при своем движении в вихре воздуха сталкиваются. При этом они сливаются или смерзаются, одни частицы тают, другие замерзают. Каждый из этих процессов, как показывают исследования, может привести к электризации облачных частиц.

Разделение электрических зарядов в грозовом облаке происходит за счет энергии солнечного излучения. Действительно, пашня и болото или другие сравнительно небольшие участки поверхности Земли прогреваются солнцем неравномерно. Это вызывает сильные восходящие потоки нагретого воздуха, которые являются причиной образования мощных грозовых облаков и местных гроз. Но больше половины общего числа гроз возникает вследствие неравномерного нагревания солнечными лучами больших участков поверхности земного шара, при этом приходят в движение огромные теплые и холодные воздушные массы. Поток холдного и более плотного воздуха, стремительно на-двигаясь, поднимает вверх огромные массы теплого воздуха, а это приводит к образованию весьма протяженного вала грозовых облаков.

Молния — это огромная электрическая искра или разряд в атмосфере. Наблюдаются молнии и между двумя облаками, которые заряжены разноименно, и

Рис. 53.



между облаком и землей (рис. 53). Например, когда отрицательно заряженное облако подходит к высокому дереву, то под действием сил электрического поля электроны в дереве перемещаются, в результате чего вершина дерева заряжается положительно, т. е. разноименно с зарядом облака, а отрицательный заряд уходит в землю. Так создаются условия, благоприятные для разряда между облаком и наземным предметом.

Рассказ о молнии вы найдете в главе V.

ЗАРЯД ЭЛЕКТРОНА

В начале XX в. ученые-физики определяли величину заряда электрона, но их смущало то, что разные экспериментаторы получали для этой величины отличающиеся друг от друга результаты.

Американский физик Роберт Милликен так поставил опыт по определению заряда электрона. Он получал очень маленькие капельки жидкости, которые при разбрзгивании между двумя горизонтальными пластинами заряжались за счет трения о стенки трубы пульверизатора. Ученый рассматривал одну каплю, на которую действовала сила тяжести \vec{F}_t , направленная вниз, и электрическая сила \vec{F}_e . Если и капля, и нижняя пластина заряжены отрицательно, то \vec{F}_e направлена вверх. Изменяя заряд пластин, можно было добиться того, чтобы капля находилась в равновесии, т. е. $\vec{F}_t = \vec{F}_e$.

Р. Милликен наблюдал за поведением такой капли в микроскоп. Она была столь мала, что разглядеть ее контуры не удавалось, на темном фоне видна была лишь звездочка рассеянного ею света. Некоторые из капель, в результате испарения постепенно теряя массу, начинали медленно двигаться вверх, так как сила тяжести при этом тоже уменьшалась. Если электрическое поле убирали, то все капли начинали падать. Измеряя скорость падения одной капли, вычисляли ее силу тяжести \vec{F}_t .

Электрическая сила \vec{F}_e зависит от заряда пластин (он известен) и от заряда капли. Поэтому, если капля находится в равновесии, то, зная \vec{F}_e , можно вычислить ее заряд.

Далее Милликен изменял заряд капли. Он использовал рентгеновское излучение, чтобы выбить несколько (неизвестно сколько) электронов из самой капли. Милликен повторял измерение заряда капли много раз. Опыт длился несколько часов.

Даже после того как заряды капли были вычислены, несложно было определить заряд электрона. Один физик комментировал трудность этой задачи аналогией: надо

найти массу одного яйца, если дана масса большого числа бумажных кульков с яйцами, в каждом из которых находится свое, к тому же неизвестное число яиц.

Из опытов Р. Милликен сделал вывод, что все электрические заряды на капле либо в точности были равны заряду электрона, либо представляли небольшие целые кратные этого заряда. Милликен выполнил первые измерения заряда электрона весной 1909 г.

В 1913 г. Р. Милликен предпринял новые измерения. Он заменил капли воды каплями масла, которые почти не испаряются, добился того, что температура в приборе изменилась не более чем на $0,02^{\circ}\text{C}$, ввел поправки в расчеты.

Особенно важные улучшения методики эксперимента были сделаны в том же 1913 г. русским физиком Абрамом Федоровичем Иоффе. В процессе опыта он заряжал не капельки масла, а пылинки цинка. Это давало два важных преимущества: во-первых, цинк не испарялся, как масло, и масса пылинки оставалась постоянной на протяжении всего длительного эксперимента; во-вторых, цинк легче, чем масло, теряет отрицательный заряд под действием падающего на него излучения.

Измерения А. Ф. Иоффе подтвердили вывод о неделимом (зернистом) строении электрического заряда. Он писал: «Можно было снять 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, ... до 50 зарядов, но это было всегда целое число электронов. Оказалось, что, какое бы вещество мы ни взяли, будь то цинк, масло, ртуть, будет ли это действие света, или нагревание, или другое воздействие, всякий раз, как тело теряет заряд, оно всегда теряет по целому электрону. Значит, можно было заключить, что в природе существуют только целые электроны».

Так была подтверждена основательность тех экспериментальных данных, на которых поконится атомная теория электричества.

КАК БЫЛО ОТКРЫТО АТОМНОЕ ЯДРО

В конце XIX в. ученые предполагали, что неделимый атом состоит как бы из сферы, равномерно заряженной положительным электричеством. В эту сферу вкраплены электроны, а в целом атом нейтрален. «Что-то вроде пудинга с изюмом», как однажды выразился английский физик Д. Томсон, предложивший в 1898 г. такую модель строения атома.

Английский физик Эрнест Резерфорд изучал строение атома различных веществ, подвергая их бомбардировке частицами, излучаемыми радиоактивными элементами.

Суть его опытов заключалась в следующем. На пути узкого пучка α -частиц, испускаемых радиоактивным веществом,

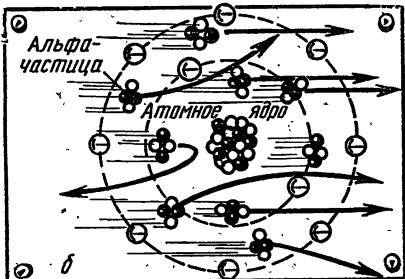
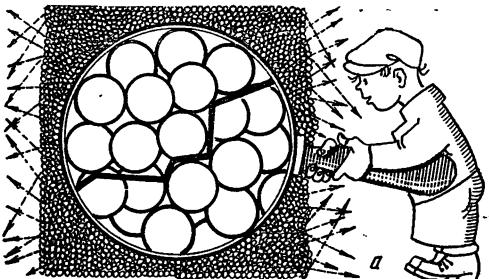


Рис. 54.

помещалась очень тонкая фольга из золота. Регистрировались α -частицы с помощью экрана из светящегося состава (сернистый цинк), расположенного вокруг мишени. Чего можно было бы ожидать в результате попадания α -частиц в атомы золота, если бы последние были сплошными шариками? Если α -частицам нужно будет как-то пробираться через гущу атомов золота, то им придется претерпевать множество столкновений с ними, сотни и тысячи раз менять свое направление. И, как предполагалось, α -частицы будут рассеиваться, т. е. вылетать из золотого листа по самым различным направлениям (рис. 54, а; поток α -частиц падает слева).

На деле оказалось совсем не так. Подавляющая часть α -частиц проходила сквозь металл, почти не отклоняясь от прямолинейного пути, и лишь немногие отклонялись на большие углы, а иногда даже отскакивали назад (рис. 54, б; соотношение размеров не соблюдено).

Вспоминая через 20 лет о своих первых опытах, Э. Резерфорд говорил: «Это было, пожалуй, самое невероятное явление, которое когда-либо встречалось в моей жизни. Оно было почти таким же невероятным, как если бы вы обстреливали 15-дюймовыми снарядами лист самой тонкой бумаги, а они отскакивали бы обратно и попадали в вас. После размышлений над этим обстоятельством я убедился, что это обратное рассеяние могло быть результатом только прямого попадания. Но когда я произвел нужные расчеты, то увидел, что полученный результат по величине тоже невероятен, за исключением того единственного случая, когда вы имеете дело с системой, в которой большая часть массы атома сконцентрирована в ничтожно малом ядре».

Действительно, единственным правдоподобным объяснением этому явлению могло быть только то, что положительно заряженные α -частицы встречали на своем пути прямо перед собой другие, еще более сильно заряженные положительным электричеством частицы, заряд и масса которых были столь велики, что α -частицы отлетали в сторону и даже

назад, несмотря на свою огромную скорость (около 15 000 км/с), а следовательно, и энергию. Столь огромные силы отталкивания не могли появиться у атома, положительный заряд которого был бы распределен равномерно по всей сфере атома, как это предполагал Д. Томсон.

Многократно повторив опыты, Э. Резерфорд в 1911 г. опубликовал их результаты и выводы о том, что удалось обнаружить положительно заряженную часть атома — ядро атома, в котором сосредоточена почти вся его масса. Это ядро занимает лишь ничтожно малую часть объема всего атома, примерно одну стотысячную его поперечника. Атом оказался пуст!

Если увеличить размер атома до размера Земли, а его электроны, расположенные на самой внешней границе атома и образующие как бы оболочку, представить в виде футбольных мячей, катящихся по поверхности Земли, то положительно заряженное ядро атома будет иметь размер шара диаметром всего около 130 м, расположенного в самом центре Земли. Разделить же их будет пустое пространство в 6378 км!

В СВОБОДНУЮ МИНУТУ



Обезьянки

На рисунке 55 изображена игрушка «обезьянки», которую продают в магазинах. Подобную игрушку вы можете изготовить сами из стекла или прозрачной коробочки. Сделайте из плексигласа небольшую плоскую коробку с деревянным или картонным дном, оклеенным металлической фольгой, например от конфет. Коробку можно сделать и из дерева, но со стеклянной крышкой. На нижней стороне крышки нарисуйте пальмы. Внутрь коробки положите вырезанные из тонкой бумаги и раскрашенные фигурки двух обезьянок. Игрушка готова. Ребром ладони проведите 2—3 раза по верхней плоскости игрушки. Обезьянки подпрыгнут и повиснут на пальмах (притянутся к крышке коробки). Коснитесь крышки коробки пальцем над тем местом, где повисла обезьянка, и она либо упадет, либо перескочит на другое место рядом. Снова проведите ребром ладони по крышке коробки, и обезьянки опять прыгнут на пальму. Объясните работу игрушки.



Рис. 55.

Лесенка

В каждую клетку, включая нумерованную (рис. 56), поставьте по букве так, чтобы слова по горизонтали означали: 1. Английский физик, открывший существование проводников и непроводников электричества. 2. Французский ученый, впервые изучавший взаимодействие одноименно и разноименно заряженных тел. 3. Французский ученый, первым изучавший силу взаимодействия заряженных тел и давший понятие о количестве электричества. 4. Русский ученый, построивший один из первых электроскопов, погибший при изучении грозы. 5. Немецкий ученый, изучавший электризацию с помощью вращающегося шара из серы. 6. Английский физик, создавший учение об электрическом поле. 7. Английский ученый, родоначальник науки об электрических явлениях, автор термина «электричество». 8. Американский ученый, придумавший термины «положительное» и «отрицательное» электричество, исследовавший грозу и предложивший строить молниеподводы. 9. Великий русский ученый, экспериментально и теоретически исследовавший атмосферное электричество.

П р и м е ч а н и е. Названы те исследования ученых, которые относятся к теме данной главы.

Догадайтесь

В каждую клетку, включая нумерованную (рис. 57), надо вставить букву так, чтобы слова по горизонтали означали: 1. Вещество непроводящее электричество. 2 и 6. Ученые, опыты которых до-

Рис. 56.

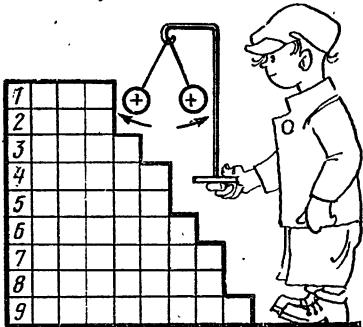
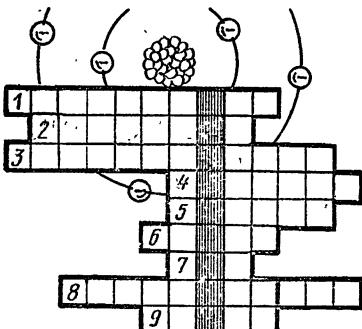


Рис. 57.



казали существование и позволили измерить заряд электрона. 3. Сообщение телу электрического заряда. 4 и 5. Частицы, из которых состоит ядро атома. 7. Атом, потерявший или присоединивший один или несколько электронов. 8. Прибор, служащий для обнаружения заряда. 9. Одно из веществ, испускающих α -частицы.

По вертикали в выделенных клетках: ученый, опыт которого лежит в основе ядерной модели строения атома.

Ребус

Прочтите слова знаменитого физика, сказанные им, когда он обдумал результаты своего опыта по бомбардировке листа золота α -частицами (рис. 58). Назовите фамилию ученого и год, когда он сделал вывод из этого опыта.

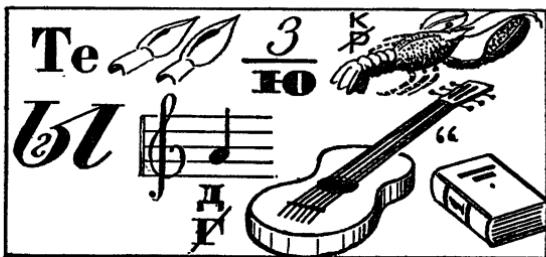


Рис. 58.

ОТВЕТЫ К ГЛАВЕ IV

Обезьянки. Проводя ребром ладони по крышке коробки, вы электризуете ее, поэтому легкие кусочки бумаги (обезьянки) притягиваются к ней. Коснувшись пальцем крышки коробки над тем местом, где висит обезьянка, вы отвели заряд в землю, но только с этого места коробки, поэтому обезьянка не притягается больше к нему и может упасть. Но она может и перепрыгнуть на соседнюю часть крышки, на которой заряд остался, так как материал, из которого сделана крышка, не проводит электричество.

Лесенка. 1. Грей. 2. Дюфе. 3. Кулон. 4. Рихман. 5. Герике. 6. Фарадей. 7. Гильберт. 8. Франклайн. 9. Ломоносов.

Догадайтесь. По горизонтали: 1. Диэлектрик. 2. Милликен. 3. Электризация. 4. Нейтрон. 5. Протон. 6. Иоффе. 7. Ион. 8. Электроскоп. 9. Радий. По вертикали: Резерфорд.

Ребус. Зашифровано: «Теперь я знаю, как выглядит атом». Это слова английского физика Резерфорда, сказанные им в 1911 г.

ГЛАВА

СИЛА ТОКА, НАПРЯЖЕНИЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ

ОТ ЛЯГУШАЧЬИХ ЛАПОК К ВОЛЬТОВУ СТОЛБУ

Во второй половине XVIII в. многие врачи проводили разнообразные опыты, выясняя действие электричества на организм животных и человека. Например, под действием разряда электрических машин наблюдались сокращения мышц, даже если это были мышцы лапок не живой, а мертвой лягушки.

Такие опыты с лапками лягушек в 1786 г. проводил итальянский анатом Луиджи Гальвани. Однажды он подвесил на медных крючках задние лапки лягушки к железной решетке балкона своего дома. Гальвани был очень удивлен, обнаружив, что мышцы лапок сокращались при отсутствии электрической машины, если надавить на крючки. Повторив в разных вариантах опыты с лапками лягушки, Гальвани решил, что в мускулах лягушки заключается «животное» электричество, поэтому при соединении проводниками (médные крючки и железная решетка балкона) нерва с мускулами происходит разряд.

Но соотечественник Гальвани профессор физики Александро Вольта, выполнив его опыты и проделав новые, пришел к совершенно иному заключению. Нет, утверждал Вольта, никакого «животного» электричества не существует¹. Роль источника электричества в опытах Гальвани А. Вольта приписал контакту двух разнородных металлов, а лапки лягушки он считал лишь чувствительным электрометром. Вольта обратил внимание на то, что в этих опытах переход электрического флюида (как говорили в то время) не является моментальным, каким был бы разряд, но постоянным и продолжающимся все время, пока сохраняется сообщение между телами из разнородных металлов. Сообщаясь они могут не только через животное вещество, но и через неметаллические проводники, например, смоченные водой тела. Вольта подчеркивал, что разнородные металлы здесь не простые проводники или передатчики тока, а «настоящие двигатели электричества». Ученый исследовал контакты различных

¹ Развитие науки показало, что в этом Вольта ошибался. Ныне Гальвани считают основоположником электрофизиологии.

металлов. Он установил, что раздражение нервов органов животных или человека будет наибольшим при контакте цинка и серебра. По сути Вольта сравнивал возникавшие при этом напряжения.

Ученый писал, что если составить проводящую цепь так, чтобы между различными металлами, например серебром и цинком, был введен соприкасающийся с ними жидкий проводник, то вследствие этого возникает постоянный электрический ток того или иного направления. Вольта между каждой парой цинковой и медной пластинок (кружков) положил прокладку из картона, пропитанную кислотой. Такой столбик, составленный из сложенных попарно медных и цинковых пластин, разделенных влажной прокладкой, получил название вольтова столба (рис. 59). Он был построен в 1800 г. Вольтов столб в действительности представлял собой простейшую батарею, составленную из последовательно соединенных медно-цинковых элементов (элементов Вольта).

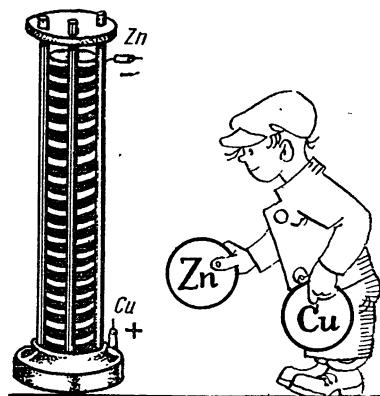
Элемент Вольта и изобретенные позднее подобные ему источники тока были названы по имени Гальваническими элементами. Вольтов столб, как и все гальванические элементы, являлся химическим источником тока; между жидкостью, пропитывающей прокладку, и металлами протекала химическая реакция, в результате которой происходило разделение заряженных электрическим зарядом частиц. Между полюсами источника тока образовывалось электрическое поле: если соединяли полюса проводником, в нем возникал электрический ток.

Сам Вольта не знал ничего о химических превращениях, которые вызывает его столб в жидкости. Велика его заслуга в том, что он создал первый в мире источник постоянного электрического тока, дал правильное описание цепи электрического тока и обратил внимание на условие существования тока; цепь должна быть замкнута.

Рис. 59.

Изобретение источника электрического тока открыло новую эру в исследовании электрических явлений. «Открытие гальванического тока...», — писал Ф. Энгельс, — имеет для учения об электричестве по меньшей мере такое же значение, как открытие кислорода для химии».

Интерес к электрическому току быстро возрастал. Во многих странах ставили разнообразные опыты с вольтовым столбом. Уже в 1800 г. было открыто химическое



и тепловое действия тока. Было показано, что ток способен разлагать воду на ее составные части — кислород и водород. Тепловое действие тока проявлялось в нагревании тонких проволочек, подключенных к вольтову столбу.

Русский ученый Василий Владимирович Петров в 1802 г. изготовил огромную батарею. Она состояла из 4200 медных и цинковых кружков, между каждой парой которых прокладывали картонные кружочки, пропитанные раствором нашатыря. Вся батарея размещалась в большом деревянном ящике. Дно и стенки ящика изолировали лаком и промасленной бумагой. Эта батарея представляла собой 2100 медно-цинковых гальванических элементов, соединенных последовательно. Напряжение на ее зажимах, вероятно, составляло 1650—1700 В. Это был первый в истории источник постоянного тока сравнительно высокого напряжения. Пользуясь им, В. В. Петров сделал важные открытия (см. гл. VI).

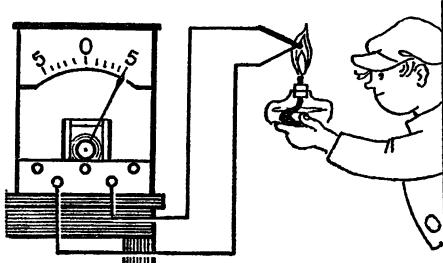
ТЕРМОЭЛЕМЕНТЫ

Если спаять две проволоки из различных металлов, например из висмута и меди, и нагреть место спая, то получим источник тока, называемый термоэлементом или термопарой. В этом можно убедиться, присоединив два других конца проволок (они находятся при комнатной температуре) к гальванометру — он покажет наличие тока в цепи (рис. 60). Если нагревание прекратить, то отклонение стрелки гальванометра будет постепенно уменьшаться, а когда спай охладится до комнатной температуры, прекратится и ток в цепи. Для поддержания высокой температуры спая необходима затрата энергии. В термоэлементе внутренняя энергия превращается в электрическую.

В металлических термоэлементах коэффициент полезного действия при превращении внутренней энергии в электрическую мал, он не превышает 0,5 %, поэтому металлические термопары как источник тока для питания каких-либо приемников тока не применяют.

Исследования термопар показали, что отклонение стрелки гальванометра прямо пропорционально разности температур спая и концов проволок, присоединенных к гальванометру. Такая зависимость соблюдается хорошо при небольшой разности температур. Если эта разность велика, зависимость получается более сложной,

Рис. 60.



но она известна. Это позволяет применять металлические термопары для измерения температур.

Спай термопары закрывают защитным колпачком и помещают в ту среду, температуру которой надо определить, например в газы топки (рис. 61). К свободным концам проволок присоединяют гальванометр. Шкалу гальванометра градуируют на градусы. Таким способом можно измерять как очень высокие, так и очень низкие температуры. Если термопару изготовить из тончайших проволочек и применять чувствительные гальванометры, можно измерять температуры очень малых тел. Например, астрономы используют термопары из тончайших медной и висмутовой проволок. Размер термоэлемента около 0,5 мм, а масса около 0,03 мг. Помещая спай термопары в то или иное место крохотного изображения планеты, полученного с помощью телескопа, ученые имеют возможность сравнить излучение, исходящее от различных участков поверхности планеты.

Термоэлементы можно изготавливать не только из разнородных металлических проволок, но и из разнородных полупроводников. Это впервые предложил советский ученый А. Ф. Иоффе в 1930 г.

О полупроводниках вы узнаете подробнее в IX классе. Здесь упомянем следующее. Полупроводники проводят электричество лучше, чем диэлектрики, но значительно хуже, чем металлы. При обычных температурах в полупроводниках содержится гораздо меньше свободных электронов, чем в металлах. Число свободных электронов в единице объема полупроводника увеличивается, если повышается температура, так как в результате теплового движения частиц (при столкновении) некоторые электроны становятся свободными. К полупроводникам относится кремний, которого очень много на Земле, и многие другие вещества: германий, мышьяк, селен, сурьма, некоторые сплавы и др.

Полупроводниковый термоэлемент составляют из двух разнородных полупроводников, соединив их металлической пластиной M (на рис. 62 они обозначены p и n). Для работы термоэлемента надо нагреть пластину M , а два других конца полупроводников охлаждать, например, комнатным воздухом. Чтобы убедиться в том, что этот термоэлемент служит источником тока, его нужно присоединить к гальванометру.

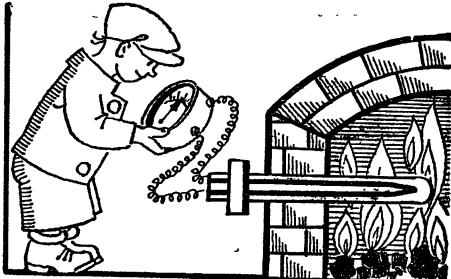


Рис. 61.

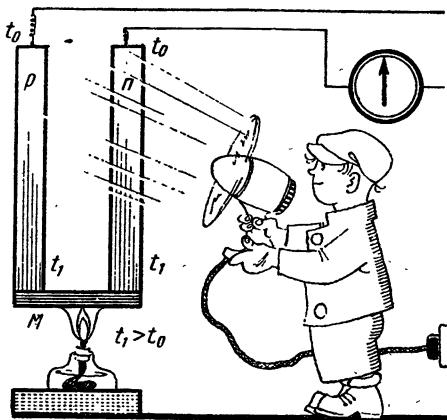


Рис. 62.

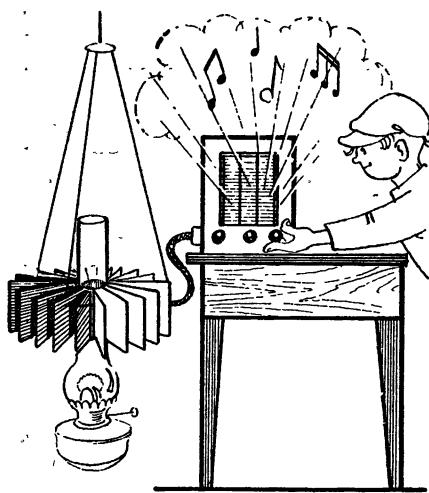


Рис. 63.

лов, отличающихся по химическому составу, давят друг на друга и нагреваются вследствие трения до температуры в несколько сот градусов. Таким образом, создаются условия для возникновения термотока в цепи инструмент — деталь — станок. Вследствие теплового действия этого термотока (его сила достигает нескольких ампер) еще больше повышается температура детали и инструмента. Нагрев может испортить обрабатываемую деталь и снижает срок службы инструмента. Применяя изолирующие материалы при креплении инструмента, размыкают электрическую цепь термотока.

Коэффициент полезного действия полупроводникового термоэлемента около 7—10 %. Ученые надеются его повысить.

Полупроводниковые термоэлементы соединяют в батареи, которые могут служить источниками для питания различных приемников тока, например для питания радиоприемников. Общий вид такой батареи показан на рисунке 63. Горячие газы, образующиеся при горении керосиновой лампы, подогревают обращенные внутрь спаи термопар до температуры 300—350 °C. Наружные концы термопар имеют температуру всего 60—70 °C, так как к ним присоединены металлические пластины, образующие радиатор. С помощью радиатора происходит передача теплоты комнатному воздуху, и разность температур горячих спаев термопар и наружных более холодных концов термопар не изменяется.

Нередко возникновение термотока приносит вред. Так, например, при обработке металлов резанием инструмент и обрабатываемая деталь, сделанные из метал-

ФОТОЭЛЕМЕНТЫ

Источники тока, в которых световая энергия непосредственно превращается в электрическую, называют фотоэлементами.

Рассмотрим устройство одного из видов фотоэлементов — купроксного. Медную пластину нагревают в специальной печи до высокой температуры. На поверхности пластины образуется такой тонкий слой оксида меди (I), что он прозрачен. Если эту пластину присоединить к гальванометру и осветить, то в тончайшем слое на границе между медной пластиной и прозрачной пленкой оксида меди (I) под действием света будут освобождаться электроны и проникать (дифундировать) в металл, заряжая его отрицательно (рис. 64). Медная пластина является отрицательным полюсом полученного фотоэлемента, а пленка оксида меди (I) — положительным. Гальванометр покажет наличие тока в цепи. И чем больше лучистой энергии падает в одну секунду на фотоэлемент, тем больше отклонится стрелка гальванометра.

Кроме купроксных фотоэлементов, изготавливают другие фотоэлементы, например селеновые и кремниевые. В современных кремниевых фотоэлементах в электрическую энергию превращается 10—15 % энергии падающего на них света. Это довольно высокий КПД (растения улавливают меньше 1 % падающей на листья лучистой энергии).

Исключительно большое значение имеют батареи фотоэлементов при питании бортовой аппаратуры искусственных спутников Земли, межпланетных автоматических станций, луноходов. Почти двухметровая в диаметре крышка «Лунохода-1» была покрыта пластинами солнечных батарей. После прилунения по команде с Земли она приподнялась и повернулась к Солнцу. «Луноход-1» был снабжен аккумуляторами, которые подзаряжались от солнечных батарей. Они питали электродвигатели колес лунохода. Во время лунной ночи луноход не передвигался.

ПРОВОДА И ИХ ИЗОЛЯЦИЯ

Еще в XVIII в. плитки из стекла или смолы, нити из шелка или других диэлектриков с успехом использовали для того, чтобы

Рис. 64.

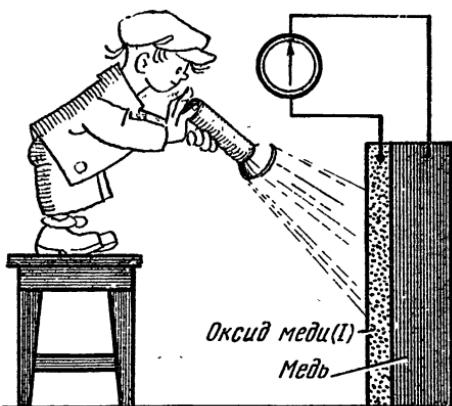
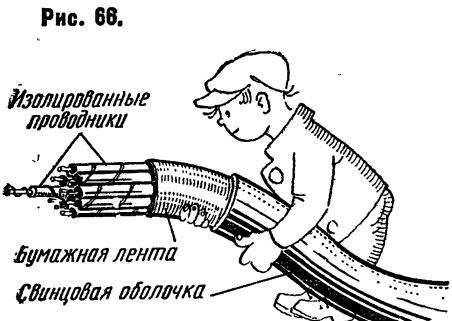




Рис. 65.



Сейчас в городах, как правило, проводка линий связи осуществляется подземным кабелем. Один кабель заменяет сотни воздушных проводов. На рисунке 66 показано устройство кабеля, прокладываемого в специальных трубах под землей.

Провода линий связи в сельской местности и линий, служащих для передачи электрической энергии (ЛЭП), не имеют изолирующего покрытия, но они тщательно отделены диэлектриками от опор, чтобы ток не прошел в землю. Провода ЛЭП подвешивают на гирляндах из фарфоровых изоляторов (рис. 67); им придана такая форма, чтобы на них не задерживались ни пыль, ни влага, которые могли бы образовать проводящий слой.

В качестве материала для проводов, конечно, лучшие

изолированные тела от других тел и от земли. По мере того как развивалось учение об электричестве и его применении, развивалась и электроизоляционная техника.

В начале XIX в. В. В. Петров предложил использовать сургуч и воск как изолирующие покрытия для металлических проводов.

Позднее, в 1812 г., русский изобретатель П. Л. Шиллинг при опытах по взрыванию подводных мин с помощью электрического тока применил первые подводные кабели. В 1839 г. русский ученый Б. С. Якоби руководил прокладкой в Петербурге одного из первых в мире подземных кабелей (рис. 65). Медный провод был покрыт изолирующими слоем из пеньки, воска и смолы и заключен в стеклянную трубку.

П. Л. Шиллинг, работавший над изобретением в области телеграфии, в 1835 г. предложил способ передачи электрического тока по воздушным неизолированным проводникам.

было бы применять медь, так как удельное сопротивление меди меньше, чем у большинства металлов. Но медь дорога, поэтому, кроме медных проводов, применяют алюминиевые и стальные. Электрические свойства стальных проводов хуже медных и алюминиевых, но зато они дешевле и прочнее.

Развитие современной техники сопровождается все более «жесткими» условиями работы проводов. Стало необходимым создание новых изоляционных материалов. Так, например, уже удалось получить нагревостойкие провода с гибкой стеклоэмалевой изоляцией, выдерживающие температуру 600—700 °С.

В современной электротехнике проводники и диэлектрики стали неразлучными союзниками.

КАК И ЧЕМ ЗАМЫКАЮТСЯ КОНТАКТЫ

На электротехнической выставке в Париже в 1881 г. был показан только что изобретенный прибор — выключатель электрической лампочки. Посетители выставки восторженно рассказывали: «Представьте себе, повернешь — и зажжется, повернешь еще раз — погаснет...». В самом простом выключателе выявилось одно из очень важных преимуществ электричества — возможность легко и удобно управлять током.

Кто или что замыкает контакты электрических цепей? Это может сделать человек, воспользовавшись тем или иным выключателем. Вам знакомы многие выключатели: рубильники, штепсельные розетки и вилки, кнопки звонков и ламп и др. От прикосновения пальца рабочего к кнопке в движение приходит целая линия станков. Но это еще не автоматика.

А как замыкается и размыкается электрическая цепь в автоматических устройствах? Необходимо, чтобы контакты электрической цепи без всякого участия человека замкнулись движущимися частями машин или измерительных приборов, «следящих» за нормальным режимом производственного процесса.

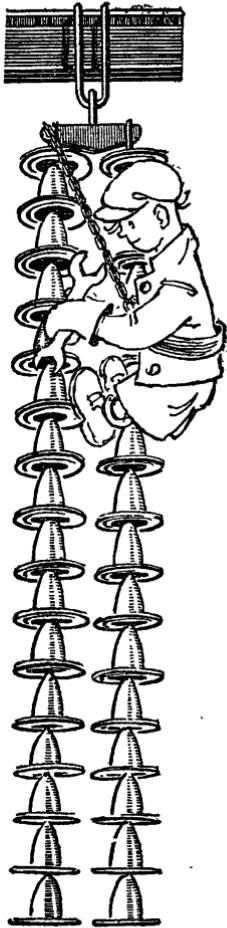


Рис. 67

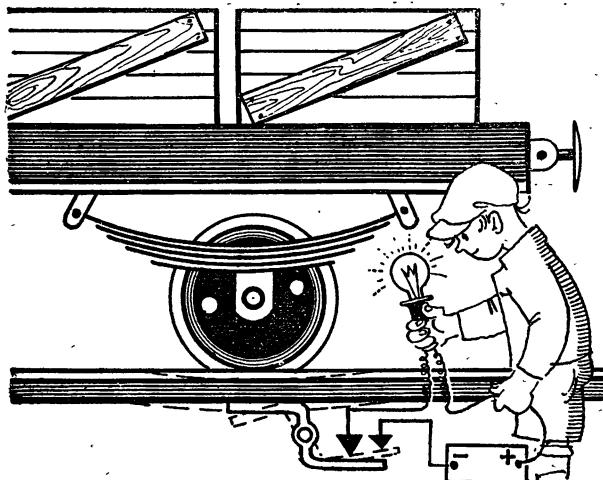


Рис. 68.

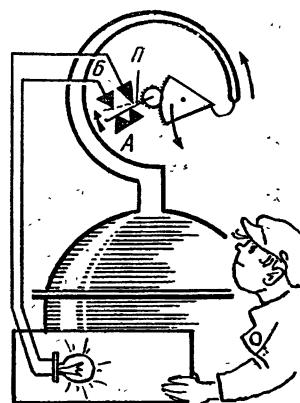


Рис. 69.

Например, по рельсам движется маневровый состав (рис. 68). Дойдя до определенного места, вагоны должны сами зажечь путевой сигнал. В этом месте под рельсом устанавливают особый контактный башмак. Вагон своей тяжестью нажимает на башмак и тем самым замыкает контакты цепи сигнализации.

Манометр, измеряющий давление газа, можно электрифицировать, соединив конец его трубки с электрическими контактами (рис. 69). Если давление газа в резервуаре становится слишком большим, трубка манометра разгибается, а пластина *П* замыкает уже не контакты *A*, а контакты *B*. В систему автоматического управления поступает сигнал. Опасное давление уменьшается.

Всем известный ртутный термометр тоже удалось электрифицировать. Ртуть — жидкий металл, хорошо проводящий электрический ток. Один контакт электрической цепи вводится в трубку термометра снизу, в столбик ртути. Другой же kontakt впаяивается в трубку выше ртутного столбика в определенном месте температурной шкалы. В таком состоянии цепь разомкнута. Когда же температура повысится до соответствующего значения, ртуть в трубке поднимется и достигнет верхнего контакта, цепь через проводящий столбик замкнется. Автоматическое устройство сработает — отключатся электрические нагреватели, и температура повыситься не будет.

Сигнальные контакты, о которых рассказано выше, — это как бы «органы чувств» «умных» автоматических устройств. Как известно, КПСС взят курс на комплексную автоматизацию производства.

НА ЗАРЕ ИЗУЧЕНИЯ ЭЛЕКТРОЛИЗА

Электролизом¹ называют явление выделения вещества на электродах при прохождении тока через электролит.

Явление электролиза было открыто в 1800 г. английскими учеными Никольсоном и Карлейлем. Они наполнили водой стеклянную трубку, закрыли ее с обоих концов пробками и пропустили платиновые проволочки через каждую пробку (рис. 70). Свободные концы проволочек присоединили к полюсам вольтова столба. У обоих концов проволочек, находящихся в воде, выходил газ. Никольсон и Карлейль правильно заключили, что им удалось разложить воду на составные части — кислород и водород. Это было важное открытие. Оно привлекло внимание многих ученых. А английскому ученому Гемфри Дэви удалось открыть с помощью электролиза металлы калий и натрий. Но еще долгие три десятилетия никто не знал точно, от чего зависит масса вещества, выделяющегося при электролизе.

Законы электролиза были открыты английским ученым Майклом Фарадеем в 1833—1834 гг. В своей работе Фарадей встретился с многими трудностями. Не существовало еще терминов электрохимии — электрод, анод, катод, электролит, ион — все они были придуманы Фарадеем. И в этом его большая заслуга, так как удачные названия в науке значат очень много. Придумывая термины электрохимии, Фарадей использовал корни греческих слов. Например, слово «электрод» означает «путь электричества».

Законы электролиза трудно было установить, так как не существовало определенной единицы количества электричества. В январе 1834 г. Фарадей построил прибор вольтаметр (рис. 71), позволяющий определять количество электричества по объему газа, выделяющегося на электродах при раз-

Рис. 70.

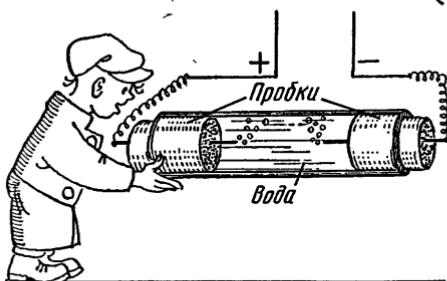
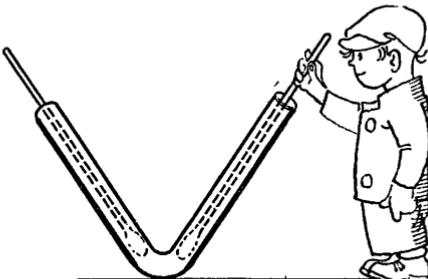


Рис. 71.



¹ Лиз(о) по-гречески — растворение.

ложении подкисленной воды¹. Проведя с вольтаметром разнообразные исследования, Фарадей установил законы электролиза, которые вы будете изучать в IX классе. Здесь отметим следующее. Масса вещества, выделившегося при электролизе на каждом из электродов, прямо пропорциональна количеству электричества, протекшего через электролит, и зависит от рода выделяющегося вещества. Так, например, при прохождении одного кулона электричества через раствор азотнокислого серебра (AgNO_3) на катоде выделяется 1,118 мг серебра. При прохождении одного кулона электричества через растворы других солей на катоде выделяется иное количество металла.

Сам Фарадей справедливо считал, что законы электролиза «в высшей степени существенны для учения об электричестве вообще и, в частности, для той его отрасли, которая носит название электрохимии».

ПРИМЕНЕНИЕ ЭЛЕКТРОЛИЗА В ТЕХНИКЕ

Говорят: в мир техники электрохимия въехала на медных конях. Это те кони, которых в натуре или на фотографии все видели на фронтоне Большого театра в Москве. Как же их сделали? Чтобы разобраться в этом и в других применениях электролиза, обратимся к опыту.

Если в раствор медного купороса погрузить две медные пластинки и исследовать, как изменится их масса в результате электролиза, то обнаружится, что масса медной пластинки, служившей катодом, увеличилась, а масса пластинки, служившей анодом, уменьшилась ровно на столько же, на сколько увеличилась масса катода. Произошло это потому, что при прохождении тока на катоде отложилась медь, выделяемая из раствора медного купороса, тогда как анодная пластинка частично растворилась.

Оба результата электролиза солей металлов — и отложение металла на катоде, и растворение анода, состоящего из того же металла, — нашли применение в технике.

Рафинирование меди. В электротехнике широко применяют чистую, не содержащую примесей медь, так как она особенно хорошо проводит электрический ток. Около 90 % полученной из руды меди подвергают очистке (рафинированию).

На специальных заводах огромные бетонные чаны заполняют электролитом — раствором медного купороса З

¹ В науке в течение долгого времени единица количества электричества определялась по массе вещества (серебра), выделяющегося на электроде в процессе электролиза.

(рис. 72). Катодом являются тонкие пластины чистой меди 1, а анодом — толстые пластины из неочищенной меди 2. При прохождении тока чистая медь оседает на катоде, анодные пластины растворяются, а примеси переходят в раствор или выпадают в осадок. Он содержит ценные металлы, среди которых золото, платина, серебро.

Добытие алюминия. Алюминия очень много в земной коре, особенно в рудах, называемых бокситами, но еще в 80-х годах прошлого века алюминий считался драгоценным металлом. Алюминий стал дешевым и распространенным металлом после того, как для его промышленной добычи начали применять электрическую энергию. На рисунке 73 изображена электролитическая ванна для получения алюминия. Тигель 1 служит катодом, анодом — угольные стержни 2, электролитом 3 — расплавленная руда алюминия. При прохождении тока алюминий в жидком виде оседает на катоде (тигле), но на стеках тигля не задерживается и стекает на дно. Через отверстие 4 в дне тигля расплавленный алюминий вытекает наружу.

Гальваностегия¹. Осаждение путем электролиза тонкого слоя металла на каких-либо металлических предметах называют гальваностегией. Цель гальваностегии — защищать изделие от ржавления, сделать его более прочным и красивым.

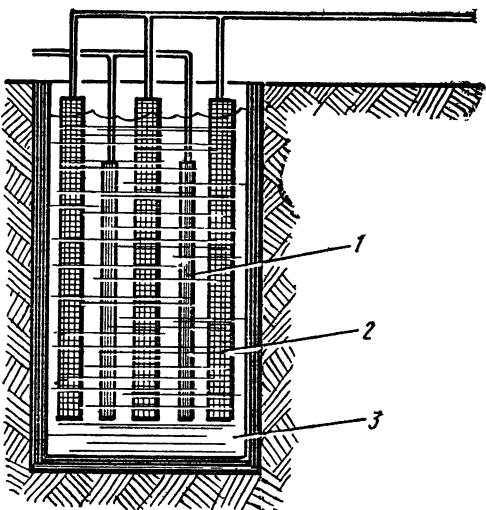


Рис. 72.

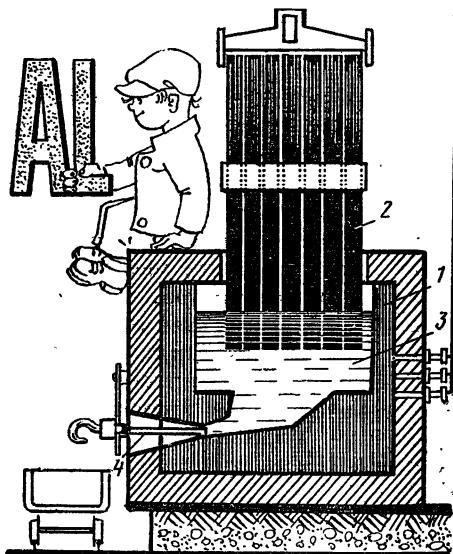


Рис. 73.

¹ Стег(о) по-гречески — покрытие, крыша.

При гальваностегии, например никелировании, электрическую цепь собирают так, как показано на рисунке 72. Но в этом случае катодом 1 служит изделие, которое надо покрыть слоем никеля, анодом 2 — пластина из никеля, а электролитом 3 — раствор солей никеля.

Гальваностегия — самый дешевый и быстрый способ нанесения металлических покрытий.

Гальванопластика (пластика по-гречески — искусство лепки, ваяния). В 1836 г. русский ученый Б. С. Якоби изобрел способ получения с помощью электролиза весьма точных металлических копий рельефных предметов. Этот способ называют гальванопластикой. Именно этим способом были изготовлены те кони, с которых мы начали свой рассказ.

Гальванопластика быстро нашла широкое применение. Русское техническое общество, отмечая пятидесятилетие изобретения Б. С. Якоби, признало его столь же важным, как изобретение книгопечатания.

Для получения металлической копии предмета, например рельефного рисунка на линолеуме, его покрывают тонким слоем порошка, который проводит ток (графита), и помещают в электролитическую ванну. Далее на этом предмете, который служит катодом, осаждают слой металла толщиной в несколько миллиметров. Отделив этот слой, получают так называемую матрицу. Она имеет рельеф, обратный копируемому: выпуклостям соответствуют впадины, и наоборот. Чтобы получить точную копию оригинала (в нашем примере — рельефа на линолеуме), надо получить копию с матрицы.

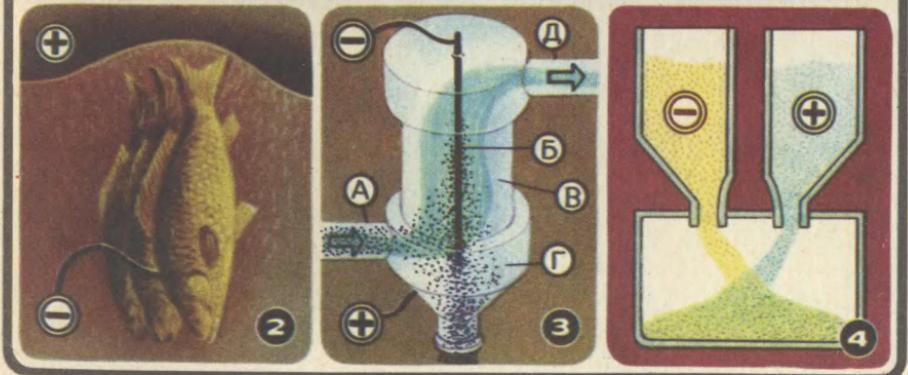
В промышленности гальванопластику применяют там, где точность получения копий с образца особенно важна: при изготовлении матриц для отливки наборных литер (букв) или целого набора, матриц для прессования граммофонных пластинок, для чеканки монет и медалей и т. д.

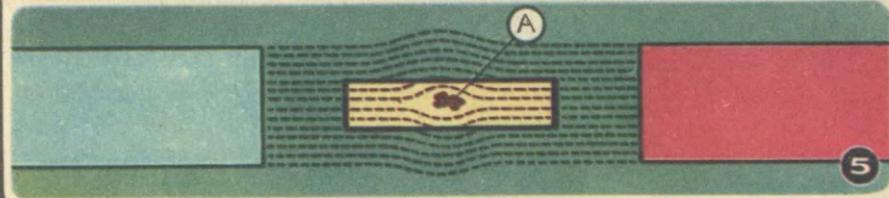
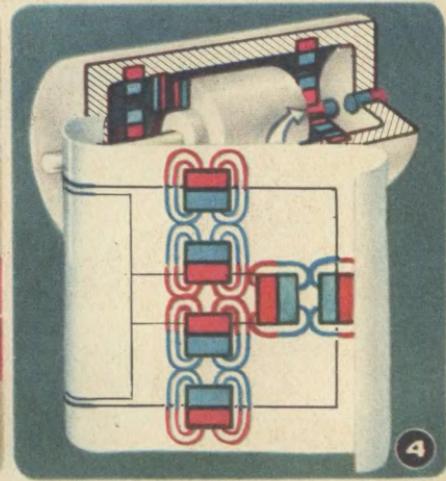
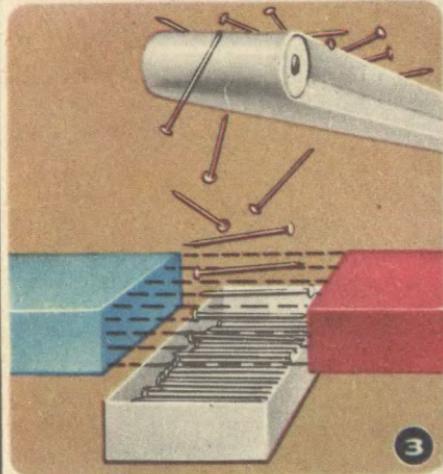
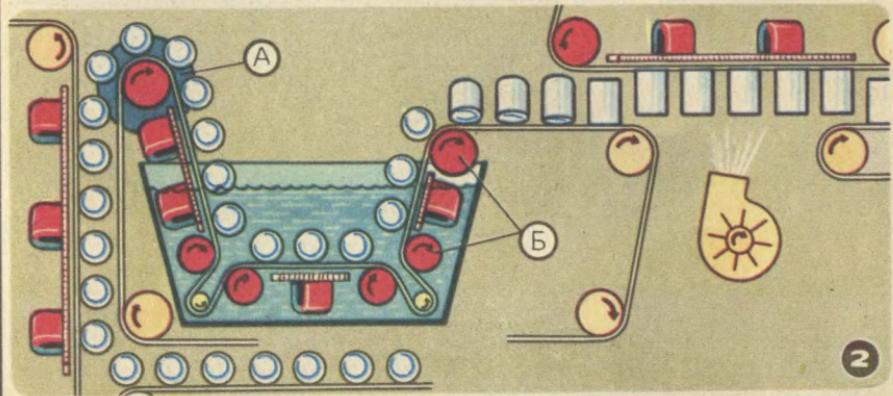
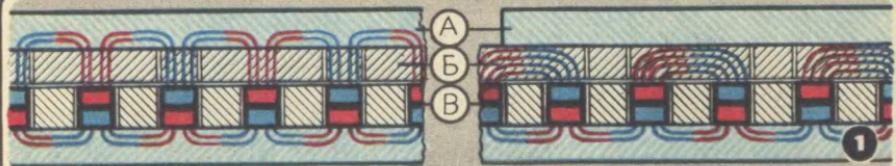
Обработка металлов анодным растворением. Этот метод в 1928 г. предложил советский изобретатель В. Н. Гусев. Методом анодного растворения можно быстро и точно обрабатывать изделия из очень прочных и твердых металлов, причем они могут быть весьма больших размеров и сложной формы.

III. ЭЛЕКТРИЗАЦИЯ ТЕЛ ►

В е р х у. 1. Электризация кожаного ремня на вращающемся шкиве. 2. Распределение зарядов на пластинке из полистирена после обработки ее на прессе. Зеленым цветом показаны места, заряженные положительно, желтым — заряженные отрицательно.

В н и з у. Придав электрический заряд частицам краски, коптильного дыма или пылинкам, заставляют их двигаться в нужном направлении, используя электрическое поле. 1. Окраска. 2. Копчение. 3. Улавливание пыли: А — вход газа, Б — проволока, В — труба, Г — выход газа, Д — бункер. 4. Смешение веществ.





В ванну с электролитом помещают анод — заготовку лопатки турбины или другой детали (рис. 74). Катоду придают такую форму, чтобы там, где у лопатки турбины должна быть выпуклость, у катода была впадина, и наоборот. При прохождении тока анод растворяется, причем этот процесс идет быстрее там, где расстояние между электродами меньше, так как в этом месте меньше сопротивление электролита, а сила тока больше. От твердости металла заготовка скорость его растворения не зависит. Заготовка постепенно принимает нужную форму, обратную форме катода. А чтобы металл не осаждался на катоде, электролит пропускают между анодом и катодом с очень большой скоростью, и он уносит частицы металла.

Подобным образом можно проводить шлифовку изделий, сверление, а также заточку инструментов.

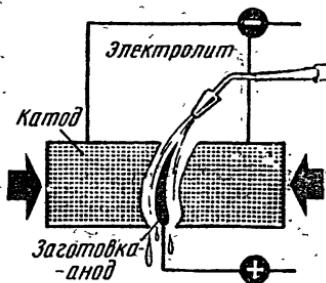


Рис. 74.

КАК ОМ ОТКРЫЛ СВОЙ ЗАКОН

Чтобы понять заслуги Ома в науке, следует учесть ту обстановку, в которой работал ученый. Всего четверть века прошло с открытия Гальвани и Вольта. Большинство ученых того времени не были вполне убеждены, что электрический ток (от электрических машин) и гальванический ток (от вольтова столба) представляют одно и то же явление. Их тождественность выдвигалась еще как гипотеза, которую предстояло доказать.

С 1825 г. Ом начинает заниматься исследованиями гальванизма. В 1826 г. появляется его работа «Определение закона, по которому металлы проводят контактное электричество», заключавшая в основном содержание его закона.

Первые опыты Ом проводил, пользуясь собственноручно изготовленным вольтовым столбом. В последующих опытах

IV. Магниты в цехах завода

1. Магнитный стол шлифовального станка: *A*—изделие, *B*—плита с немагнитными прокладками, *B*—смещаемая плита с магнитами (их положение во время работы указано слева, после работы—справа).
2. Магнитный конвейер. Магниты удерживают консервные банки от падения и всплыивания: *A*—магнитный диск, *B*—магнитные ролики.
3. Магнитный укладчик гвоздей.
4. Магнитный подшипник. Вал не прикасается к опорам вследствие отталкивания одноименных магнитных полюсов.
5. Магнитная дефектоскопия (сгущение магнитных линий покажет, где находится дефект *A*).

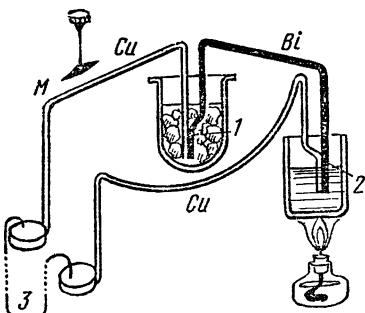


Рис. 75.

ученый пользовался установками, в которых источником тока служил термоэлемент.

Ом подвешивал магнитную стрелку на нити, а под ней параллельно ее оси располагал проволоку, соединявшую полюса источника тока. Когда по проволоке шел ток, стрелка отклонялась вследствие магнитного действия тока. Закручиванием нити Ом удерживал стрелку в первоначальном положении. Величиной угла кручения измерялась сила отклоняющего тока. Помещая стрелку над различными участками цепи, Ом установил, что угол кручения оставался постоянным, и тем самым доказал постоянство силы тока в различных участках цепи. Далее, подключая к полюсам источника тока различные провода, Ом установил, что сила тока убывает с увеличением длины провода, уменьшением площади его поперечного сечения и зависит от вещества. Он нашел ряд веществ в порядке возрастания «сопротивления». Термины «сопротивление» и «сила тока» принадлежат Ому.

Используя в качестве источника тока термоэлемент, Ом создавал различные разности температур спаев висмута и меди, погружая спай 1 в тающий лед, а спай 2 — в воду разной температуры (рис. 75). В результате получались различные напряжения на проволоке 3, присоединенной к термоэлементу, и различная сила тока в цепи, соответственно менялось и отклонение магнитной стрелки M. Данные опытов обрабатывались математически.

В 1827 г. появляется основной, прославивший Ома труд «Гальваническая цепь, разработанная математически доктором Г. С. Омом». В этой работе Ом теоретически установил знаменитый закон, носящий его имя¹.

Работу Ома встретили в Германии очень хорошо. В 1833 г. ученый был уже профессором политехнической школы в Нюрнберге. Однако за рубежом, особенно во Франции и Англии, работы Ома долгое время оставались неизвестными. Через 10 лет после появления его работы французский физик Пулье на основе экспериментов пришел к таким же выводам. Но Пулье было указано, что установленный им закон еще в 1827 г. был открыт Омом. Любопытно, что французские школьники и поныне изучают закон Ома под именем закона Пулье.

¹ Ом установил закон не только для участка цепи, но и для полной цепи. Последний вы узнаете в IX классе.

ПРОВОЛОЧНАЯ НИТЬ РАССКАЗЫВАЕТ

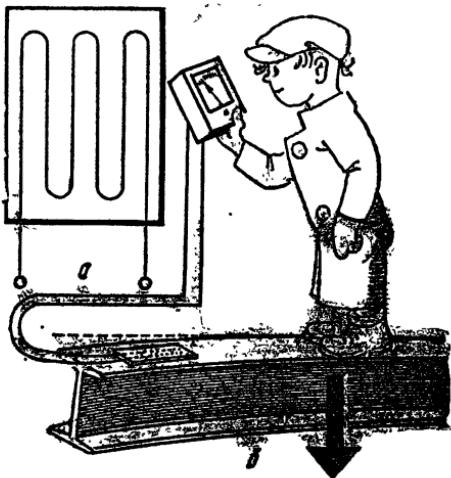
На ладони — маленькая бумажная полоска с двумя торчащими тоненькими медными «усиками». От усиков внутрь бумажного пакета тянется тончайшая (в несколько сотых долей миллиметра) проволочная нить из сплава с большим удельным сопротивлением, уложенная спиралью (рис. 76, а). Эту нить инженеры называют проволочным датчиком. Он помогает «выведать» у детали машины многие тайны, очень важные для их конструктора.

Датчик наклеивают специальным kleem на деталь (рис. 76, б), и он начинает «жить» одной жизнью с нею. Если деталь изгибают, сжимают или растягивают, эти же «превратности судьбы» претерпевает и датчик. При этом соответственно меняется и электрическое сопротивление датчика. Действительно, когда датчик, например, растягивается, его проволочки становятся длиннее и тоньше, сопротивление возрастает, а сила тока в цепи уменьшается. Именно для того, чтобы удлинение проволоки и соответственно изменение силы тока было бы больше, проволоку изгибают в виде нескольких петель.

С помощью датчиков можно очень точно взвешивать детали машин или даже сами машины. При взвешивании небольших деталей датчик наклеивают на стальные пластины, которые под действием силы тяжести детали прогибаются. Когда взвешивают, например, самолет или железнодорожный вагон, датчики наклеивают на стальной столбик, который сжимается под действием силы тяжести груза (рис. 77). Железнодорожные вагоны можно взвешивать на ходу, не расцепляя состав.

При испытании машин на детали наклеивают много датчиков, причем размещают их перпендикулярно один другому. Это позволяет не только определить численное значение сил, действующих на разные участки, но и направления действия сил. С помощью таких датчиков можно зарегистрировать процессы, длиющиеся несколько минут и тысячные доли секунды.

Рис. 76.



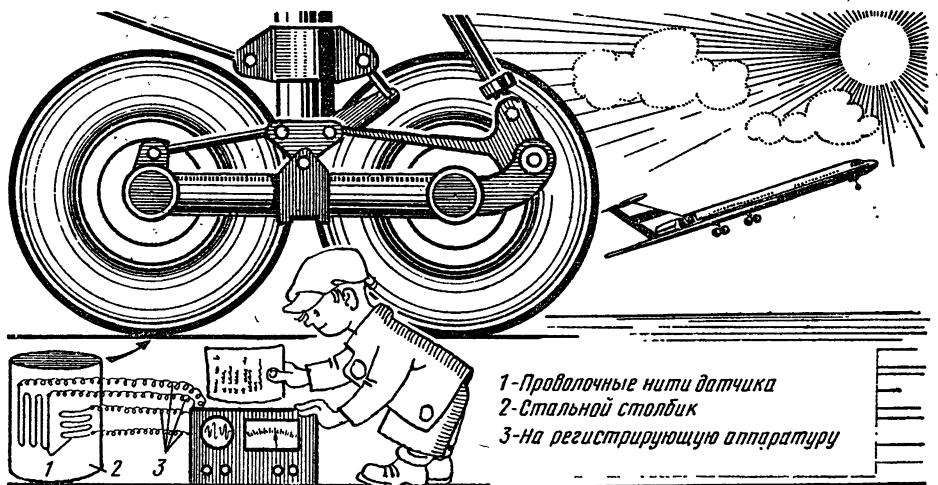


Рис. 77.

Небольшие размеры датчиков позволяют прикреплять их в любом месте машины или на теле человека, например, при исследовании дыхания. С помощью специального пояса на груди человека или животного крепят проволочный датчик. Изменения окружности груди при вдохе и выдохе влияют на величину его сопротивления. Используя датчики и радиосвязь, врач может, находясь на Земле, следить за дыханием космонавта в полете.

Так маленький датчик, проникая во все области техники и даже в медицину, позволяет решать самые трудные задачи.

РЕОСТАТ НА СЛУЖБЕ АВТОМАТИКИ

На помощь автоматике часто приходит реостат, позволяющий регулировать сопротивление цепи. В автоматических устройствах движок реостата переводится не рукой человека, а приводным устройством, связанным с контролем того или иного производственного процесса. Такие реостаты часто дают возможность измерять различные неэлектрические величины, например скорость с помощью электроизмерительных приборов.

По трубе течет жидкость: вода, нефть или бензин. Внутри трубы сделана подвижная заслонка 3, которая в зависимости от скорости течения жидкости поворачивается на некоторый

угол Y (рис. 78). Вместе с заслонкой поворачивается и движок D круглого реостата P . Если скорость течения жидкости в трубе изменится, то изменится угол поворота заслонки и движка реостата. В зависимости от сопротивления цепи электроизмерительного прибора изменится сила тока и отклонение стрелки прибора, шкала которого градуирована так, что по ней можно отсчитывать скорость течения жидкости. Электрические автоматические устройства сами регулируют скорость течения жидкости по трубе или другого процесса. Так реостат служит автоматике.

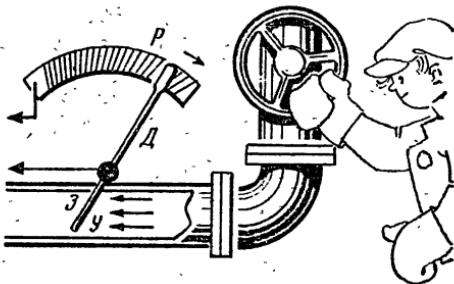


Рис. 78.

ЭЛЕКТРОРАЗВЕДКА ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

Рыбаку важно не только найти водоем, но и отыскать в нем рыбу. Нефтянику важно не только обнаружить нефтеносный район, но и отыскать место для продуктивных скважин, более того, точно найти сам нефтеносный или газоносный пласт. Такие же задачи возникают при поиске пресной воды, руды, угля и других ископаемых. Когда-то для точного определения места «клада» существовал один путь: продвигаясь в глубь разведочной скважины, непрерывно поднимали образцы пород. Такая разведка была очень затяжной и дорогой. Но в 1925 г. по инициативе геолога И. М. Губкина группе геофизиков была поручена разработка методов электроразведки нефтяных месторождений.

Горные породы могут иметь электронную или ионную электропроводность. Первой обладает относительно небольшая группа пород (некоторые руды, графит, антрацит и др.). Ионная электропроводность свойственна подавляющему большинству пород. Их поры насыщены жидкостью (водой, нефтью) или газами (метаном, азотом и др.). Если порода заполнена водой, то с точки зрения электрических свойств ее можно считать электролитом. В зависимости от содержания солей в воде и от того, как она распределена в породе, меняется ее удельное сопротивление. Например, в нефте-газоносных породах присутствует вода, заполняющая часть пор, из-за чего удельное сопротивление этих пород не так велико, как можно было ожидать.

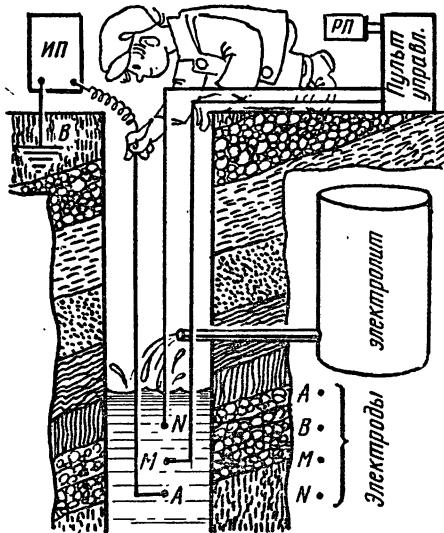


Рис. 79.

MN , на основании закона Ома пропорционально силе тока I , проходящего через данную горную породу, и ее электрическому сопротивлению R , т. е. $U = RI$. Но, как известно, $R = \rho \frac{l}{S}$, поэтому удельное сопротивление среды $\rho = \frac{US}{l}$,

где l — расстояние между электродами, S — площадь сечения скважины. Зная численное значение ρ , с помощью таблиц можно определить состав пород.

Вертикальная скважина пересекает пласты пород с различным удельным сопротивлением. По данным зондирования получают график изменения удельного сопротивления пластов горных пород в зависимости от глубины. Анализируя график, можно изучить разрез скважины, определить пройденные пласты и выявить, на какой глубине находится нефтеносный пласт. Так геофизики помогли нефтяникам «прозреть». Сейчас электроразведку полезных ископаемых применяют широко.

МОЛНИЯ

Чаще всего мы наблюдаем молнии, напоминающие извилистую реку с притоками. Такие молнии называют линейными, их длина при разряде между облаками достигает более 20 км. Молнии других видов можно увидеть значительно реже.

Удельное сопротивление горных пород измеряют специальным прибором, который называют зондом (рис. 79). Зонд состоит из четырех электродов A, B, M, N . Электродом B обычно является заземление; остальные электроды опускают в скважину. Скважину заполняют электролитом. По кабелю подают электрический ток от источника питания $ИП$ к электродам A и B , вследствие чего между электродами M и N возникает напряжение, которое отмечается регистрирующим прибором $РП$ и подается на пульт управления $ПУ$.

Если пространство, окружающее скважину, однородно, то напряжение U , возникающее между электродами

Электрический разряд в атмосфере в виде линейной молнии представляет собой электрический ток, причем сила тока за 0,2—0,3 с, в течение которых делятся импульсы тока в молнии, меняется. Примерно 65 % всех молний, наблюдавшихся в нашей стране, имеют наибольшее значение силы тока 10 000 А, но в редких случаях она достигает 230 000 А. Однако время протекания наибольшего тока в грозовом разряде очень мало — около 100 мкс (микросекунд), поэтому невелико количество электричества, переносимое молнией, допустим, с облака на землю (примерно 10—50 Кл).

Канал молнии, через который протекает ток, сильно разогревается и ярко светит. Температура канала достигает десятков тысяч градусов, а давление воздуха повышается до нескольких сотен мегапаскалей, затем воздух расширяется, происходит как бы взрыв раскаленных газов. Это мы и воспринимаем как гром. Удар молнии в наземный предмет может вызвать пожар.

Воздух проводит электричество в разных местах различно, поэтому электрический разряд проходит по тем местам, где встречает наименьшее сопротивление. Вот почему мы часто наблюдаем извилистую линию молнии. Молния чаще поражает высокие сооружения, т. е. места, где меньше толщина слоя воздуха между грозовым облаком и наземным предметом — высокой постройкой, высоким деревом и т. п. Молния может ударить и в ровную поверхность земли, но там, где электрическое сопротивление почвы меньше. По этой причине молния поражает берега рек и ручьев.

При ударе молнии, например, в дерево оно нагревается, содержащаяся в нем влага испаряется, а давление образованного пара и нагревшихся газов приводят к разрушениям. Известен случай, когда молния, ударившая в старый тополь высотой 30 м и охватом 3 м, разбила его на мелкие куски.

Молния может производить и магнитные действия: намагнитить железные и стальные вещи, перемагнитить компас. Случалось, что это обстоятельство служило причиной изменения курса корабля. Подобные «шутки» молнии иногда приводили к авариям судов.

Для защиты зданий и других построек от грозовых разрядов применяют молниеотводы. Наиболее распространены молниеотводы, представляющие собой металлический стержень, возвышающийся над защищаемым сооружением и соединенный с землей металлическим проводником. Вокруг молниеотвода образуется «зашщенное пространство», имеющее форму конуса, причем радиус R основания конуса приблизительно равен высоте молниеотвода h (рис. 80).

Основное назначение молниеотводов разных видов — не принимать удар на себя, а предотвратить его возникновение.

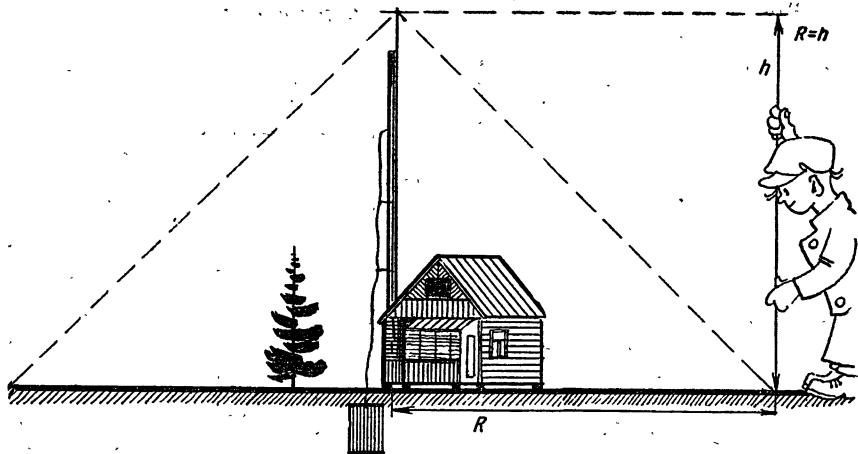


Рис. 80.

Это достигается тем, что на острие молниевода под влиянием заряда облака скапливается разноименный заряд, который уходит в воздух; электрическое поле в некотором объеме вокруг молниевода ослабевает, а следовательно, уменьшается и вероятность удара молнии.

Если молния ударяет в человека или животное, то в большинстве случаев этот удар бывает смертельным. Поэтому, находясь вне дома и видя приближение грозы, надо покинуть опасные места: горы и вершины холмов, открытые равнины, берега водоемов. Нельзя подходить к высоким одиночным предметам (столбам, деревьям). Рекомендуется укрыться в небольшом углублении на склоне холмов, выбирая место между двумя деревьями, растущими на расстоянии 15—25 м.

Пострадавшему от молнии, находящемуся в бессознательном состоянии, до прибытия врача необходимо делать искусственное дыхание.

БУДЬТЕ ОСТОРОЖНЫ С ЭЛЕКТРИЧЕСТВОМ!

Прохождение тока через тело человека силой около 100 мА вызывает серьезные поражения организма. Безопасным для человека считается ток силой до 1 мА. Удельное сопротивление верхнего слоя сухой кожи человека очень велико. Если кожа не повреждена и на ней нет влаги, то сопротивление тела человека весьма значительно (~ 15 кОм). Тогда опасные токи могут возникнуть при значительном напряжении. Однако в сыром помещении сопротивление тела человека резко снижается и безопасным считается

напряжение до 12 В. Помните, что электромонтаж и ремонт электрической сети следует проводить только тогда, когда напряжение снято.

ЗНАЕТЕ ЛИ ВЫ, ЧТО...

...Впервые параллельное соединение приемников электрического тока предложил русский физик В. В. Петров во время опытов по электролизу. Ученый проводил одновременное разложение воды в нескольких стеклянных трубках, присоединенных к одному источнику тока (рис. 81).

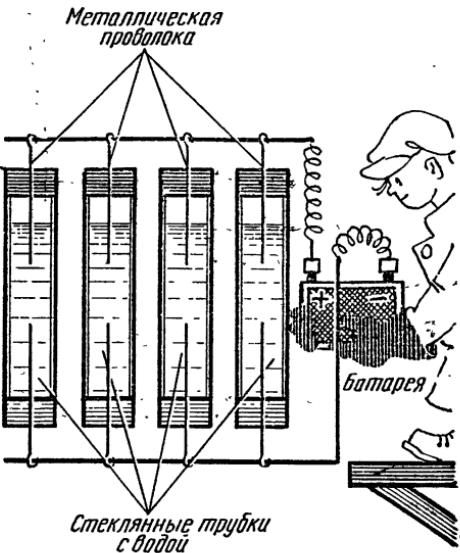


Рис. 81.

ГАЛЬВАНОМЕТР И АМПЕРМЕТР

Силу тока в цепи измеряют приборами, называемыми амперметрами. Из школьного учебника известно, что амперметр — это тот же гальванометр, только приспособленный для измерения силы тока. Но как это делают? Покажем это на примере электроизмерительных приборов, применяемых в школе.

Школьные демонстрационные гальванометры (рис. 82) бывают двух видов. Главные их отличия пояснены ниже. Расскажем сначала о том из них, на основе которого получают амперметр. Этот гальванометр обычно имеет внутреннее сопротивление (обмотка на рамке, спиральные пружинки и провода, по которым подводится к рамке ток) 385 Ом. При силе тока 0,25 мА стрелка гальванометра отклоняется на всю шкалу от 0 до последнего (пятого) деления. Иначе говоря, цена одного деления этого гальванометра 0,05 мА. Ясно, что он не годен для измерения токов силой более 0,25 мА: стрелка выйдет за пределы шкалы, и отсчет будет сделать невозможно; при токах, значительно превышающих 0,25 мА, обмотка рамки может перегореть.

Но к этому гальванометру прилагают два проводника для включения их параллельно гальванометру, которые называют шунтами. Рассмотрим, какова роль шунта. Сопротивление шунта $R_{ш}$ значительно меньше, чем сопротивление гальва-

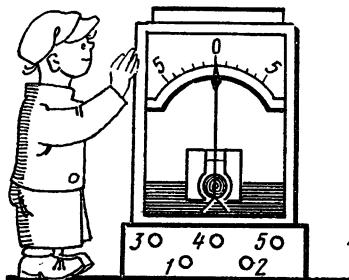


Рис. 82.

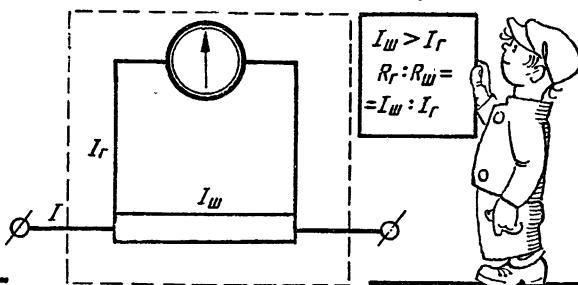


Рис. 83.

нометра R_g , поэтому если параллельно гальванометру включить шунт (рис. 83), то сила тока I_{sh} , проходящего через шунт, будет значительно больше, чем сила тока I_g , проходящего через гальванометр, так как токи в двух параллельно соединенных проводниках обратно пропорциональны их сопротивлениям:

$$R_g : R_{sh} = I_{sh} : I_g.$$

Таким образом, если гальванометр зашунтируется, через его обмотку проходит только малая часть измеряемого тока I и цена деления прибора увеличивается, а сопротивление прибора, очерченного пунктиром на рисунке 83, становится малым (меньше сопротивления шунта). Измерительный прибор приобрел новое качество: он может работать амперметром. Ведь амперметр предназначен для измерения сильных токов, а сопротивление прибора должно быть малым, так как он вводится в цепь последовательно и его включение не должно заметно изменять силу тока в цепи.

Цена деления зашунтируированного гальванометра (амперметра) зависит от того, во сколько раз сопротивление шунта меньше сопротивления гальванометра. К школьному гальванометру, как упоминалось, прилагаются два шунта: на 3 и 10 А и соответствующие этим шунтам съемные шкалы от 0 до 3 А и от 0 до 10 А. На передней панели корпуса гальванометра (см. рис. 82) имеются клеммы 1, 2 для включения гальванометра в цепь и клеммы 3, 4, 5 для включения шунта. На рисунке 84 показан школьный демонстрационный амперметр (гальванометр, параллельно которому включен шунт)¹. Подключен шунт на 3 А и соответствующая ему шкала 0—3 А. В этом случае сила измеряемого тока не должна превышать 3 А, а цена деления шкалы равна 0,2 А.

¹ Показано подключение шунта к прибору в случае, когда надо измерить силу постоянного тока.

Если поставить шунт на 10 А и соответствующую шкалу, то сила тока, которую можно измерить полученным демонстрационным амперметром, возрастет до 10 А, но точность измерения будет меньше, так как цена деления возрастет до 0,5 А.

Таким образом, описанный выше школьный гальванометр с набором шунтов и шкал является универсальным прибором для измерения силы тока.

ГАЛЬВАНОМЕТР И ВОЛЬТМЕТР

Для измерения напряжения на каком-либо участке цепи или на полюсах источника тока применяют приборы, называемые вольтметрами. Вольтметр — тот же гальванометр, но приспособленный для измерения напряжения. Рассмотрим, как это можно сделать.

Школьный гальванометр, на основе которого получают вольтметр, обычно имеет внутреннее сопротивление 2,3 Ом. При напряжении 10 мВ стрелка отклоняется от нулевого деления до крайнего (пятого) деления. Таким образом, цена деления этого прибора равна 0,002 В.

Чтобы воспользоваться этим прибором как гальванометром, достаточно включить его в цепь с помощью двух нижних клемм 1, 2 на лицевой панели корпуса (см. рис. 82). Как известно, вольтметр включают параллельно тому участку цепи, на котором измеряется напряжение. Но включение вольтметра не должно заметно изменять силу тока в цепи. Это возможно при условии, когда сопротивление вольтметра R_v значительно больше, чем сопротивление R_x исследуемого участка цепи. Объясняется это тем, что сила тока в двух параллельно соединенных проводниках обратно пропорциональна их сопротивлениям. Если включить достаточно большое добавочное сопротивление R_d последовательно с гальванометром, то сила тока I_r , протекающего через него, не будет велика (рис. 85). Очевидно, что тогда практически не изменится ток I_x в исследуемом участке цепи MN . Стрелка прибора не выйдет за пределы шкалы, а цена деления шкалы повысится. Гальванометр с добавочным сопротивлением, включенным последовательно, образуют вольтметр. (Он очерчен пунктиром на рис. 85.) Чем больше напряжение, которое надо измерить, тем больше должно быть добавочное сопротивление. Для измерения напряжения постоянного тока к школьному гальванометру прилагают два добавочных сопротивления и соответствующие им съемные шкалы с пределами $0 \div 5$ и $0 \div 15$ В¹.

¹ Для измерения напряжения переменного тока имеются добавочные сопротивления и шкалы с пределами $0 \div 15$ и $0 \div 230$ В.

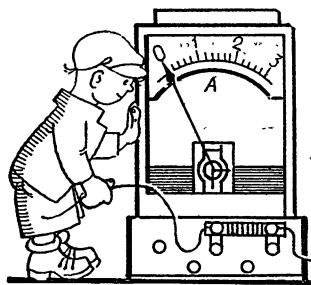


Рис. 84.

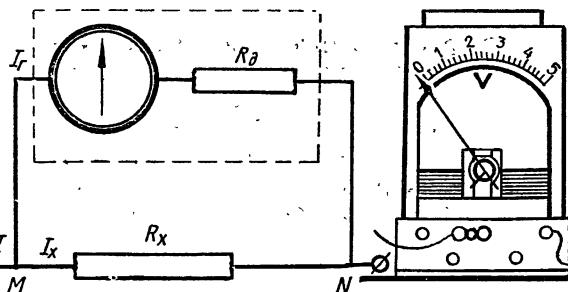


Рис. 85.

Рис. 86.

Используя прибор в качестве вольтметра постоянного тока, добавочное сопротивление включают последовательно с прибором к клемме 4 или 5 (см. рис. 82).

На рисунке 86 показан школьный демонстрационный вольтметр постоянного тока (гальванометр, последовательно с которым включено добавочное сопротивление), с помощью которого можно измерять напряжение на участке цепи в пределах от 0 до 5 В. Цена деления этого прибора 0,5 В, т. е. значительно больше, чем у гальванометра. Если поставить другое добавочное сопротивление и соответствующую ему шкалу, то можно увеличить предельное значение измеряемого напряжения до 15 В, но точность измерения будет меньше, так как цена деления возрастет до 1 В.

Таким образом, школьный гальванометр, снабженный набором добавочных сопротивлений и шкал, является универсальным прибором для измерения напряжения.



В СВОБОДНУЮ МИНУТУ

Сделайте химический источник тока

В соленый огурец или помидор воткните два электрода. Первый — полоска цинка, взятая из отработавшей батарейки для карманного фонарика. Второй — угольная палочка от того же элемента или связка графитовых стерженьков от карандаша. Испытать действие собранного таким образом гальванического элемента можно в школе, присоединив его двумя проводами к гальванометру. Если у вас есть компас, из него легко сделать гальваноскоп — прибор для обнаружения тока. Приготовьте дощечку с бортиками по размеру компаса и намотайте на нее 20—30 витков изолированного медного провода. Полученный вами гальванос-

коп расположите так, чтобы магнитная стрелка находилась под витками. Если концы обмотки вы присоедините к гальваническому элементу, собранному на помидоре, то стрелка гальваноскопа отклонится вследствие магнитного действия тока.

А теперь соберите вольтов столб. Из цинковой пластины батарейки от карманного фонарика нарежьте 5—6 кружков размером с трехкопеечную монету. Такого же размера кружки нарежьте из медной пластинки. Вымойте кружки с мылом. соберите столбик из кружков, чередуя цинк 1, медь 2, промокашку 3, смоченную раствором поваренной соли, снова цинк и т. д., кончая медным кружком (рис. 87). На тарелку положите свернутый в плоскую спираль зачищенный конец провода, на него стопку кружков. На верхний кружок положите еще такой же провод и прикройте его одноименным кружком. Два провода присоедините к гальванометру или гальваноскопу.



Рис. 87.

Веселый лабиринт

На рисунке 88 изображена игрушка «Веселый лабиринт». Ее основные части: картонная коробка 1, на которой укреплены источник тока 2, лампочка 3, съемные зигзагообразные фигуры из толстой проволоки 4, кольцо на гибком проводе 5, соединительные провода 6.

Задача играющего — провести кольцо 5 вдоль зигзагов или петель проволочной фигуры 4 так, чтобы лампочка, служащая индикатором тока в цепи, не загорелась.

Начертите схему электрической цепи этой игрушки. Почему лампочка зажигается, если коснуться проволоки кольцом?



Рис. 88.

Электрическая цепь

В каждую клетку, включая нумерованную (рис. 89), поставьте по букве так, чтобы слова по горизонтали означали: 1. Источник тока (элемент), в котором внутренняя энергия нагревателя превращается в электрическую. 2. Источник тока, в котором световая энергия непосредственно превращается в электрическую. 3. Чертеж, на котором изображен способ соединения электрических при-

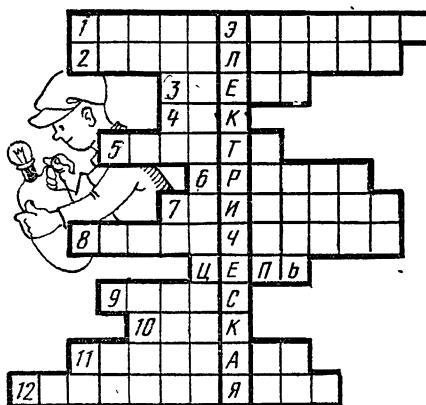


Рис. 89.

боров в цепь. 4. Явление упорядоченного движения заряженных частиц. 5. Итальянский ученый, построивший первый источник тока. 6. Часть электрической цепи, служащая для соединения остальных ее частей. 7. Часть электрической цепи, в которой электрическая энергия потребляется, превращаясь в другой вид энергии. 8. Часть электрической цепи, служащая для ее замыкания и размыкания. 9. Одно из мест на источнике тока, к которому присоединена клемма для включения его в электрическую цепь. 10. Материал пластины простейшего химического источника тока, которая заряжена отрицательно. 11. Итальянский ученый, в честь которого названы элементы — химические источники тока. 12. Источник тока, требующий предварительной зарядки.

Криптограмма

Отгадав ключевые слова и заменив числа буквами, вы сможете прочитать физический закон и фамилию ученого, открывшего этот закон (рис. 90). Значения ключевых слов:

- I. Единица количества электричества: 8—17—9—12—22.
- II. Физическая величина, измеряемая вольтами: 22—24—13—14—23—5—4—22—7—4.
- III. Место на источнике тока, на котором накапливаются заряженные частицы: 13—12—9—11—15.
- IV. Прибор, служащий для обнаруживания в цепи электрического тока: 3—24—9—25—2—24—22—

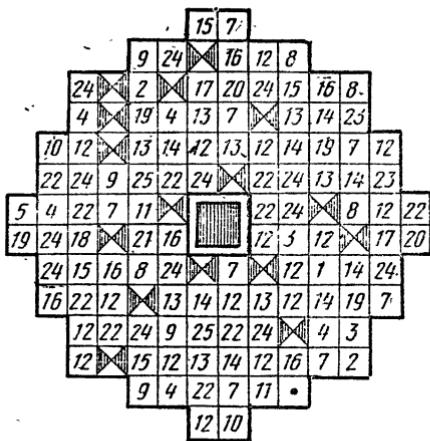


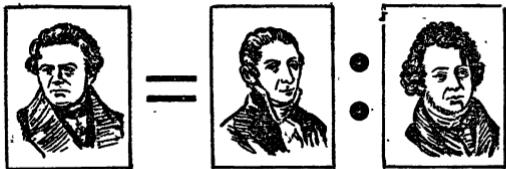
Рис. 90.

12—10—4—16—14. V. Металл, обладающий весьма малым удельным сопротивлением: 15—4—14—4—1—14—12. VI. Сплав с высоким удельным сопротивлением: 22—7—18—14—12—10. VII. Покрытие проводника, препятствующее электрическому контакту этого проводника с окружающими телами: 7—6—12—9—23—19—7—23. VIII. Раздел физики: 21—9—4—8—16—14—7—20—4—15—16—2—12.

Как прочитать?

По портретам ученых прочтайте, что здесь написано (рис. 91). В этой шуточной загадке есть неточность. Назовите ее.

Рис. 91.



Назовите фамилию

Назовите ученого, фамилия которого состоит из пяти букв, причем: первая — первая в названии электрода, присоединенного к положительному полюсу источника тока; вторая — вторая в названии единицы сопротивления; третья — третья в назва-

нии прибора для измерения силы тока; четвертая — четвертая в названии единицы сила тока; пятая (она же последняя) — последняя в названии прибора для измерения напряжения.

ОТВЕТЫ К ГЛАВЕ V

Веселый лабиринт. Схема электрической цепи игрушки дана на рисунке 92. Роль выключателя играет кольцо. Если им коснуться проволочной зигзагообразной фигуры, то замкнется электрическая цепь и лампочка загорится.

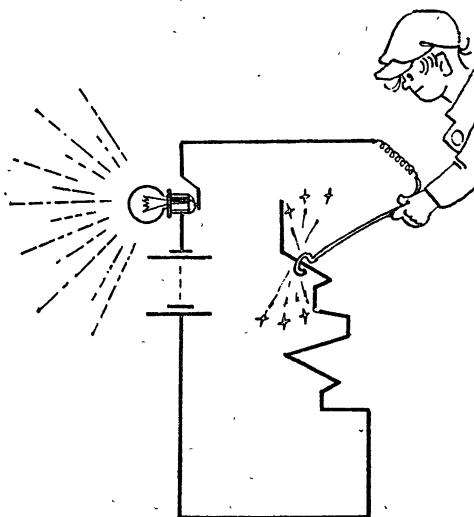


Рис. 92.

Электрическая цепь. 1. Термоэлемент. 2. Фотоэлемент. 3. Схема. 4. Ток. 5. Вольта. 6. Провод. 7. Приемник. 8. Выключатель. 9. Полюс. 10. Цинк. 11. Гальвани. 12. Аккумулятор.

Криптограмма. Ключевые слова: I. Кулон. II. Напряжение. III. Полюс. IV. Гальванометр. V. Серебро. VI. Нихром. VII. Изоляция. VIII. Электричество.

Зашифровано: «Сила тока в участке цепи прямо пропорциональна напряжению на концах этого участка и обратно пропорциональна его сопротивлению. Ом».

Как прочитать? Ом — сопротивление такого проводника, в котором при напряжении на концах один вольт сила тока равна одному амперу.

Неточность загадки: фамилия ученого — Вольта, название единицы напряжения — вольт.

Назовите фамилию. Ампер. По буквам: 1. Анод (А). 2. Ом (м). 3. Амперметр (п). 4. Ампер (е). 5. Вольтметр (п).

ГЛАВА VI РАБОТА И МОЩНОСТЬ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ТОКА

ИЗ ИСТОРИИ ДУГОВОЙ ЛАМПЫ

Осенью 1802 г. профессор физики Петербургской медико-хирургической академии Василий Владимирович Петров производил опыты с помощью построенной им самим огромной батареи гальванических элементов.

Однажды, исследуя сопротивление угля, В. В. Петров взял два угольных стерженька, соединил один из них с положительным полюсом электрической батареи, другой — с отрицательным и приблизил угли один к другому. Как только угли сблизились, их концы разогрелись так сильно, что начали светиться. Ученый стал немного отодвигать угли друг от друга. Внезапно в воздухе между ними возникло ослепительно яркое изогнутое белое пламя — электрическая дуга (рис. 93), от которой, как писал В. В. Петров, «темный покой довольно ясно освещен быть может».

Ученый заметил, что жар электрической дуги очень силен. В ней плавятся даже железные гвозди и медные пластинки. Это и не удивительно — теперь мы знаем, что температура в пламени дуги Петрова достигает 6000 °С!

Что же является причиной возникновения электрической дуги? При сближении угольных стерженьков начинает течь ток. В месте соприкосновения углей электрический ток встречает сопротивление значительно большее, чем в самих углях, так как воздух в обычном своем состоянии тока не проводит, а угольные стерженьки соприкасаются только в небольшом числе точек. Вследствие этого концы углей сильно разогреваются, начинают испускать свет и нагревают окружающий воздух. Такие угли начинают выделять раскаленные газы. Если теперь слегка раздвинуть угли, электрический ток не прекратится: раскаленные газы проводят ток и между раздвинутыми углями возникает светящаяся электрическая дуга.

В. В. Петров поставил много опытов с электрической дугой. Он получал ее в воздухе, в разреженной среде, в различных жидкостях, наблюдал ее, заменяя угли металлами. Об открытом им явлении электрической дуги и ее исследованиях ученый написал две книги. В своих книгах В. В. Петров предсказал, что электрическая дуга получит применение в технике для освещения и нагревания.

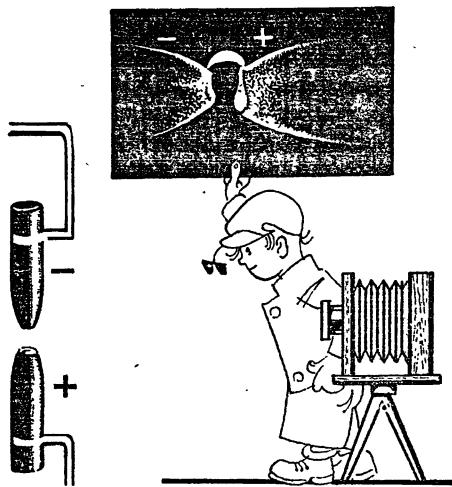


Рис. 93.

Однако осуществить эту мысль на практике оказалось не так-то легко. Дело в том, что для получения электрической дуги требуется довольно сильный ток, а батареи гальванических элементов давали, как правило, слабый ток. Другое затруднение состояло в том, что угольные стерженьки постепенно сгорают и расстояние между ними увеличивается. Наконец, наступает момент, когда дуга внезапно гаснет. Чтобы получить постоянное горение дуги, надо сдвигать угли по мере их сгорания.

Первая еще несовершенная дуговая лампа конструкции Б. С. Якоби появилась в 1849 г. в Петербурге, на башне Адмиралтейства. Угли этой лампы приходилось сблизять вручную. Лампа Якоби излучала такой сильный свет, что ее называли электрическим солнцем.

Русские изобретатели А. Шпаковский (в 1856 г.) и В. Чиколев (в 1865 г.) придумали регуляторы, которые автоматически поддерживали необходимое расстояние между углами. Дуговые лампы с регуляторами были сложны и стоили дорого.

Несовершенство регуляторов дуговых ламп очень ясно видел начальник телеграфа одной из русских железных дорог Павел Николаевич Яблочков. Ему было поручено следить за работой дуговой лампы прожектора, установленного на паровозе поезда важного назначения. Этот светильник потребовал много хлопот и так заинтересовал Яблочкова, что стал делом его жизни. Яблочков задумал сделать дуговую лампу простой и доступной для всех.

П. Н. Яблочков бросил работу на железной дороге, начал трудиться в мастерской своего друга и ставить опыты с элек-

Открытие В. В. Петрова было очень скоро незаслуженно забыто. Этому в немалой степени способствовали ученые иностранцы, занимавшие тогда начальственные места в русской Академии наук. Когда через девять лет, в 1811 г., английский ученый Г. Дэви снова получил в своей лаборатории электрическую дугу, он был признан первооткрывателем этого явления.

Электрическая дуга заинтересовала многих изобретателей. Она давала невиданно яркий белый свет. Как заманчиво было использовать ее для освещения!

трической дугой. Вспышки и взрывы, сопровождавшие эти опыты, по-видимому, возбудили у полиции подозрения о связи изобретателя с революционерами. Яблочков уехал в Одессу, оттуда во Францию, а жандармы гнались за ним по пятам. В Париже П. Н. Яблочков работал в электротехнической мастерской, продолжая трудиться над созданием дуговой лампы.

В 1876 г. в Лондоне на выставке точных физических приборов русский изобретатель П. Н. Яблочков демонстрировал перед посетителями необыкновенную «электрическую свечу». Похожая по своей форме на обычную стеариновую, эта свеча горела ослепительно ярким светом.

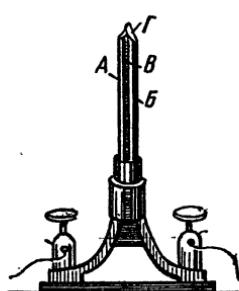
В том же году «свечи Яблочкова» появились на улицах Парижа. Помещенные в белые матовые шары, они давали яркий приятный свет. В короткое время чудесная «свеча» русского изобретателя завоевала всеобщее признание. «Свещами Яблочкова» освещались лучшие гостиницы, улицы и парки крупнейших городов Европы.

Привыкшие к тусклому свету стеариновых свечей и керосиновых ламп, люди прошлого века восхищались «свещами Яблочкова». Новый свет называли «русским светом», «русским солнцем».

Что же представляла собой «свеча Яблочкова» (рис. 94)? По существу это та же дуговая лампа, но у нее нет никаких регуляторов. Задачу регулировки углей при горении лампы П. Н. Яблочков решил гениально просто. Угли *A* и *B* он поместил не друг над другом, а рядом на таком расстоянии один возле другого, чтобы при пропускании тока между ними возникала дуга. Чтобы дуга горела только вверху, у концов угольных стерженьков угли были разделены между собой слоем *B*, не проводящим электричество, например слоем глины или гипса. Металлическая пластинка *G* соединяла друг с другом верхние концы углей. При пропускании электрического тока через «свечу» пластинка сгорала и между концами углей возникала дуга. По мере сгорания углей изолирующий слой между ними постепенно испарялся. Угли же за все время горения находились на одном и том же расстоянии друг от друга. Электрическая «свеча Яблочкова», простая и дешевая, горела ярким ровным светом больше часа.

Однако это не такой уж большой срок. Поэтому изобретатель соединил несколько «свечей» так, что, когда гасла одна свеча, автоматически загоралась другая. Он разработал такую схему включения дуговых

Рис. 94.



ламп, при которой один источник тока мог обслуживать уже не одну, а много ламп¹.

Яблочков стал знаменит и богат, но не было для него счастья вне родины. Он возвратился в Россию, в Петербург, отдав все свои средства, чтобы выкупить у иностранных компаний право использовать электрическую «свечу».

К 1880 г. «русский свет» освещал многие города мира, а в России — Москву, Петербург, Полтаву и ряд других городов. Однако в эти же годы у «свечей Яблочкова», кроме старых соперников — газовых светильников, появился новый серьезный противник — лампы накаливания, созданные А. Н. Лодыгиным. Соперничества с этими лампами «свечи Яблочкова» не выдержали.

Но мы не должны забывать, что именно работы русского изобретателя П. Н. Яблочкова дали электрическому свету «путевку в жизнь».

В наше время мощные дуговые лампы успешно применяют в прожекторах.

ИЗ ИСТОРИИ ИЗОБРЕТЕНИЯ ЛАМПЫ НАКАЛИВАНИЯ

Электрическая лампа накаливания изобретена русским изобретателем Александром Николаевичем Лодыгиным. Еще на школьной скамье у Лодыгина зародилась мечта о летательной машине, увлекшая его на долгие годы. Ради этой идеи Лодыгин нарушил обычай семьи — снял офицерский мундир и, уйдя из дома, поступил на Тульский завод молотобойцем. Здесь он всей душой привязался к технике и в 1869 г. представил в Главное инженерное управление проект летательной машины (вертолета) с электрическим двигателем. Это был необыкновенно смелый проект. Царские чиновники не приняли его. А. Н. Лодыгину разрешили передать этот проект в помощь воюющей Франции. Изобретатель уехал во Францию, но она потерпела поражение раньше, чем машина была готова. Лодыгин, вернувшись в Петербург в 1872 г., нанялся на работу техником в Общество газового освещения.

Словно сказочная жар-птица, «электролет» ускользнул от молодого изобретателя, и лишь маленькая деталь его проекта осталась в руках, необыкновенная, как перо жар-птицы. То была мысль о первой в мире электрической лампе накаливания, предназначавшейся для освещения машины. Осуществление этой мысли поставило имя А. Н. Лодыгина в один ряд с именами крупнейших электротехников.

¹ П. Н. Яблочковым впервые был применен принцип трансформации электрической энергии.

Изобретатель принялся за исследовательскую работу. Он задумался: что дает самый сильный свет в электрической дуге? Казалось бы, ясно: дуга его и дает. Но А. Н. Лодыгин провел это и решил: нет, не так! Раскаленные концы угольных стержней, между которыми образуется дуга, дают более яркий свет, чем сама дуга. Так зачем же она нужна? Можно было раскалить электрическим током угольные стержни — они и будут светиться.

В стеклянный баллон А. Н. Лодыгин поместил тонкий угольный стержень между двумя медными держателями. Такая лампа светила всего полчаса, потом ее угольный стерженек сгорал. Исследователь пробовал ставить в лампу два уголька, добиваясь того, чтобы сперва накалялся только один. Этот уголек быстро сгорал, но зато он поглощал кислород в лампе. Когда первый уголек сгорал, раскалялся и начинал светиться второй. Он светил уже два часа, но потом он все-таки перегорал, так как между нижней металлической оправой и стеклом в лампочку проникал воздух.

Наконец А. Н. Лодыгин изготовил лампочку со сферической колбой, из которой был выкачен воздух, причем снаружи воздух в нее не просачивался (рис. 95). Угольный стержень этой лампы светился уже несколько десятков часов. Заявку на патент на свою лампу А. Н. Лодыгин подал 14 октября 1872 г.

...Осенним вечером 1873 г. много народа шло на одну глухую петербургскую улицу. Газеты сообщали, что в этот день там будут пробовать электрическое освещение. Это было невидалью — ведь свечи Яблочкива появились в Петербурге года на четыре позже. Очевидец этого эксперимента рассказывал: «В двух уличных фонарях керосиновые лампы были заменены лампами накаливания, изливавшими яркий белый свет. Масса народа любовалась этим освещением, этим огнем с неба. Многие принесли с собой газеты и сравнивали расстояния, на которых можно было читать при керосиновом освещении и при электричестве». Скоро засияла электрическим светом витрина большого магазина на одной из главных улиц столицы. Лампочки Лодыгина даже опустили в реку, и они отлично освещали водолазам место работы.

Осенью 1874 г. Академия наук присудила А. Н. Лодыгину Ломоносовскую премию. Вскоре А. Н. Лодыгин получил патент на свой способ освещения в 10 странах мира.

Все-таки лампочки Лодыгина служили недолго. Нужно было проделать еще тысячи опытов, чтобы создать прочную нить накаливания. А денег у ученого не было.

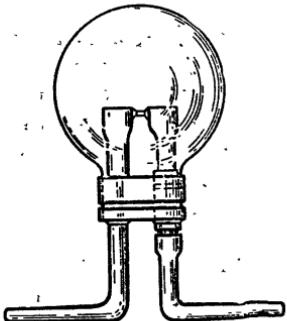


Рис. 95.

Американский изобретатель Эдисон получил несколько лампочек Лодыгина. Их привез в Америку один русский офицер. Эдисон понял, что изобретенные Лодыгиным лампочки — самый лучший способ электрического освещения, только надо их усовершенствовать. У Эдисона было то, чего не хватало Лодыгину, — много денег и много помощников. Как у всякого хорошего изобретателя, у него был большой запас терпения. 6000 опытов проделал Эдисон со своими помощниками, чтобы найти самый прочный материал для угольных нитей — японский бамбук — и лучший способ их приготовления.

В конце 1879 г. Эдисон создал свою лампу с винтовым цоколем и патроном, называемым эдисоновским. Все выданные Эдисону патенты были сформулированы лишь как предложения об усовершенствовании ранее запатентованной лампы Лодыгина.

Однако велика заслуга Эдисона в том, что он первый создал аппаратуру для электрического освещения, которая получила широкое распространение. Изобретатель построил фабрику по производству электрических ламп, создал источник постоянного тока для питания ламп — динамо-машину, организовал завод по их изготовлению. Эдисон разработал и усовершенствовал всю нужную аппаратуру для освещения. Кроме патрона, им изобретены предохранители, выключатели и первый счетчик, который работал на принципе электрического осаждения меди на маленькой пластине. По массе отложившейся меди судили о количестве протекшего электричества. В короткое время изобретатель получил более трехсот патентов.

Эдисон вел борьбу за электрическое освещение, которому противодействовали компании по газовому освещению. Он был руководителем огромной работы и своей энергией, трудолюбием, непоколебимой верой в успех воодушевлял своих сотрудников.

Электрический свет быстро и широко завоевывал мир.

Однако у лампы накаливания были недостатки. Во-первых, свет, который дает угольная нить, не белый, а желтоватый, а это вредно для глаз, во-вторых, в лампе накаливания лишь 0,5 % расходуемой энергии превращалось в световую энергию. Наиболее близок к солнечному свет, излучаемый телом при температуре около 6000 °С. Было известно также, что с повышением температуры увеличивается и общее количество излучаемой энергии видимого света. Отсюда ясно: надо было повышать температуру нити в лампочке. Однако на практике при высоких температурах угольная нить испарялась, и лампа выходила из строя.

А. Н. Лодыгин потратил 27 лет жизни на поиски лучшего материала для нити лампы накаливания! В 1890 г. он получил в Америке патент на лампу с нитью из тугоплавких ме-

таллов — вольфрама, молибдена и tantalа и в том же году с большим успехом демонстрировал такую лампу на Всемирной выставке в Париже.

Во всем мире с тех пор нити для электрических ламп делают из вольфрама, температура плавления которого очень высока — 3380 °С. Это позволило повысить температуру волоска лампы, и ее свет стал значительно белее. Экономичность ламп повысилась в 2—3 раза.

Сейчас наша электроламповая промышленность выпускает за год миллиарды самых разнообразных ламп накаливания. Помимо всем известных ламп, есть и необычные. Например, лампы-гиганты, применяемые для специальных целей — для морских маяков. Некоторые из таких ламп имеют высоту более метра, массу свыше 7 кг, а мощность 50 000 Вт. Существуют и лампы-карлики массой 0,02 г и мощностью 0,4 Вт. Такие лампы используют в медицине.

Современная лампа накаливания — очень удобный, безопасный и дешевый источник света. Но и в ней лишь небольшая доля подводимой энергии — всего 7% — превращается в энергию видимого света, причем ее свет сильно отличается от дневного. Будущее, вероятно, принадлежит совсем иным лампам — лампам «дневного света», но сейчас лампы накаливания остаются наиболее популярными и широко распространенными источниками света.

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ШОВ

Продолжателем работ В. В. Петрова по расплавлению металлов электрической дугой был русский изобретатель Николай Николаевич Бенардос. В 1882 г. он предложил способ дуговой электрической сварки металлов и через два года взял на него патент.

Н. Н. Бенардос соединил один полюс сильной электрической батареи с угольным электродом, а другой — со свариваемыми металлическими деталями (рис. 96). Как только изо-

Рис. 96.

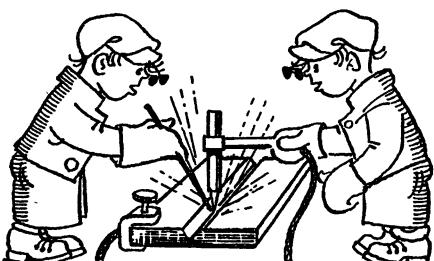
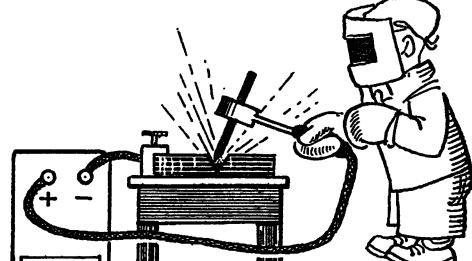


Рис. 97.



бретатель, держа электрод за ручку, подносил его к металлу, вспыхивала яркая дуга. В ее пламя Н. Н. Бенардос помещал конец металлического стержня, так называемый присадочный металл. Жар дуги начинал расплавлять этот стержень и края свариваемых листов; металлические детали соединялись с помощью шва — полоски наплавленного металла.

Способ Н. Н. Бенардоса получил широкую известность. Электрическую сварку начали применять на русских железных дорогах для ремонта рельсов и подвижного состава. Русское техническое общество в 1892 г. наградило изобретателя золотой медалью.

Н. Н. Бенардос продолжал работу по совершенствованию электросварки, по упрочнению сварного шва. Н. Н. Бенардос изобрел многие из основных способов дуговой электрической сварки, которые и применяют ныне.

Другой талантливый русский изобретатель — Николай Гаврилович Славянов в 1888 г. применил свой способ дуговой электросварки и получил на него патент. Н. Г. Славянов заметил, что одной из причин снижения прочности сварного шва было излишнее количество углерода, который попадал в шов при горении угольного электрода.

При дуговой электросварке по способу Славянова угольный электрод заменяется металлическим (рис. 97). Расплавленный металл стекает с этого электрода на поверхность свариваемой детали, шов становится прочнее, а работа сварщика проще. Электрический ток Н. Г. Славянов получал не от громоздкой батареи, а от генератора постоянного тока собственной конструкции. На Пермском заводе, где работал изобретатель, применяя электросварку по его методу, за короткий срок отремонтировали более полутора тысяч массивных изделий: стальные валы, чугунные опоры и пр. Русское техническое общество наградило Н. Г. Славянова медалью, а через год, в 1893 г., он получил золотую медаль на Всемирной выставке в Чикаго.

Казалось бы, способ электросварки найдет очень широкое применение. Но в условиях отсталой царской России изобретения Н. Н. Бенардоса и Н. Г. Славянова широкого применения не получили.

Достоинства электросварки — непроницаемость и прочность шва, экономия металла и труда — способствовали ее возрождению в советское время.

В 1932 г. академик К. К. Хренов разработал способ подводной сварки и резки металлов с помощью электрической дуги (рис. 98). Стальной стержень 1 с покрытием 2 опускают в воду. При горении дуги образуются газы. Часть газов в виде пузырьков 5 поднимается на поверхность воды, другая (4) — окружает дугу со всех сторон. В этом газовом пузыре дуга 3 горит, не соприкасаясь с водой.

Коренной переворот в области сварки металлов произвел способ автоматической дуговой сварки под слоем флюса (специального порошка). Этот способ был создан в 1939 г. группой ученых и инженеров под руководством академика Е. О. Патона. При автоматическом способе электросварки основные операции производятся специальным механизмом — сварочной головкой, которая движется по свариваемому изделию. Сила тока может достигать более 3000 А, а окружающий дугу флюс препятствует тому, чтобы ее тепло рассеивалось. Поэтому плавление основного металла и электродной проволоки происходит во много раз быстрее, чем при сварке ручным способом, а качество шва повышается.

В настоящее время ученые-сварщики занимаются проблемой обработки тугоплавких металлов, разрабатывают новые способы сварки, в том числе сварки в вакууме и состоянии невесомости. Осенью 1969 г. бортинженер космического корабля «Союз-6» В. Кубасов с помощью разработанной советскими учеными установки «Вулкан» сваривал в космосе различными способами нержавеющую сталь, титан, алюминиевомагниевые сплавы.

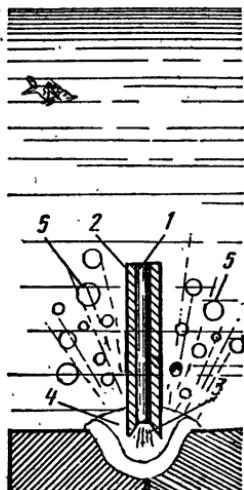


Рис. 98.

ЭЛЕКТРИЧЕСТВО ПЛАВИТ МЕТАЛЛ

В начале XIX в. В. В. Петров обнаружил возможность получения при помощи электрической дуги чистых металлов из их оксидов (руд). Этот процесс восстановления металлов лежит в основе современной электрометаллургии. Первые дуговые электрические печи для восстановления металлов из руд были построены в конце 70-х годов прошлого века. Но электропечи расходуют очень много электроэнергии, поэтому их промышленное применение началось только тогда, когда стали строить мощные электростанции и была решена проблема передачи электрической энергии на расстояние.

Современная дуговая сталеплавильная печь — огромное сооружение высотой более 20 м. Печь вмещает многие десятки тонн шихты, состоящей из руды и восстановителя (чаще кокса). В шихту опускают концы огромных угольных электродов, диаметр которых достигает 0,7 м (рис. 99). Возникающая между углями мощная электрическая дуга нагревает материалы до температуры восстановления металла из руд.

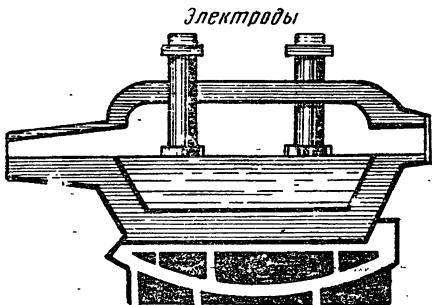


Рис. 99.

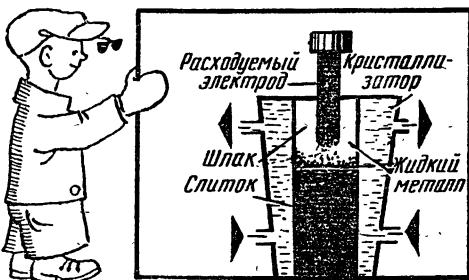


Рис. 100.

Для питания дуговых печей используют ток силой более 40 000 А. Современные дуговые печи — это механизированные и автоматизированные агрегаты.

Помимо дуговых, разработаны и другие типы электрических печей, например печи сопротивления. Электропечи сопротивления, в которых нагреватели — твердые проводники, дают температуру 350—1600 °С. Больше материал не выдерживает и плавится.

Протекая через жидкий расплав, электрический ток тоже выделяет тепло. По такому принципу работают печи электрощелкового нагрева (рис. 100). Жидкий металл прикрыт толстым слоем электропроводного расплавленного шлака так, чтобы в нем утопал конец электрода, сделанного из стали, которую надо переплавить. Ток, проходя по шлаку от электрода к кристаллизатору, выделяет тепло. Доступ воздуха к металлу закрыт шлаком, он же очищает капельки металла, стекающие вниз, от инородных тел, поглощает всплывающие из расплава пузырьки газа и примеси.

В электрической печи можно получить нужную высокую температуру и обеспечить ее точную регулировку, легче избавиться от вредных примесей, автоматизировать технологический процесс и повысить производительность труда. Именно в электрических печах удается получить высококачественную сталь. Такие специальные стали, как инструментальная, нержавеющая и жаропрочная, выплавляются сейчас только в электрических печах.

ЭЛЕКТРОНАГРЕВ В СЕЛЬСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ

Более 3000 лет назад в Египте уже строили инкубаторы для вывода цыплят. Чтобы обогреть инкубатор, сжигали солому и, не имея измерительных приборов, поддерживали нужный режим на глаз.

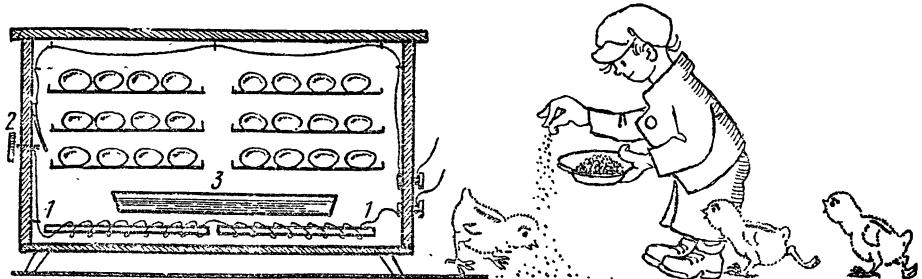


Рис. 101.

В современные инкубаторы закладывают десятки тысяч яиц одновременно, а работает такой инкубатор по строго заданной программе. Инкубатор представляет собой шкаф, где по ярусам на специальных лотках размещены яйца. Он обогревается с помощью нагревательных проволочных спиралей. Такой нагрев «чист», т. е. не дает дыма, который мог бы вредить зародышам. Автоматически поддерживается температура в интервале от 37,7 до 38 °С, для этого используют терморегуляторы¹ с биметаллической пластинкой или другого типа. Биметаллическая пластинка терморегулятора сделана из двух разнородных металлических пластин, например железной и из сплава инвара². Биметаллическая пластина закреплена с одного конца. Когда температура в инкубаторе ниже нормы, биметаллический терморегулятор 2 замыкает контакты электрической цепи и ток проходит по нагревательным спиралью 1 (рис. 101). Если температура терморегулятора больше заданной, биметаллическая пластина так изгибается в сторону менее удлинившегося слоя, что отходит от контакта. Электрическая цепь нагревателя размыкается; она остается в таком положении до тех пор, пока температура не ниже нормы; тогда биметаллический терморегулятор снова замкнет цепь. Для поддержания в инкубаторе необходимой влажности там имеется сосуд с водой 3.

Полученные в инкубаторе маленькие цыплята тоже нуждаются в обогреве. Для них оборудуют брудергаузы³. Для каждой группы цыплят в 300—500 голов имеется свой брудер — невысокий зонт, на вогнутой стороне которого, обращенной к полу, укреплены проволочные спирали, питаемые током, или электролампы мощностью около 200 Вт.

¹ Терморегулятор — автоматическое устройство для поддержания заданной температуры в тепловой установке.

² *Bi* — дважды (лат.); *invar* — неизменный (франц.)

³ Брудергаузы — «братьские дома» (нем.).

В сельском хозяйстве электроподогрев применяют, для сушки зерна, варки и запарки кормов, для подогрева воды. Так, например, в Москве на Международной выставке «Электро-77» были показаны отечественные мощные установки для одновременной очистки и сушки зерна. С их помощью два оператора могут обработать до 40 т зерна в час.

Электрические водоподогреватели бывают двух видов: с электроподогревательными элементами (проволочными спиралью) и с электродами из железных листов, опускаемых в воду. В первых тепловое действие тока проявляется в нагревании проводника с высоким удельным сопротивлением, например никрома. Во втором случае ток идет в самой подогреваемой воде, которая содержит примеси и является электролитом. Заметим, что этим же способом подогревают в зимнее время влажный бетон на стройке, чтобы он не замерзал.



В СВОБОДНУЮ МИНУТУ

Электрическое освещение

В каждую клетку, включая нумерованную (рис. 102), надо поставить букву так, чтобы слова по горизонтали означали: 1 и 2. Английский и русский ученые, установившие на опыте независимо друг от друга, от чего зависит количество теплоты, выделяемой при нагревании проводника электрическим током. 3. Часть электрической лампы накаливания, которая ввинчивается в патрон. 4. Русский ученый,

Рис. 102.

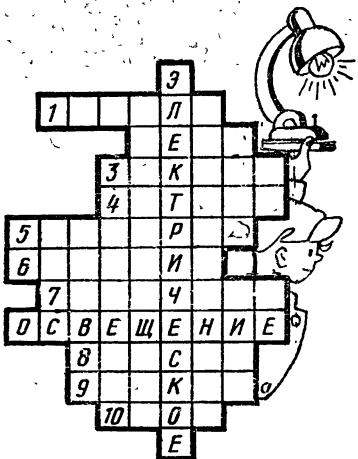
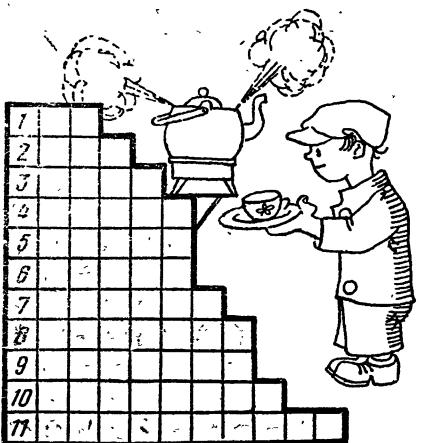


Рис. 103.



открывший явление электрической дуги. 5. Металл, из которого изготавливают спираль лампы накаливания. 6. Изобретатель первой лампы накаливания, пригодной для практического использования. 7. Изобретатель дуговой лампы — электрической свечи. 8. Американский изобретатель, усовершенствовавший лампу накаливания и создавший для нее патрон. 9. Материал, из которого изготавливают баллон лампы накаливания. 10. Газ, применяемый для заполнения ламп накаливания.

Электронагревательные приборы.

В каждую клетку, включая нумерованную (рис. 108), надо поставить букву так, чтобы по горизонтали получилось название бытового прибора, частью которого служит электронагреватель.

Электросварка

Начиная с поля, где стоит конь, ходом шахматного коня прочтайте, что здесь написано (рис. 104). Значения слов:

1. Ученый, открывший явление электрической дуги. 2. Изобретатель первого в истории способа дуговой электросварки. 3. Изобретатель способа дуговой электросварки с применением металлического электрода. 4. Изобретатель способа подводной дуговой электросварки и резки металлов. 5. Руководитель группы изобретателей отечественного способа автоматической дуговой сварки под слоем флюса. 6. Советский космонавт, впервые в мире сваривавший металлы в космосе.



Рис. 104.

ОТВЕТЫ К ГЛАВЕ VI

Электрическое освещение. 1. Джоуль. 2. Ленц. 3. Цоколь. 4. Петров. 5. Вольфрам. 6. Лодыгин. 7. Яблочкин. 8. Эдисон. 9. Стекло. 10. Азот.

Электронагревательные приборы. 1. Фен. 2. Утюг. 3. Камин. 4., 5, 6. Плитка, чайник, грелка. 7. Духовка. 8. Паяльник. 9. Кастрюля. 10. Зажигалка. 11. Кипятильник.

Электросварка. 1. Петров. 2. Бенардос. 3. Славянов. 4. Хренов. 5. Патон. 6. Кубасов.

ГЛАВА VII ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ ЯВЛЕНИЯ

НАЧАЛО ИЗУЧЕНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ЯВЛЕНИЙ

Старинная легенда рассказывает о пастухе по имени Магнус. Он обнаружил однажды, что железный наконечник его палки и гвозди сапог притягиваются к черному камню. Этот камень стали называть «камнем Магнуса» или просто «магнитом». Но известно и другое предание о том, что слово «магнит» произошло от названия местности, где добывали железную руду (холмы Магнезии в Малой Азии). Таким образом, за много веков до нашей эры было известно, что некоторые каменные породы обладают свойством притягивать куски железа. Об этом упоминал в VI в. до н. э. греческий физик и философ Фалес.

Первое научное изучение свойств магнита было предпринято в XIII в. ученым Петром Перегрином. В 1269 г. вышло его сочинение «Книга о магните», где он писал о многих фактах магнетизма: у магнита есть два полюса, которые учений назвал северным и южным; невозможно отделить полюса друг от друга разламыванием. Перегрин писал и о двух видах взаимодействия полюсов — притяжении и отталкивании.

В 1600 г. вышло сочинение английского врача В. Гильберта «О магните». К известным уже фактам Гильберт прибавил важные наблюдения: усиление действия магнитных полюсов железной арматурой, потерю магнетизма при нагревании и другие, о которых рассказано в статье о земном магнетизме. Долгое время считалось, что между электрическими и магнитными явлениями никакой связи не существует, так как не замечалось никакой связи между магнитом и заряженным проводником.

Однажды (это было в 1820 г.) датский физик Ганс Христиан Эрстед на лекции попытался продемонстрировать своим ученикам отсутствие связи между электричеством и магнетизмом, включив электрический ток вблизи магнитной стрелки. По словам одного из его слушателей, он был буквально «ошарашен», увидев, что магнитная стрелка после включения тока начала совершать колебания. Большой заслугой Эрстеда является то, что он оценил значение своего наблюдения и повторил опыт.

Соединив длинным проводом полюса гальванической батареи, Эрстед протянул провод горизонтально и параллель-

но свободно подвешенной магнитной стрелке. Как только был включен ток, стрелка немедленно отклонилась, стремясь встать перпендикулярно к направлению провода. При изменении направления тока стрелка отклонилась в другую сторону. Вскоре Эрстед доказал, что магнит действует с некоторой силой на провод, по которому идет ток.

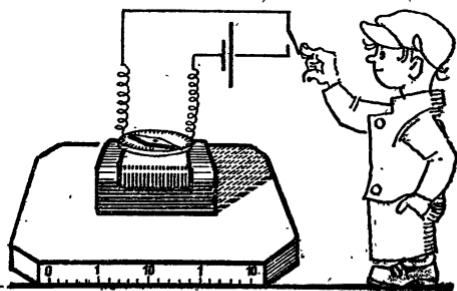
Открытие взаимодействия между электрическим током и магнитом имело огромное значение. Оно стало началом новой эпохи в учении об электричестве и магнетизме. Это взаимодействие сыграло важную роль в развитии техники физического эксперимента. По отклонению магнитной стрелки можно было судить о силе проходящего вблизи тока. Стало возможным сконструировать прибор для обнаруживания тока — гальваноскоп (рис. 105) и более чувствительный прибор — гальванометр.

Узнав об открытии Эрстеда, французский физик Доминик Франсуа Араго начал серию опытов. Он обмотал медной проволокой стеклянную трубку, в которую вставил железный стержень. Как только замкнули электрическую цепь, стержень сильно намагнился и к его концу крепко прилипли железные ключи; когда выключили ток, ключи отпали. Араго рассматривал проводник, по которому идет ток, как магнит. Правильное объяснение этого явления было дано после исследований французского физика Андре Ампера, который установил внутреннюю связь между электричеством и магнетизмом. В сентябре 1820 г. он сообщил Французской Академии наук о полученных им результатах.

На простом приборе (его стали называть «станком Ампера» (рис. 106) ученый доказал, что токи взаимодействуют между собой, подобно магнитам. В приборе Ампера рамка *abcd* может вращаться на остриях, опирающихся на дно чашечек *x* и *y* со ртутью. Ток к рамке подводится по проводникам *u* и *t*. Приближая к разным сторонам рамки проводник с током, Ампер убедился, что два параллельных проводника, по которым идет ток одного направления, взаимно притягиваются, а в противоположных — отталкиваются.

Затем Ампер в своем «станке» заменил раму свободно подвешенным спиральным проводником. Этот провод при пропускании по нему тока приобретал свойство магнита. Ампер назвал его соленоидом. Исходя из магнитных свойств соленоида, Ампер предложил рассматривать магнетизм как явление, обя-

Рис. 105.



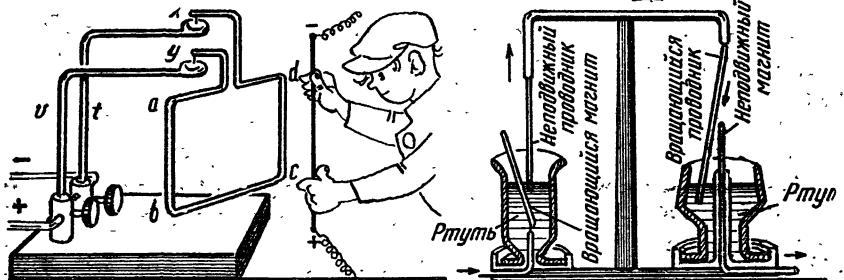


Рис. 106.

Рис. 107.

занесе круговыми токами. Он считал, что магнит состоит из молекул, в которых имеются круговые токи. Каждая молекула представляет собой маленький магнитик. Располагаясь одноименными полюсами в одну и ту же сторону, эти маленькие магнитики и образуют магнит. Проводя вдоль стальной полосы магнитом (несколько раз в одну и ту же сторону), мы заставляем молекулы с круговыми токами ориентироваться в пространстве одинаково. Таким образом стальная пластинка превратится в магнит. Теперь стал понятен и опыт Араго со стеклянной трубкой, обмотанной медным проводом. Вдвинутый в нее железный стержень стал магнитом потому, что вокруг него шел ток. Это был электромагнит.

В 1825 г. английский инженер Вильям Стерджен изоготовил первый электромагнит, представляющий собой согнутый стержень из мягкого железа с обмоткой из толстой медной проволоки. Для изолирования от обмотки стержень был покрыт лаком. При пропускании тока железный стержень приобретал свойства сильного магнита, но при прерывании тока он мгновенно их терял. Именно эта особенность электромагнитов позволила широко применять их в технике.

Выдающиеся открытия в области электромагнетизма были сделаны знаменитым английским физиком Майклом Фарадеем. Здесь отметим следующее. Опыт Эрстеда поразил всех физиков тем, что сила, «исходящая из проводника», не притягивает и не отталкивает магнитную стрелку, а отклоняет ее в сторону. Чтобы исследовать направление этой отклоняющей силы, Фарадей поставил такой опыт. Он опустил в сосуд со ртутью конец вертикального проводника (рис. 107). Ко дну сосуда был прикреплен на проволоке тонкий длинный магнит, сохраняющий вертикальное положение, так как плотность ртути почти в два раза больше, чем железа. При пропускании тока по проводнику магнит вращался вокруг него. Укрепив магнит неподвижно, Фарадей наблюдал, что проводник вращается вокруг него. Этот опыт наглядно показал, что сила взаимодействия между током и магнитом на-

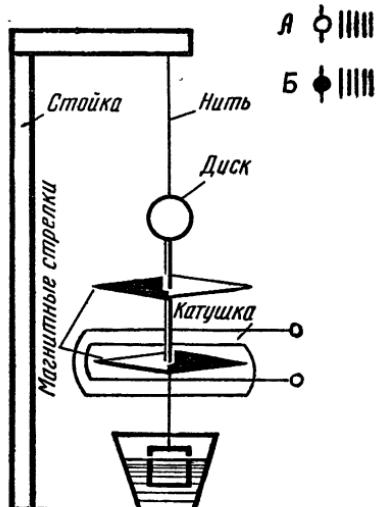
правлена перпендикулярно проходящей через них плоскости. Но как объяснить существование силы такого направления? Фарадей не верил в действие магнитных сил на расстоянии. Он решил исследовать пространство вокруг магнитных полюсов и токов. Покрыв плоский магнит листом бумаги и насыпав на него железные опилки, Фарадей наблюдал, как опилки располагались по кривым линиям между обоими полюсами. Ученый предположил, что эти линии не только указывают на направление действия сил в различных точках полученного магнитного поля, но и соответствуют каким-то изменениям в той среде, через которую передаются магнитные действия.

Таким образом, в физику было введено понятие о магнитном поле. Это исследование, как и исследование электрического поля, было проведено М. Фарадеем в 1852 г.

ТЕЛЕГРАФ

Первый в мире электромагнитный телеграф был изобретен русским ученым и дипломатом Павлом Львовичем Шиллингом в 1832 г. Находясь в командировке в Китае и других странах, он остро ощущал потребность в быстродействующем средстве связи. В телеграфном аппарате им использовано свойство магнитной стрелки отклоняться в ту или другую сторону в зависимости от направления тока, проходящего по проводу. Аппарат Шиллинга состоял из двух частей: передатчика и приемника. Два телеграфных аппарата проводниками соединялись между собой и с электрической батареей. Передатчик имел 16 клавиш. Если нажимали на белые клавиши, ток шел в одну сторону, на черные — в другую. Эти импульсы тока достигали по проводам приемника, который имел шесть катушек; возле каждой катушки на нити подвешивали две магнитные стрелки и небольшой диск (рис. 108). Одну сторону диска окрашивали в черную краску, другую — в белую. В зависимости от направления тока в катушке магнитные стрелки поворачивались в ту или другую сторону, и телеграфист, принимающий сигнал, видел черный или белый кружок. Если ток в катушку не поступал, то диск был виден ребром.

Рис. 108.



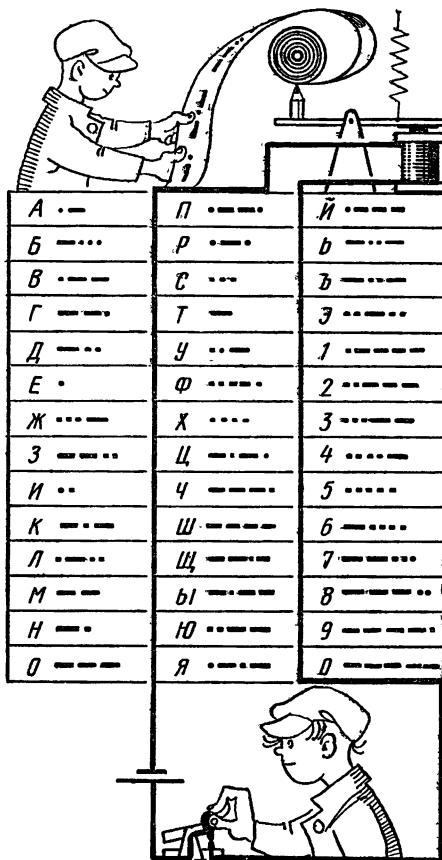


Рис. 109.

Якоби. В этом аппарате имелось колесо, которое вращалось с такой же скоростью, как и колесо другого аппарата, установленного на соседней станции (рис. 110). На ободах обоих колес были выгравированы буквы, цифры и знаки, смачиваемые краской. Под колесами аппаратов располагали электромагниты, а между якорями электромагнитов и колесами протягивали бумажные ленты. Например, надо передать букву *A*. В момент, когда на обоих колесах буква *A* располагалась внизу, на одном из аппаратов нажимали ключ и замыкали цепь тока. Якоря электромагнитов притягивались к сердечникам, а их противоположные концы прижимали к колесам обоих аппаратов бумажные ленты. На лентах одновременно отпечатывалась буква *A*. Для передачи любой другой буквы надо «поймать» момент, когда нужная буква будет находиться на колесах обоих аппаратов внизу, и нажать ключ.

Для своего аппарата Шиллинг разработал азбуку.

Аппараты Шиллинга работали на первой в мире телеграфной линии, построенной изобретателем в Петербурге в 1832 г. между Зимним дворцом и кабинетами некоторых министров.

В 1837 г. американец Самуил Морзе сконструировал телеграфный аппарат, записывающий сигналы. В 1844 г. была открыта первая телеграфная линия, оборудованная аппаратами Морзе (между Вашингтоном и Балтимором). Электромагнитный телеграф Морзе и разработанная им система записи сигналов в виде точек и тире получили широкое распространение (рис. 109). Однако аппарат Морзе имел серьезные недостатки: переданную телеграмму необходимо расшифровать, а затем записать; мала скорость передачи.

Первый в мире буквопечатающий телеграфный аппарат в 1850 г. изобрел русский ученый Борис Семенович

печатывающее (типовое) колесо,

которое вращалось с такой же скоростью, как и колесо другого

аппарата, установленного на соседней станции (рис. 110).

На ободах обоих колес были выгравированы буквы, цифры и

знаки, смачиваемые краской. Под колесами аппаратов рас-

полагали электромагниты, а между якорями электромагнитов

и колесами протягивали бумажные ленты. Например, когда на обоих колесах буква *A* располагалась внизу, на одном из аппаратов нажимали ключ и замыкали цепь тока. Якоря электромагнитов притягивались к сердечникам, а их противоположные концы прижимали к колесам обоих аппаратов бумажные ленты. На лентах одновременно отпечатывалась буква *A*. Для передачи любой другой буквы надо «поймать» момент, когда нужная буква будет находиться на колесах обоих аппаратов внизу, и нажать ключ.

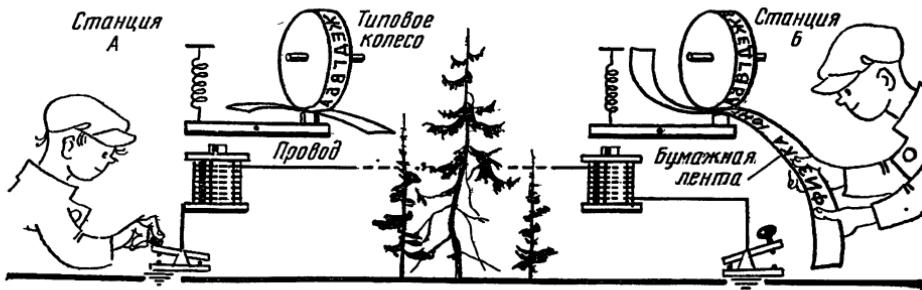


Рис. 110.

Какие необходимы условия для правильной передачи в аппарате Якоби? Первое — колеса должны вращаться с одинаковой скоростью; второе — на колесах обоих аппаратов одинаковые буквы должны занимать в любой момент одинаковые положения в пространстве. Этот принцип используется и в современных телеграфных аппаратах.

Над усовершенствованием телеграфной связи работали многие изобретатели. Есть телеграфные аппараты, которые передают и принимают десятки тысяч слов в час, но они очень сложны и громоздки. Большое распространение получили телетайпы — буквопечатающие телеграфные аппараты с клавиатурой, напоминающей пишущую машинку.

Телеграф продолжает развиваться в сочетании с другими средствами связи.

ТЕЛЕФОН

В середине XIX в. развитие промышленности и рост городов усложнили различные деловые связи. Потребовалось средство связи, обеспечивающее разговор на расстоянии.

В 1876 г. совершенно независимо друг от друга два американских изобретателя А. Белл и Э. Грей в один и тот же день с разницей во времени в два часа сделали заявку в Бюро патентов США на изобретенные ими телефонные аппараты. Изобретателем телефона считается А. Белл.

Первый изготовленный А. Беллом телефонный прибор представлял собой две одинаковые коробки, соединенные проводами. Собеседники поочередно подносили коробки то к уху, то ко рту. На дне коробки располагалась тонкая стальная пластинка, за которой помещался полюс магнита, окруженный проволочной спиралью. Если говорили в коробку, то звуковые волны, приводя в движение пластинку, изменяли магнитное поле, и в проволочной спирали возникал меняющийся по величине ток. На другом конце линии в приемнике

этот ток приводил в движение подобную же пластину, а она своими колебаниями воспроизводила звуки.

Телефон Белла передавал очень неясные звуки речи из одной комнаты в другую, но современникам это казалось чудом. Улучшая свой аппарат, Белл и Грей включили в цепь телефона источник тока. Тогда колебания пластины стали преобразовывать постоянный ток в пульсирующий. Качество передачи звука повысилось после того, как американский изобретатель Т. Эдисон создал первый практически действующий угольный микрофон.

Русский изобретатель П. М. Голубицкий в 1883 г. изобрел микрофон с угольным порошком, а в 1885 г. объединил микрофон и телефон в одну трубку. Голубицкий сделал ряд других изобретений в области телефонии.

В настоящее время телефонная сеть распространилась по стране очень широко. Телефонные станции, соединяющие телефонные линии абонентов, существуют ручного обслуживания (РТС) и автоматические (АТС). РТС обслуживает 100—2400 номеров телефонов, а АТС — десятки тысяч. На РТС соединения производятся с помощью устройства, называемого коммутатором; на АТС для этого служат искатели разных систем.

Рассмотрим принцип действия шаговых искателей. Когда вы набираете нужный вам номер, вы поворачиваете диск номеронабирателя телефонного аппарата. Под диском по окружности расположены десять контактов, которые при повороте диска на короткое время замыкаются. Например, набираемый вами номер начинается с цифры 5. Поворачивая диск от этой цифры, вы посыпаете 5 коротких импульсов тока по линии. На АТС они поступают в катушку электромагнита ЭМ, и он 5 раз то притянет, то отпустит якорь Я (рис. 111). Якорь связан с рычагом Р, который повернет зубчатое колесо, в

Рис. 111.

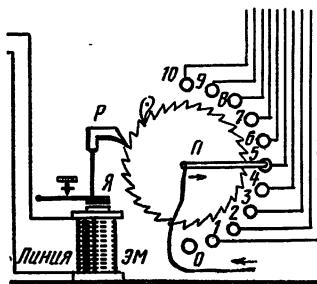
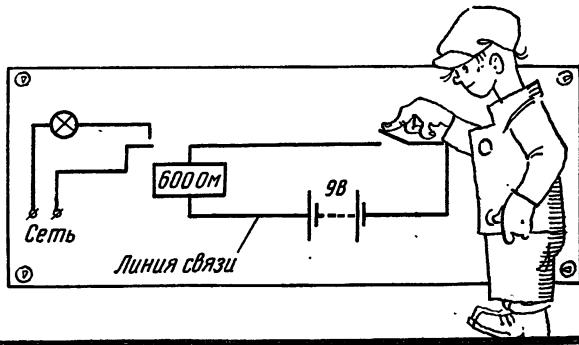


Рис. 112.



нашем случае на 5 зубцов (шагов). Тогда связанная с колесом планка Π замкнет цепь пятого контакта — одного из десяти, расположенных вокруг колеса. Таков принцип действия шагового искаателя. Практически его устройство много сложнее. Электромагнитные шаговые искаатели широко применяют в автоматике.

В нашей стране из года в год растет протяженность каналов телефонной связи и повышается уровень ее автоматизации. Все шире используются искусственные спутники Земли для телефонно-телеграфной связи с отдаленными районами страны.

ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЕ РЕЛЕ

Слово «реле» по-французски означает «перепряжка». Но откуда пошло такое название? Когда понадобилось передавать телеграфные сигналы на значительные расстояния, стало ясно, что при протяженной длине проводов, соединяющих станции, возрастет их сопротивление, а сила тока уменьшится так, что телеграфирование станет невозможным. Поэтому телеграфную линию разделили на участки, причем каждый имел свой источник тока. В конце такого участка ставили электромагнит, который при передаче телеграфного сигнала, притягивая якорь, включал цепь следующего участка. Такое устройство напоминало перепряжку уставших лошадей, и его называли электромагнитным реле.

Электромагнитное реле может служить усилителем сигналов. Поясним это на примере. На рисунке 112 изображена схема включения электрической лампочки с помощью реле. Замыкая контакт, подают напряжение 9 В от батареи на обмотку реле, сопротивление которой 600 Ом. Реле срабатывает и включает электрическую лампочку мощностью 100 Вт. На срабатывание реле расходуется в данном случае мощность $9 \cdot 9 : 600 = 0,13$ Вт. А какой мощностью управляет реле? В нашем примере — 100 Вт. Значит, реле усиливает сигнал управления почти в 800 раз! Если вместо лампочки включить второе реле с мощными контактами, то управлять можно значительно большей мощностью. Усиление такой схемы может достигать десятков тысяч раз. Подобные усилительные схемы применяют, например, в мощных электрических системах, на электростанциях.

Электромагнитное реле применяют не только для усиления, но и для разнообразных переключений в сложных цепях автоматики.

В электромагнитном реле контакты могут быть (рис. 113):
а — нормально разомкнутые — контакты разомкнуты, когда по обмотке реле ток не протекает, и замыкаются при появлении сигнала (такие контакты имеют пусковые реле);

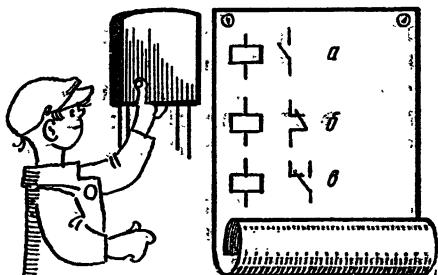


Рис. 113.

б — нормально замкнутые — замкнуты, если сила тока, проходящего через обмотку, равна нулю или недостаточна для срабатывания, и размыкаются, когда приходит управляющий сигнал или сила тока превышает норму (такие контакты имеют реле, выключающие ток при перегрузке);

в — перекидные — состоя-

щие из трех контактных пластинок, средняя соединяется то с одним, то с другим контактом в зависимости от наличия тока в обмотке реле (такие контакты имеют реле, используемые для разветвления электрических цепей).

Таким образом, выбор типа контакта зависит от задач, стоящих перед автоматом.

Электромагнитное реле — один из основных элементов многих автоматических устройств, а автоматизация производства — важнейшее направление технического прогресса.

МАГНИТЫ НА ЗАВОДЕ

На современном заводе найдется немало мест, где работают электромагниты или маленькие и сильные постоянные магниты из специальных сплавов.

На дворе завода, где свалены груды железного лома, работает электромагнитный подъемный кран. Когда включен ток в цепи электромагнита, кран поднимает многотонный железный груз и держит его лишь огромной силой магнитного притяжения. Но вот кран перенес свой груз через весь двор, в нужном месте опустил его, и в тот же миг, как выключают ток, груз падает. Электромагнитный кран поднимает груз только железный или состоящий из веществ, подобных железу по их магнитным свойствам. Этот кран поднимает железные предметы и тогда, когда они находятся в деревянных ящиках, так как магнитные силы действуют через различные немагнитные материалы. Однако прослойки из таких материалов очень ослабляют действие магнита. Ведь магнитные линии магнитного поля крана, идущие от одного полюса к другому, замыкаются через притягиваемый железный груз, поэтому электромагнитный кран поднимает 16 т сплошных стальных плит, а железной стружки всего 200 кг.

В горячих цехах хорошо было бы воспользоваться электромагнитным краном для переноски раскаленных болванок, но при высокой температуре магнитные свойства железа значительно снижаются. Уже при 200 °С подъемная сила электромагнитов резко уменьшается.

Рассмотрим устройство магнитного стола в цехе, где работают шлифовальные станки. Рабочий кладет стальную деталь на этот стол, и постоянные магниты или электромагниты, вмонтированные в плиту стола, с силой притягивают изделие и крепко держат его в течение всей обработки. Когда же шлифование закончилось, рабочий выключает ток и электромагниты отпускают готовое изделие. Но как быть, если в плиту вмонтированы постоянные магниты?

Магнитный стол имеет две плиты: верхнюю, в которой имеются немагнитные прокладки (*B*), и нижнюю (*B*'), в которую вмонтированы постоянные магниты или электромагниты (см. цвет. вклейку IV, 1—5). Во время работы (1, слева) благодаря немагнитным прокладкам магнитные линии замыкаются через стальное изделие *A*, и оно прижимается к верхней плите. Когда работа окончена (справа) нижнюю плиту с блоком магнитов смещают так, что магнитные линии замыкаются через верхнюю плиту, а не через изделие, и его легко снять. Плита с постоянными магнитами обеспечивает притяжение обрабатываемой детали к столу шлифовального станка с силой до 50 Н на 1 см² площади детали.

В магнитных конвейерах благодаря силе притяжения магнитов, установленных под лентой, детали могут идти вверх или вниз под очень большими углами, перемещаясь даже «по потолку». В ванне с водой (при контроле герметичности) консервные банки не всплывают, так как удерживаются магнитным притяжением.

Магнитное поле помогает правильно расположить стальные изделия, например гвозди при укладке. Сначала гвозди движутся в беспорядке, но, проходя между полюсами сильного электромагнита, они располагаются вдоль магнитных линий магнитного поля и стройными рядами ложатся в ящик.

Магнитные подшипники приближаются к тем идеальным подшипникам, без трения, о которых мечтают конструкторы. Кольцо малого диаметра, надетое на вал, входит с зазором в магнитную втулку, имеющую на внутренней стороне полярность, одинаковую с полярностью наружной поверхности кольца. Отталкиваемый со всех сторон, вал совсем не прикасается к опорам, а висит в них. Чтобы предотвратить выталкивание вала в осевом направлении, на его торцах устанавливают магнитные подпятники, отталкивающиеся от магнитных частей корпуса.

Важно обнаружить внутренний порок (дефект) в изделии — раковину или трещину. Способом магнитной дефектоскопии их удается увидеть сквозь толщу непрозрачного металла. Стальное изделие, например рельс, помещают в магнитное поле между двумя полюсами электромагнита. Через него проходят магнитные линии. В тех местах, где внутри металла находятся трещины или посторонние включения из немагнит-

ного материала, магнитные линии искривляются и, как бы обходя препятствия, сгущаются над дефектным местом. Чтобы обнаружить эти места, поверхность изделия посыпают порошком из размельченной железной руды. Частицы порошка в большем количестве налипают в тех местах, в которых сгостились магнитные линии, т. е. там, где внутри металла находятся опасные дефекты. Можно даже хорошо видеть, какую форму имеет раковина или трещина в изделии.

Как видим, «рабочие специальности» электромагнитов и постоянных магнитов очень разнообразны.

СВЕРХСИЛЬНЫЕ МАГНИТНЫЕ ПОЛЯ

Чтобы исследовать мельчайшие частицы — «кирпичики», из которых «построен» окружающий нас мир, нужны ускорители, способные сообщить частицам очень большую скорость, а следовательно, и энергию. С 1967 г. в г. Серпухове Московской области работает ускоритель протонов (синхротрон), у которого кольцевой электромагнит имеет диаметр 472 м. Почему такой большой? Электромагнит в ускорителе нужен для того, чтобы удерживать частицы на криволинейной траектории. Чем сильнее магнитное поле, тем меньше радиус окружности, по которой они могут лететь, имея большую скорость. Если бы магнитное поле серпуховского ускорителя удалось сделать сильнее в тысячу раз, то ускоритель можно было бы разместить в комнате, а стоил бы он гораздо дешевле. И не только в ускорителях нужны сильные электромагниты. Сверхсильные магнитные поля можно использовать при сварке и штамповке металлов, но сделать нужный для этого электромагнит сложно.

Как известно, магнитное поле катушки с током усиливается при увеличении силы тока, протекающего по ее виткам. В обмотках очень сильных электромагнитов она достигает десятков тысяч ампер. Велика сила тока — большое количество теплоты выделяется в обмотке магнита, и ее приходится охлаждать проточной водой. На любой провод с током, находящийся в магнитном поле, действует определенная сила, тем большая, чем больше сила тока в проводнике и чем сильнее магнитное поле, в котором он находится. Каждый виток обмотки нашего электромагнита находится в магнитном поле других витков, и на него действуют силы, которые стремятся увеличить радиус витка — растянуть его. Вспомним теперь, что по соседним виткам катушки текут токи в одном направлении, вследствие чего витки, взаимодействуя, будут притягиваться друг к другу. В итоге на катушку с током будут действовать силы, направление которых указано на рисун-

ке 114. Эти силы быстро растут с увеличением тока в витках и одновременным усилением магнитного поля катушки. Металл обмоток может не выдержать таких нагрузок и разрушиться.

Можно получить очень сильные магнитные поля на короткий срок. Ток большой силы пропускают через обмотку короткими импульсами, за время которых она не успевает нагреться до опасной температуры, а инерция спасает витки от разрушения. Таким способом академик Петр Леонидович Капица еще в 1924 г. получил очень сильное магнитное поле, но оно существовало всего тысячные доли секунды.

Для получения «долгоживущих» сильных магнитных полей описанный способ не подходит. Ученые достигают этого другими методами.

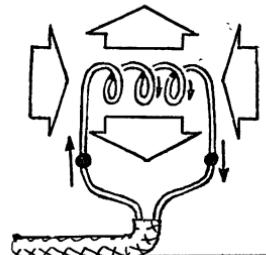


Рис. 114.

О ЗЕМНОМ МАГНЕТИЗМЕ И ЕГО ИЗУЧЕНИИ

Издавна пытливый ум человека привлекала таинственная сила природы, заставляющая магнитную стрелку упрямо возвращаться к направлению примерно на север — юг. Древняя летопись повествует, что более 4000 лет назад в Китае использовалась повозка, на которой, поворачиваясь на оси, стояла магнитная фигурка человека, показывающего рукой на юг. В китайской энциклопедии находят и первое упоминание об использовании магнитной стрелки на кораблях в 262—419 гг. н. э. Позже ее стали применять индийцы, арабы, греки, помещая магнит на плавающий в воде тростник.

В начале XIV в. итальянец Флавий Джойя ввел в употребление компас с картушкой (шкалой). Она была связана с магнитом и разделена на 32 части (румбы). В таком виде без значительных изменений компас сохранился и до наших дней. Слово «компас», по-видимому, происходит от старинного английского слова *compas*, означавшего в XIII—XIV вв. «круг». В морских путешествиях компас играл чрезвычайно важную роль, позволяя определять курс корабля в открытом море.

Угол, на который отклоняется магнитная стрелка от направления север — юг, называют магнитным склонением (угол D на рис. 115). Христофор Колумб открыл, что магнитное склонение не остается постоянным, а претерпевает изменения с изменением географических координат. Открытие Колумба послужило толчком к новому изучению магнитного поля Земли: сведения о нем были нужны мореплавателям.

В 1544 г. немец Г. Гартман открыл магнитное наклонение. Магнитным наклонением называют угол, на который стрелка

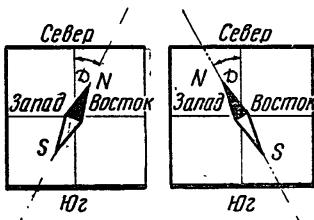


Рис. 115.

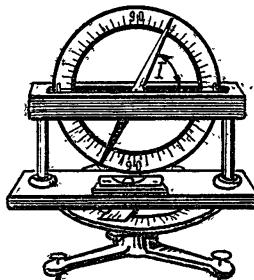


Рис. 116.

под действием магнитного поля Земли отклоняется от горизонтальной плоскости вниз или вверх (угол I на рис. 116). В северном полушарии северный конец стрелки отклоняется вниз.

Англичанин В. Гильберт в книге «О магните», вышедшей в 1600 г., описал опыт с шаром из магнитной руды и маленькой железной стрелкой. Гильберт пришел к заключению, что Земля представляет собой большой магнит, тогда как долгое время люди были убеждены, что магнитная стрелка испытывает притяжение со стороны Полярной звезды. В XVII в. был сделан вывод, что магнитное поле Земли претерпевает заметные изменения со временем. Происходит постепенное изменение магнитного поля (вековой ход) и суточное его изменение. Магнитная стрелка находится в непрерывном движении. В XVIII—XIX вв. количество магнитных наблюдений на земном шаре все более увеличивалось.

Гениальный русский ученый М. В. Ломоносов в 1759 г. в докладе «Рассуждение о большой точности морского пути» дал ценные советы, позволяющие увеличить точность показаний компаса. Для изучения земного магнетизма М. В. Ломоносов рекомендовал организовать сеть постоянных пунктов (обсерваторий), в которых производить систематические магнитные наблюдения; такие наблюдения необходимо широко проводить и на море. Мысль Ломоносова об организации магнитных обсерваторий была осуществлена лишь спустя 60 лет, причем именно Россия была и остается в этой области ведущей страной.

В 1785 г. вышли в свет работы французского физика Ш. Кулона, послужившие началом полного измерения магнитного поля Земли, т. е. определения не только его направления, но и численного значения его силы. Такие измерения начали производить многие путешественники и мореплаватели.

В 1831 г. английским полярным исследователем Джоном Россом в Канадском архипелаге был открыт магнитный

полюс — область, где магнитная стрелка занимает вертикальное положение, т. е. наклонение равно 90° . В 1841 г. Джемс Росс (племянник Джона Росса) достиг района другого магнитного полюса Земли, находящегося в Антарктиде.

Магнитные измерения в океанах на немагнитных судах начались в XX в. На советской шхуне «Заря» они проводились с 1956 г. более двух десятилетий. Все материалы и предметы корабельного хозяйства на этой шхуне были изготовлены из дерева и немагнитных сплавов, а влияние магнитных полей моторов и другого оборудования строго учитывалось.

В настоящее время весь земной шар покрыт сетью пунктов, где производят магнитные измерения. Сотни крупных магнитных обсерваторий регистрируют магнитное поле Земли постоянно. Найти место для строительства такой обсерватории нелегко, так как она должна быть удалена от всех промышленных магнитных помех, линий электропередач и токов в грунте. Само здание и его оборудование выполняют из немагнитных материалов (дерево, латунь, дюраль).

Измерения (вариации) магнитного поля Земли магнитологи изучают с помощью высокочувствительных приборов — вариометров. Главная деталь вариометра — маленький магнитик в виде стрелки, снабженный зеркальцем. Магнитик подвешен на тонкой кварцевой нити. На зеркальце направляют луч света, который отражается от него и падает на чувствительную фотобумагу, намотанную на вращающийся барабан. Благодаря такому устройству малейшее колебание магнитика изображается на фотобумаге в виде кривой — магнитограммы.

В «спокойный» день магнитограмма — почти прямая линия (слегка волнообразная). Но иногда магнитограммы имеют весьма сложный пикообразный вид — протекает магнитная буря. В настоящее время для магнитных измерений стали применять сложные электронные приборы очень высокой чувствительности.

Магнитологам нередко приходится работать в трудных походных условиях: на дрейфующих льдинах, у вулканов и т. д. Доступность, скорость и точность магнитной съемки значительно увеличились после того, как в 1934 г. впервые в мире советский географ А. А. Логачев сконструировал прибор, позволяющий измерять магнитное поле Земли с самолета. Катушка аэромагнитометра быстро вращается в магнитном поле Земли и в ней возникает электрический ток. Сила этого тока изменяется пропорционально изменению магнитного поля Земли.

Позже был сконструирован более совершенный аэромагнитометр. Его датчик помещают в немагнитную оболочку и буксируют на тросе длиной 50 м. На таком расстоянии магнитное поле, создаваемое самолетом, практически равно нулю.

Остальные части прибора и его питание находятся на самолете. На медленно движущейся ленте вычерчиваются плавные, почти прямые линии, когда самолет летит в районе спокойного магнитного поля. Но когда он попадает в область большого изменения магнитного поля, т. е. в область магнитных аномалий, на ленте вычерчиваются неровные пикообразные кривые. На основании данных магнитных съемок изготавливают магнитные карты — карты магнитного склонения, магнитного наклонения и других элементов магнитного поля. Магнитные карты широко применяют прежде всего в морской и воздушной навигации и при разведке земных недр.

Сильные магнитные аномалии создаются железорудными породами, поэтому способ разведки, основанный на магнитных измерениях (магниторазведка), является главным при поисках железных руд.

Некоторые вещества, например медь, золото, каменная соль и др., под действием магнитного поля намагничиваются в направлении обратном этому полю. Залежи таких веществ вызывают ослабление магнитного поля Земли, т. е. отрицательные магнитные аномалии. Поэтому магниторазведку с успехом используют при поисках многих полезных ископаемых.

В нашей стране бурное развитие исследований земного магнетизма началось после Великой Октябрьской социалистической революции. По инициативе В. И. Ленина в 1918 г. было начато широкое исследование Курской магнитной аномалии (КМА). Особая комиссия под руководством академика П. П. Лазарева и геолога И. М. Губкина несколько лет изучала КМА. Эта аномалия была обнаружена в 1784 г. академиком П. Б. Иноходцевым, а с 1896 г. в течение 14 лет ее исследовал Э. Е. Лейст. Он же первый утверждал, что причиной КМА является железная руда, залегающая неглубоко в земле. Но только в 1923 г. был поднят на поверхность первый образец (керн) курской руды. В настоящее время эта руда добывается открытым способом. При сплошной аэромагнитной съемке СССР были обнаружены железорудные месторождения в Саянах, Казахстане и др.

Генеральная магнитная съемка страны проводится с 1931 г. В настоящее время число магнитных пунктов измеряется десятками тысяч.

Большие успехи в изучении земного магнетизма были достигнуты в 1957—1958 гг. в Международный геофизический год (МГГ). Усилия ученых многих стран были направлены на изучение физических процессов на всей Земле.

Начиная с XVII в. и особенно в XX в. было высказано много гипотез для объяснения природы земного магнетизма, но ни одна не может считаться завершенной. По-видимому, можно допустить, что часть магнитного поля Земли (пример-

но 30 %) создается за счет намагничивания соединений железа, содержащихся в земной коре и оболочке (мантии), а часть создается электрическими токами в металлическом ядре Земли.

Ученым удалось установить причину суточных изменений (вариаций) магнитного поля Земли и магнитных бурь. Изучая намагниченность образцов пород, слагающих земную кору, ученые пришли к выводу, что около 570 млн. лет назад магнитные полюса Земли были расположены в районе экватора. На рисунке 117 показано смещение магнитного полюса в северном полушарии Земли.

Выход человека в космос открыл новые возможности для изучения магнитного поля Земли и космического пространства. Магнитные съемки с искусственных спутников Земли позволяют изучить характер и вариации магнитного поля планеты, выявить крупные аномалии. Магнитные измерения с помощью советских и американских космических ракет установили границу, где кончается магнитное поле Земли и начинается магнитное поле космического пространства. Эта граница находится на расстоянии 150—200 тыс. км.

ПОЧЕМУ КОЛЕБЛЯТСЯ МАГНИТНАЯ СТРЕЛКА?

Если внимательно смотреть в течение некоторого времени на чувствительную магнитную стрелку, легко обнаружить, что она не остается неподвижной, а непрерывно отклоняется в ту или другую сторону. Наибольшего отклонения к востоку стрелка достигает около 8 ч утра, а к западу — днем, затем стрелка возвращается в начальное положение. Такие колебания стрелки, обычно с наибольшим отклонением в 15—20°, совершаются изо дня в день. Их называют суточными вариациями магнитного поля Земли.

Суточные вариации магнитного поля Земли обусловлены действием излучения Солнца. Часть солнечного излучения носит название ультрафиолетового. Проникая в верхние слои атмосферы, ультрафиолетовое излучение ионизирует ее.



Рис. 117.

В результате этого на высоте 100 км (и выше) от Земли образуется электропроводящий слой — ионосфера. Под влиянием Солнца и Луны в ней возникают приливные движения, аналогичные тем, какие имеют место в океанах и морях. Так как в проводниках, движущихся в магнитном поле, возникают электрические токи, то под действием геомагнитного поля они возбуждаются в ионосфере. В свою очередь электрические токи сопровождаются магнитным полем. Магнитное поле электрических токов в ионосфере заставляет магнитную стрелку на Земле испытывать непрерывные колебания.

Суточные вариации магнитного поля Земли зависят от географической широты и от времени года, поскольку они определяются положением Солнца в данной точке на Земле. Суточные вариации зимой в среднем в четыре раза меньше по значению, чем летом.

Колебания геомагнитного поля зависят от состояния ионосферы и от излучения Солнца. Изучая эти колебания, можно получить сведения о процессах, происходящих на Солнце, а также о состоянии ионосферы, что весьма существенно для радиосвязи.

Не всегда магнитная стрелка ведет себя спокойно, совершая плавные небольшие колебания. В некоторые дни она начинает «волноваться»: резко и внезапно вздрогнет, на некоторое время замрет, а затем начинает метаться из стороны в сторону. Колебания стрелки достигают нескольких градусов. И так на несколько часов, а то и на несколько дней! Магнитологи такие дни называют возмущенными или бурными.

Магнитные бури причиняют серьезный вред: они оказывают сильное влияние на радиосвязь, на линии электросвязи. Так, во время сильной магнитной бури 11 февраля 1958 г. во многих местах Земли отмечалось прекращение радиосвязи.

Происхождение магнитных бурь объясняется следующим образом. Поверхность Солнца иногда покрывается темными пятнами. Они появляются во время гигантских вспышек (взрывов) на Солнце, при которых оно испускает мощные потоки протонов и электронов. Их скорость достигает 1000—2000 км/с. Частицы, выброшенные Солнцем, достигают Земли через одни или двое суток. Под действием земного магнитного поля поток заряженных частиц «сортируется»: протоны отклоняются в одну сторону, электроны — в другую. Вокруг Земли образуется гигантский круговой электрический ток радиусом 20—25 тыс. км. Магнитное поле этого тока в основном и создает магнитную бурю, охватывающую одновременно весь земной шар. Космические частицы усиливают ионизацию атмосферы. В ней возникают сильные, сравнительно кратковременные электрические токи, которые обнаруживаются на Земле в виде магнитных возмущений. Вследствие изменения магнитного поля токов в атмосфере в недрах земного

шара индуцируются токи. Их магнитное поле тоже накладывается на магнитное поле бури. Ученые научились прогнозировать вероятность появления магнитных бурь на Земле. Учреждения, осуществляющие радиосвязь, получают регулярную информацию о состоянии магнитного поля Земли и ионосферы.

Количество сильных мировых магнитных бурь в течение года невелико; оно колеблется от нескольких бурь до 30—40 бурь в годы, когда на Солнце происходят сильные взрывы. Умеренные магнитные бури бывают часто. У магнитных полюсов, где магнитное поле Земли имеет наибольшее значение, спокойные магнитные дни наблюдаются редко.

ПЕРВЫЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ДВИГАТЕЛИ

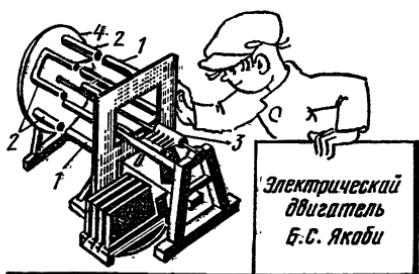
М. Фарадей, создав в 1821 г. установку для наблюдения магнитного вращения, впервые добился преобразования электрической энергии в механическую работу.

Изобретатели стремились создать электродвигатель для производственных нужд. Они пытались заставить железный сердечник двигаться в поле электромагнита возвратно-поступательно, т. е. так, как движется поршень в цилиндре паровой машины. Такие попытки успеха не имели.

Русский ученый Б. С. Якоби пошел иным путем. В 1834 г. он создал первый в мире практически пригодный электродвигатель с вращающимся якорем и опубликовал теоретическую работу «О применении электромагнетизма для приведения в движение машины». Б. С. Якоби писал, что его двигатель несложен и «дает непосредственно круговое движение, которое гораздо легче преобразовать в другие виды движения, чем возвратно-поступательное».

Вращательное движение якоря в двигателе Якоби происходило вследствие попеременного притяжения и отталкивания электромагнитов. Неподвижная группа U-образных электромагнитов 1 питалась током непосредственно от гальванической батареи, причем направление тока в этих электромагнитах оставалось неизменным (рис. 118). Подвижная группа электромагнитов 2 была подключена к батарее через коммутатор 3, с помощью которого направление тока в каждом электромагните изменялось 8 раз за один оборот диска 4. Полярность электромагнитов при этом соответственно изменя-

Рис. 118.



лась, а каждый из подвижных электромагнитов попеременно притягивался и отталкивался соответствующим неподвижным электромагнитом: вал двигателя начинал вращаться. Мощность такого двигателя составляла всего 15 Вт. Впоследствии Якоби довел мощность электродвигателя до 550 Вт. Этот двигатель был установлен сначала на лодке, а позже на железнодорожной платформе.

13 сентября 1838 г. лодка с 12 пассажирами поплыла по Неве против течения со скоростью около 3 км/ч. Лодка была снабжена колесами с лопастями. Колеса приводились во вращение электрическим двигателем, который получал ток от батареи из 320 гальванических элементов. Так впервые электрический двигатель появился на судне.

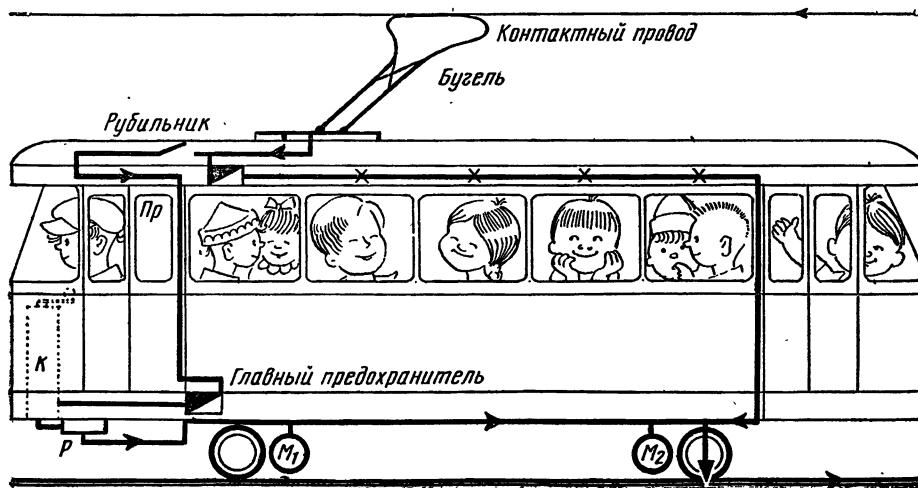
Комиссия, наблюдавшая за лодкой, одобрила работу двигателя, но сделала справедливый вывод, что для успешного использования электрических двигателей нужен генератор дешевого электрического тока.

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ТРАНСПОРТ

Во второй половине XIX в. в крупных городах многих стран мира работали конно-железные дороги — конки. Две лошади катили по рельсам маленький вагончик, в котором сидело 15—20 человек. Скорость конки была невелика.

На смену конке пришел трамвай. В вагончик поставили электрический двигатель постоянного тока (рис. 119). Над осью рельсового пути подвесили медный контактный провод. Для съема тока с контактного провода служила стальная ду-

Рис. 119.



га (бугель) с закрепленной сверху медной лыжей, скользившей по проводу. Ток шел от контактного провода по бугелю и предохранителю к контроллеру К — аппарату, которым управлял вагоновожатый, далее поступал в реостаты и электродвигатели, а затем через колеса в рельсы и по ним к электростанции. С помощью контроллера вагоновожатый включал и выключал ток, изменения силу тока или его направление в якоре.

В России первый трамвай появился весной 1892 г. в Киеве. Трамвайное хозяйство росло и совершенствовалось. Современный трамвай развивает скорость до 65 км/ч. Мощность его электродвигателя достигла 45—50 кВт, а суммарная мощность трамвая — 100—180 кВт. Управление вагоном автоматизировали, а сами вагоны стали просторнее и удобнее.

Мало этого. Трамвай «сошел с рельсов» и стал троллейбусом. Впервые троллейбусное движение открылось в Москве в 1933 г. Сегодня троллейбусы, как и трамваи, работают более чем в ста городах страны. Подобно трамваю, троллейбус получает питание от подвесной контактной сети. Сеть эта двухпроводная, потому что у троллейбусов нет рельсов; по второму проводу электрический ток отводится к тяговой подстанции. Затраты на сооружение троллейбусных линий много меньше, чем трамвайных.

Прямой родственник трамвая и подземный поезд — метро. Метрополитен в нашей стране работает в Москве (с 1935 г.), Ленинграде, Киеве, Тбилиси, Баку, Харькове, Ташкенте.

Метро сегодня самый совершенный вид городского транспорта; поезда не задерживаются на перекрестках и следуют друг за другом через 1,5—2 мин; они развиваются скорость до 90 км/ч, но прокладка линий метрополитена обходится дорого.

Электровоз моложе трамвая всего на несколько лет, но он не сразу занял важное место в междугороднем транспорте, так как имел соперников. Сначала это был работяга паровоз, а затем красавец тепловоз. Электрификация железных дорог — дело сложное.

В чем же секрет успеха электровоза? У него очень высокий коэффициент полезного действия. У паровоза КПД всего 7%; у дизеля, установленного на тепловозе, — 20—25%, а КПД тепловых электростанций, питающих электровоз, достигает 32—35%. Еще выгоднее использовать электроэнергию,рабатываемую гидроэлектростанциями. Электровозу не нужно тратить время на заправку топливом и водой. Мощность современных электровозов очень высока — 4200—6500 кВт. Электровоз имеет плавный ход и меньше изнашивает железнодорожный путь. Наконец, электровоз не только потребляет электроэнергию, но и... вырабатывает ее: при торможении электродвигатель работает как электрогенератор и отдает

энергию в сеть. Например, электровоз ВЛ-80Р при торможении перед остановкой возвращает в сеть до 14% электроэнергии, расходуемой на тягу поезда. Этот отечественный электровоз — один из самых мощных в мире; его мощность 6520 кВт.

По решению XXV съезда КПСС осваивается производство грузовых магистральных электровозов мощностью свыше 7400 кВт. СССР располагает самым большим в мире парком магистральных электровозов. Электрифицированные железные дороги выполняют более 50% грузооборота. По темпам развития и размаху внедрения на железных дорогах электрической тяги наша страна занимает первое место в мире.

Но вернемся снова к городскому электротранспорту. Еще в начале ХХ в. в некоторых странах на улицах городов встречались экипажи, похожие на автомобили, но движимые электромотором. Теперь их называют электромобилями. Они были оборудованы электродвигателями и батареей свинцовых аккумуляторов. Батареи вырабатывали мало энергии на единицу массы, поэтому дальность пробега электромобиля от одной зарядки до другой составляла всего 20—30 км, а электроэнергия для зарядки аккумуляторов в те времена стоила дорого. Скоро электромобили исчезли. Но даже первые электромобили во многом были лучше автомобилей: им не нужно дефицитное топливо (бензин), они не загрязняют воздух ядовитыми выхлопными газами; конструкция их проще, так как им не нужны коробка передач, радиатор и некоторые другие узлы автомобиля.

В наши дни эти достоинства электромобиля по сравнению с автомобилем стали очень важны. Выпуск электромобилей начинает возрастать во многих странах. Один из отечественных электромобилей снабжен серебряно-цинковыми аккумуляторами. Он развивает скорость до 60 км/ч, а дальность его пробега 210 км. Опытные электромобили уже развозят грузы по улицам Москвы. На Олимпиаде-80 судьи будут сопровождать бегунов-марафонцев на электромобилях.

ОТКРЫТИЕ ЯВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ ИНДУКЦИИ

В 1820 г. Ганс Христиан Эрстед показал, что протекающий по цепи электрический ток вызывает отклонение магнитной стрелки. Если электрический ток порождает магнетизм, то с магнетизмом должно быть связано появление электрического тока. Эта мысль захватила английского ученого М. Фарадея. «Превратить магнетизм в электричество», — записал он в 1822 г. в своем дневнике. Многие годы настойчиво ставил он различные опыты, но безуспешно, и только 29 августа 1831 г. наступил триумф: он открыл явление электромагнитной индукции.

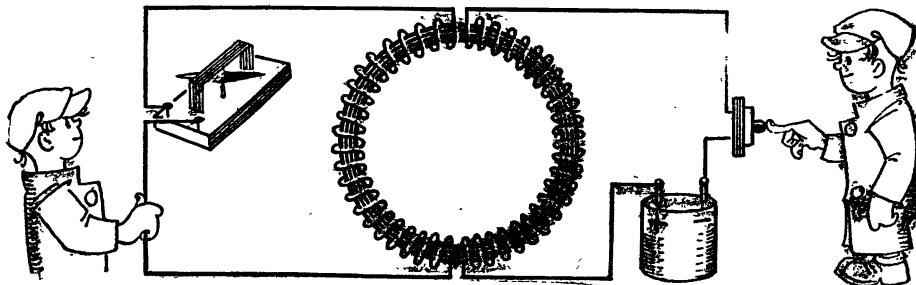
Сейчас нам неизмеримо легче производить опыты по электромагнитной индукции, чем Фарадею. В нашем распоряжении есть готовые катушки, гальванометры и магниты. В распоряжении Фарадея не было даже изолированного проводника, он изолировал витки катушки, прокладывая между ними шелковый шнурок. Гальванометр Фарадей изготовил сам, и этот прибор не реагировал на слабые токи. Но все же главная трудность заключалась не в опытах.

Во времена Фарадея было известно, что постоянный электрический ток порождал постоянное магнитное поле в пространстве вокруг цепи, по которой он протекал. Естественно было предположить, что, поместив проволоку вблизи постоянного магнита, можно получить постоянный электрический ток. Однако все попытки получить ток подобным образом терпели неудачу. Сейчас нам ясно, что ожидавшеесяявление электрического тока несовместимо с законом сохранения энергии: откуда бралась бы энергия, за счет которой поддерживается ток?

Важнейший закон, который удалось открыть М. Фарадею, состоял в том, что магнитное поле должно быть движущимся, или меняющимся по значению, чтобы возникал электрический ток в цепи, расположенной в этом поле.

Расскажем об эксперименте М. Фарадея по «превращению магнетизма в электричество», который увенчался успехом. Фарадей изготовил кольцо из мягкого железа примерно 2 см шириной и 15 см диаметром и намотал много витков медной проволоки на каждой половине кольца (рис. 120). Цепь одной обмотки замыкала проволока, в ее витках находилась магнитная стрелка, удаленная настолько, чтобы не сказывалось действие магнетизма, созданного в кольце. Через вторую обмотку пропускался ток от батареи гальванических элементов. При включении тока магнитная стрелка совершила несколько колебаний и успокаивалась; когда ток прерывали, стрелка снова колебалась. Выяснилось, что стрелка отклонялась в одну сторону при включении тока и в другую,

Рис. 120.



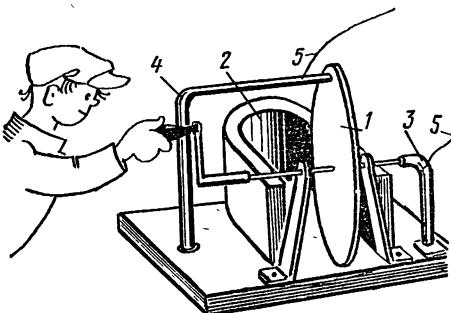


Рис. 121.

электромагнитной индукции. То, что два ученых независимо друг от друга пришли к одному и тому же результату, не удивительно.

М. Фарадей стремился использовать открытые им явления, чтобы получить новый источник электричества. На рисунке 121 изображена созданная им установка, впоследствии названная дисковым Фарадея. Между полюсами сильного магнита 2 вращался медный диск 1. Были установлены скользящие контакты с осью 3 и с краем диска 4. Провода 5 от этих контактов шли к гальванометру. При хорошем постоянном контакте и равномерном вращении диска гальванометр показывал постоянное отклонение.

Диск Фарадея, вращающийся между полюсами магнита, представлял собой модель первой динамо-машины.

ПЕРВЫЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ ГЕНЕРАТОРЫ ТОКА

Русский ученый Э. Х. Ленц еще в 1833 г. указал на обратимость электрических машин: одна и та же машина может работать как электродвигатель, если ее питать током, и может служить генератором электрического тока, если ее ротор привести во вращение каким-либо двигателем, например паровой машиной. В 1838 г. Ленц, один из членов комиссии по испытанию действия электрического мотора Якоби, на опыте доказал обратимость электрической машины.

Диск Фарадея (см. рис. 121) был первой такой машиной. При вращении медного диска в нем возникал ток. При пропускании через него тока диск вращался. Но надо было создать генератор тока и электродвигатель, пригодные для использования в промышленности.

Первый генератор электрического тока, основанный на явлении электромагнитной индукции, был построен в 1832 г. парижскими техниками братьями Пиксии. Этим генератором

когда ток прерывался. М. Фарадей установил, что «превращать магнетизм в электричество» можно и с помощью обыкновенного магнита.

Американский физик Джозеф Генри тоже успешно проводил опыты по индукции токов. Но пока Д. Генри собирался опубликовать результаты своих опытов, в печати появилось сообщение М. Фарадея об открытии им

трудно было пользоваться, так как приходилось вращать тяжелый постоянный магнит, чтобы в двух проволочных катушках, укрепленных неподвижно вблизи его полюсов, возникал переменный электрический ток. Генератор был снабжен устройством для выпрямления тока.

Стремясь повысить мощность электрических машин, изобретатели увеличивали число магнитов и катушек. Одной из таких машин, построенной в 1843 г., был генератор Эмиля Штерера (рис. 122). У этой машины было три сильных неподвижных магнита и шесть катушек, вращавшихся от руки вокруг вертикальной оси. Таким образом, на первом этапе развития электромагнитных генераторов тока (до 1851 г.) для получения магнитного поля применяли постоянные магниты.

На втором этапе (1851—1867 гг.) создавались генераторы, у которых для увеличения мощности постоянные магниты были заменены электромагнитами. Их обмотка питалась током от самостоятельного небольшого генератора тока с постоянными магнитами. Одна из таких машин, изобретенная англичанином Генри Уальдом в 1863 г., изображена на рисунке 123, где 1 — постоянные магниты; 2 — электромагниты.

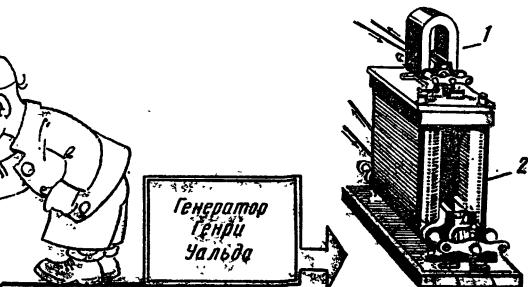
При работе машин такого типа выяснилось, что они, снабжая электроэнергией потребителя, могут одновременно питать током и собственные электромагниты. Оказалось, что сердечники электромагнитов сохраняют остаточный магнетизм после выключения тока. Благодаря этому генератор с самовозбуждением дает ток и тогда, когда его запускают из состояния покоя. В 1866—1867 гг. ряд изобретателей получили патенты на машины с самовозбуждением. Так начался третий этап развития электромагнитных генераторов.

В 1870 г. бельгиец Зеноб Грамм, работавший во Франции, создал генератор, получивший широкое применение в промышленности. В своей динамо-машине он использовал принцип самовозбуждения и усовершенствовал кольцевой якорь, изобретенный еще в 1860 г. А. Пачинотти.

Рис. 122.



Рис. 123.



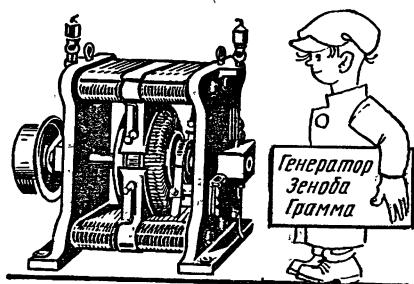


Рис. 124.

ческих щеток, скользивших по поверхности коллектора. Нетрудно видеть, что конструкция динамо-машин Грамма дошла до наших дней с очень небольшими изменениями.

На Венской международной выставке в 1873 г. демонстрировались две одинаковые машины Грамма, соединенные проводами длиной 1 км. Одна из машин приводилась в движение от двигателя внутреннего горения и служила генератором электрической энергии. Вторая машина получала электрическую энергию по проводам от первой и, работая как двигатель, приводила в движение насос. Это была эффектная демонстрация обратимости электрических машин, открытой Ленцем, и демонстрация принципа передачи энергии на расстояние. Однако практическое решение этой проблемы потребовало в дальнейшем многих усилий.

ЭЛЕКТРИФИКАЦИЯ

Электрическая энергия имеет два замечательных свойства: может быть передана по проводам и может легко преобразовываться в другие виды энергии. Вот почему электрическая энергия — самый удобный для использования вид энергии. Выработку электрической энергии, ее передачу, распределение и использование называют электрификацией. Электрификация имеет громадное значение в развитии народного хозяйства.

В наследство от царской России Советская страна получила несколько сотен мелких городских электростанций общей мощностью всего 1,1 млн. кВт, что меньше мощности только одной крупной современной электростанции. На душу населения приходилось в 20 раз меньше электроэнергии, чем в США, а в целом по выработке электроэнергии Россия стояла на 15-м месте.

...22 декабря 1920 г. в Москве в нетопленном полуутемном Большом театре открылся VIII Всероссийский съезд Советов. С трибуны съезда прозвучали ставшие лозунгом нашей жизни

В одной из первых машин Грамма кольцевой якорь, укрепленный на горизонтальном валу, вращался между полюсными наконечниками двух электромагнитов (рис. 124). Якорь приводился во вращение через приводной шкив, обмотки электромагнитов были включены последовательно с обмоткой якоря. Генератор Грамма давал постоянный ток, который отводился с помощью металлических щеток, скользивших по поверхности коллектора. Нетрудно видеть, что конструкция динамо-машин Грамма дошла до наших дней с очень небольшими изменениями.

На Венской международной выставке в 1873 г. демонстрировались две одинаковые машины Грамма, соединенные проводами длиной 1 км. Одна из машин приводилась в движение от двигателя внутреннего горения и служила генератором электрической энергии. Вторая машина получала электрическую энергию по проводам от первой и, работая как двигатель, приводила в движение насос. Это была эффектная демонстрация обратимости электрических машин, открытой Ленцем, и демонстрация принципа передачи энергии на расстояние. Однако практическое решение этой проблемы потребовало в дальнейшем многих усилий.

ЭЛЕКТРИФИКАЦИЯ

Электрическая энергия имеет два замечательных свойства: может быть передана по проводам и может легко преобразовываться в другие виды энергии. Вот почему электрическая энергия — самый удобный для использования вид энергии. Выработку электрической энергии, ее передачу, распределение и использование называют электрификацией. Электрификация имеет громадное значение в развитии народного хозяйства.

В наследство от царской России Советская страна получила несколько сотен мелких городских электростанций общей мощностью всего 1,1 млн. кВт, что меньше мощности только одной крупной современной электростанции. На душу населения приходилось в 20 раз меньше электроэнергии, чем в США, а в целом по выработке электроэнергии Россия стояла на 15-м месте.

...22 декабря 1920 г. в Москве в нетопленном полуутемном Большом театре открылся VIII Всероссийский съезд Советов. С трибуны съезда прозвучали ставшие лозунгом нашей жизни

мудрые ленинские слова: «Коммунизм — это есть Советская власть плюс электрификация всей страны»¹.

VIII Всероссийский съезд Советов одобрил Государственный план электрификации России — план ГОЭЛРО. План ГОЭЛРО по инициативе и под руководством В. И. Ленина был разработан передовыми советскими учеными и инженерами.

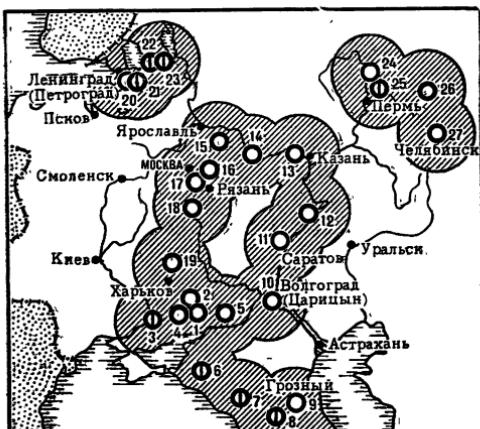
Карта строительства электростанций по плану ГОЭЛРО изображена на рисунке 125 (без трех станций, запроектированных в азиатской части России). Круги характеризуют радиус распространения электроэнергии. Один круг находит на другой — создается единое энергетическое кольцо, охватывающее основные районы Советской страны. Намечалось построить 30 крупных районных электростанций общей мощностью 1750 тыс. кВт, в том числе 10 гидроэлектростанций мощностью 640 тыс. кВт (эти станции обозначены кружком с черточкой).

Враги молодой Советской республики насмеялись над планом ГОЭЛРО, считая его несбыточным. Не понял его и известный английский писатель Герберт Уэллс, автор романа о науке и технике будущего. Он назвал этот план утопией, а В. И. Ленина — «кремлевским мечтателем».

Но план ГОЭЛРО был не фантазией, а смелым научным предвидением. В тяжелые годы гражданской войны, в годы интервенции, в условиях разрухи, вызванной империалистической войной, страна, руководимая Коммунистической партией, преодолела все трудности, и в 1931 г. план ГОЭЛРО был выполнен. Мощность электростанций выросла с 1,1 до 3,97 млн. кВт (почти в 4 раза). За 20 предвоенных лет общая мощность электростанций увеличилась примерно в 10 раз.

Во время Великой Отечественной войны фашистские захватчики разрушили свыше 60 крупных электростанций, уничтожили почти половину всех линий электропередач. По общей мощности электростанций Советский Союз был отброшен к уровню 1933 г. Но и в этот трудный для страны период на востоке страны не прекращалось

Рис. 125.



¹ Ленин В. И. Полн. собр. соч., т. 42, с. 159.

энергетическое строительство. Уже в 1945 г. электрическая мощь страны достигла довоенного уровня.

После победы над гитлеровской Германией темпы развития электроэнергетики Советского Союза стали еще более высокими. По производству электроэнергии СССР прочно завоевал первое место в Европе и второе место в мире.

В наши дни электроэнергетика СССР продолжает развиваться очень быстро. По плану развития народного хозяйства на 1976—1980 гг., разработанному Директивами XXV съезда КПСС, предусмотрено довести выработку электроэнергии до 1340—1380 млрд. кВт·ч в год, ввести в действие на электростанциях мощности 67—70 млн. кВт.

Строительство и эксплуатация одной крупной электростанции обходится дешевле, чем нескольких электростанций той же общей мощности. Поэтому в плане на 1976—1980 гг. отдано предпочтение строительству электростанций-гигантов: тепловых мощностью 4—6 млн. кВт, атомных электростанций мощностью 4—8 млн. кВт и крупных гидроэлектростанций. Так, Саяно-Шушенская ГЭС с ее проектной мощностью 6,5 млн. кВт будет самой гигантской ГЭС планеты. Единичная мощность генераторов электрического тока тоже возрастет. Уже осваивается производство генераторов мощностью 1200 МВт для тепловых и атомных электростанций и 640 МВт для гидроэлектростанций.

Известно, что 80 % запасов топлива и гидроэнергии сосредоточено в азиатской части нашей страны. Поэтому именно там строятся крупные ГЭС и тепловые электростанции. Например, будут возведены электростанции-исполины в районе Экибастузских (в Казахстане) и Канско-Ачинских (в Красноярском крае) залежей углей.

Мощные АЭС особенно выгодно строить в европейской части страны, так как здесь сосредоточено более трех четвертей потребителей энергии, но всего 20 % запасов топлива и гидроэнергетических ресурсов. Работа атомных электростанций связана с потреблением очень небольшого количества ядерного топлива, поэтому в стоимости вырабатываемой ими энергии практически нет транспортных расходов. АЭС не заражают окружающую среду радиоактивными веществами и в отличие от тепловых электростанций не загрязняют атмосферу, не обедняют ее кислородом. Электроэнергия, вырабатываемая на крупных АЭС, обходится дешево.

Наилучшее условие работы электростанции — постоянство выработки электроэнергии в единицу времени. Но тогда и потребление энергии должно быть неизменным, а потребитель не желает с этим считаться. С утра заводы и фабрики начинают потреблять электроэнергию на привод машин, начинают работать трамваи, троллейбусы, метро. С наступлением сумерек потребление энергии еще более возрастает;

загораются миллионы электрических ламп, включаются телевизоры. Вочные часы оно, напротив, сокращается. Таким образом, потребление электроэнергии изменяется по часам суток и по временам года.

Сочетать выработку электроэнергии с ее потреблением удается с помощью энергетических систем. Энергосистема включает в себя большое число производителей и потребителей электроэнергии. Такие системы объединяют громадные мощности. Большую долю электроэнергии потребляют электродвигатели, работающие в промышленности и на электротранспорте. Много энергии требуют электронагрев, электролиз, электрическое освещение и другие бытовые нужды.

В энергосистему входят ГЭС, которые легко «приспособливаются» к непостоянству потребления энергии (при условии, что вода имеется в избытке), а также тепловые электростанции и АЭС. Паротурбинные электрические станции останавливать на время и вновь запускать невыгодно; изнашивается оборудование, происходит перерасход топлива. Останавливать АЭС нельзя.

Источниками дополнительной мощности в часы «пик» могут быть так называемые маневренные электростанции. К ним относятся гидроаккумуляторные электростанции (ГАЭС) и тепловые электростанции, оборудованные газовыми турбинами, которые можно быстро ввести в действие, а затем остановить.

На ГАЭС имеются два бассейна: верхний и нижний. Из верхнего бассейна вода по трубам попадает на лопасти турбины, а потом, отработав, выливается в нижний бассейн. Электрическая энергия при этом вырабатывается. В ночное время те же турбины работают как насосы, они перекачивают воду из нижнего бассейна в верхний, при этом запасается (аккумулируется) гидроэнергия (механическая энергия воды), а электрическая энергия потребляется, причем генераторы станции работают как электродвигатели. ГАЭС больше энергии потребляет, чем вырабатывает. Однако она потребляет электроэнергию в то время, когда она другими электростанциями вырабатывается в избытке, но служит источником дополнительной мощности в часы «пик». В этом выгода ГАЭС. Уже работает ГАЭС на Днепре. Под Москвой строится Загорская ГАЭС мощностью 1,2 млн. кВт — крупнейшая в нашей стране. Она будет включена в энергосистемы Центра и Мосэнерго.

Чтобы бесперебойно снабжать электроэнергией потребителей, как мы видим, приходится маневрировать. Это маневрирование становится еще более удобным и выгодным, если отдельные энергосистемы объединить. Ведь в западных и восточных районах нашей страны пик потребления энергии наступает не одновременно.

Уже в 1976 г., из 218 млн. кВт мощности электростанции более 150 млн. кВт были объединены в Единую энергетическую систему страны (ЕЭС), управляемую единым автоматизированным центром, расположенным в Москве. На магистральных линиях передачи электроэнергии в нашей стране применяется высокое напряжение — 500, 750 и 1150 кВ. Единая энергетическая система СССР работает совместно с энергосистемами стран — членов Совета Экономической Взаимопомощи (СЭВ).

Так осуществляется завет Ленина об электрификации всей страны.



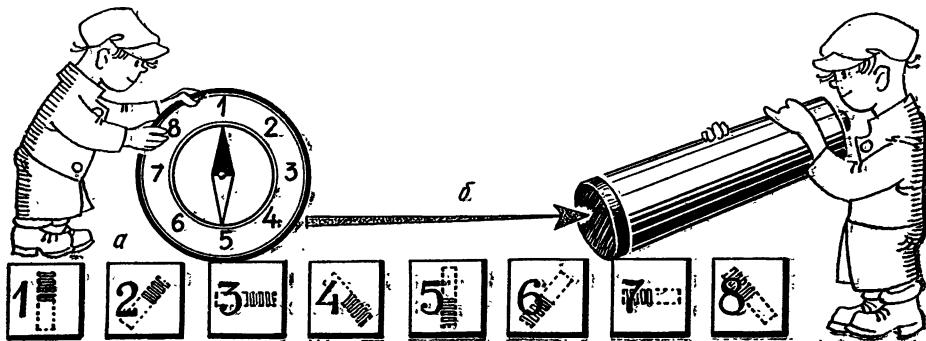
В СВОБОДНУЮ МИНУТУ

Угадывание цифр

Сделав несложное оборудование, вы можете показать товарищам фокус по угадыванию цифр. Цифры написаны на одной стороне картонного квадрата (квадратов 8). Каждый квадрат состоит из трех слоев картона: двух сплошных и одного — внутреннего — с прорезью, куда вставлен маленький магнит. Прорезь нужна, чтобы магнит не прощупывался при осмотре карты. На рисунке 126, а видно, что магниты в квадратах с разными цифрами расположены неодинаково. (Маленькие магниты можно изготовить, намагнитив кусочки полотна от ножовки.)

Помощник «фокусника» укладывает картонные квадраты в произвольном порядке на стол цифров вниз, следя за тем, чтобы верх всех цифр был обращен к зрителям. У «фокусника» в руках труба, в которую вмонтирован компас. Если клать компас на карточки поочередно, то северный конец стрел-

Рис. 126.



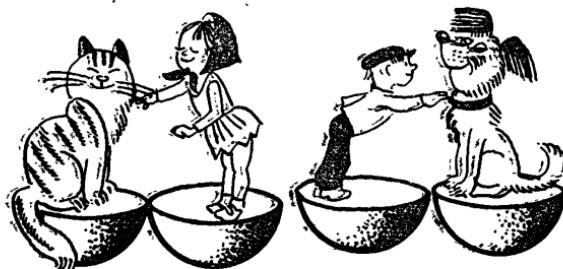
ки под действием магнита примет каждый раз иное положение. Эти положения надо отметить заранее на новой шкале — бумажном кольце, наклеенном поверх шкалы компаса (рис. 126, б). Чтобы скрыть компас, его помещают в небольшую картонную трубку, другой конец которой закрывают крышкой с небольшим отверстием. Расположив трубку над центром квадрата с цифрой, читают ту цифру, на которую указывает стрелка. Потом поднимают карту и показывают, что цифра названа верно. Предлагают присутствующим объяснить фокус по угадыванию цифр.

Как сделать?

На рисунке 127 изображены две парные игрушки. Чтобы их сделать, нужно иметь несколько маленьких керамических магнитов, два шарика от пинг-понга, пластилин, цветные карандаши и картон. Шарики разрежьте пополам, половинки заполните пластилином и вдавите в него магниты. Сверху укрепите различные фигурки животных или детей, вырезанные из картона и раскрашенные.

Как добиться, чтобы собака поворачивалась к мальчику, а кошка к девочке?

Рис 127.



Догадайтесь

В каждую клетку, включая нумерованную (рис. 128), напишите по букве так, чтобы по горизонтали получить слова: 1. Ученый, впервые обнаруживший взаимодействие электрического тока и магнитной стрелки. 2. Место магнита, где наблюдаются наиболее сильные магнитные действия. 3. Устройство, работающее на слабых токах, при помощи которого

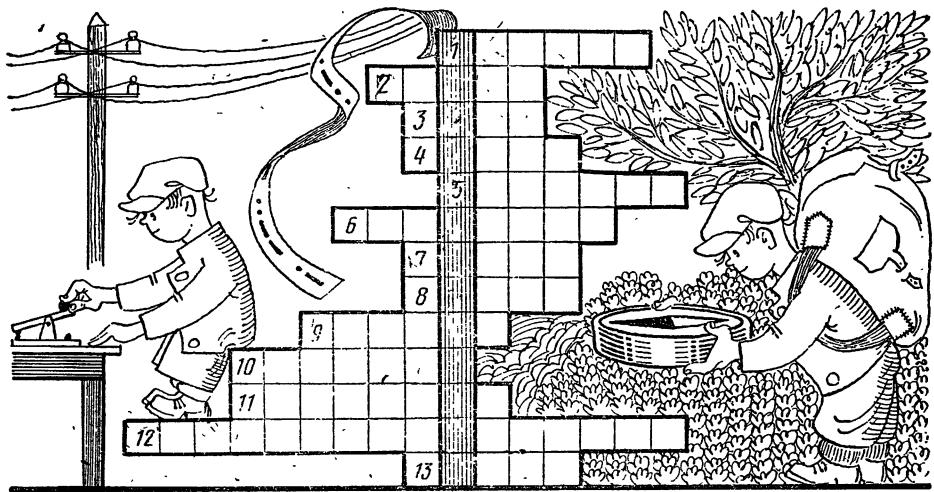


Рис. 128.

можно управлять электрической цепью с сильными токами. 4. Изобретатель первого в мире телеграфного аппарата, печатающего буквы. 5 и 6. Приборы, совместное пользование которыми позволяет передавать звук на далекие расстояния. 7. Изобретатель электромагнитного телографа и азбуки из точек и тире. 8. Ученый, объяснивший намагниченность молекул железа электрическим током. 9. Прибор, служащий для ориентации на местности, основной частью которого является магнитная стрелка. 10. Русский ученый, который изобрел первый электрический телеграф с магнитными стрелками. 11. Одна из основных частей приборов 5 и 6, названных выше. 12. Приемник тока, служащий для превращения электрической энергии в механическую. 13. Вещество, из которого делают постоянные магниты.

По вертикали в выделенных клетках: катушка проводов с железным сердечником внутри.

Какое слово?

Отгадайте слово по буквам, каждую из которых надо определить, решив задачи-рисунки (рис. 129).
1. Мысленно поставьте стрелку по направлению тока на участке проводника *НМ*. Стрелка покажет, какую букву выбрать. 2. Каков номер в алфавите второй буквы слова, покажет после включения

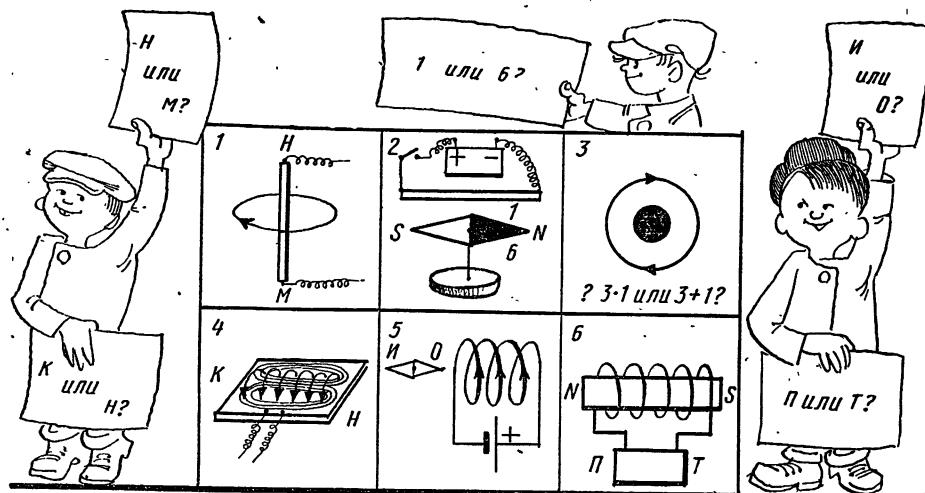


Рис. 129.

тока северный конец магнитной стрелки. 3. Номер в алфавите следующей буквы слова определите так: поставьте знак направления тока в кружке, изображающем сечение проводника, и из двух подсчетов, приведенных тут же ниже, выберите тот, который содержит этот знак. 4. Мысленно поставьте стрелку, указывающую направление магнитных линий внутри катушки с током. Эта стрелка покажет, какую из двух букв надо выбрать. 5. Нужная буква стоит у северного конца магнитной стрелки. 6. Выберите букву, которая стоит у положительного полюса источника тока.

Менделеев говорил,
что ...

На рисунке 130 найдите кружок, с которого надо начать чтение, и прочитайте зашифрованные слова Д. И. Менделеева.

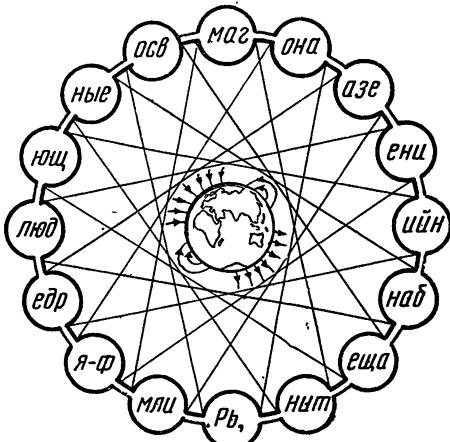


Рис. 130.



Рис. 131.

Ребус

Прочитайте слова английского физика, которыми он определил поставленную перед собой задачу (рис. 131). Назовите этого ученого, а также год, когда эта задача им была решена, явление, которое им было открыто.

ОТВЕТЫ К ГЛАВЕ VII

Как сделать? Картонные фигурки животных и детей надо прикрепить так, чтобы головы собаки и мальчика находились над разноименными магнитными полюсами; это же должно соблюдаться при креплении фигурок кошки и девочки. Тогда произойдет притяжение разноименных магнитных полюсов.

Догадайтесь. По горизонтали: 1. Эрстед. 2. Полюс. 3. Реле. 4. Якоби. 5. Телефон. 6. Микрофон. 7. Морзе. 8. Ампер. 9. Компас. 10. Шиллинг. 11. Мембрана. 12. Электродвигатель. 13. Сталь. По вертикали: Электромагнит.

Какое слово? Магнит.

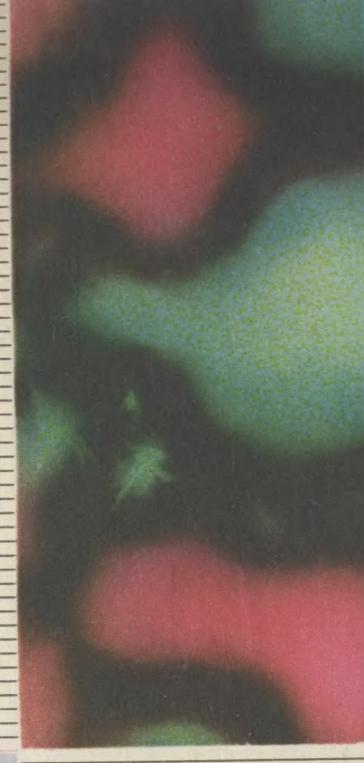
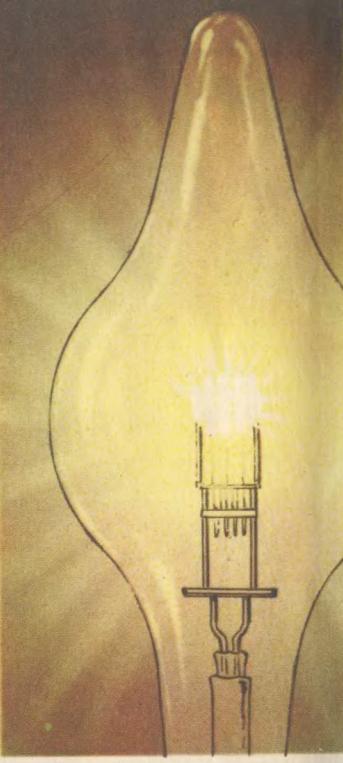
Менделеев говорил, что... магнитные наблюдения — фонарь, освещавший недра Земли. Чтение надо начать с верхнего кружка.)

Ребус. Запифрованы слова М. Фарадея: «Превратить магнетизм в электричество». Эту задачу он решил в 1831 г., открыв явление электромагнитной индукции.

ОГЛАВЛЕНИЕ

К юным читателям	3
ТЕПЛОТА	
Глава I ТЕПЛОПЕРЕДАЧА И РАБОТА	5
Из истории термометра. (5) Что такое теплота? (7) Теплота ре- зания и... сварка трением. (8) Терморегулирование «Лунохода-1». (9) Тепловидение — что это такое? (11) Температура и жизни. (13) Топливо. (14) Взрыв — труженик и враг. (17) Тепло земных недр. (18) Из истории открытия закона превращения и сохране- ния энергии. (20) Судьба солнечного излучения на Земле. (22) «Солнечная техника». (24)	22
В свободную минуту	27
Опыт с нитью. Погаснет ли свеча? Полосатый стакан. Почему не одновременно? Догадайтесь. Какой закон?	
Ответы к главе I	29
Глава II ИЗМЕНЕНИЕ АГРЕГАТНЫХ СОСТОЯНИЙ ВЕЩЕСТВА	30
Интересно и полезно знать, что... Литье. (30) А материалы-то на- до изобретать! (31) Удивительное вещество — вода. (33) Разде- ление жидкостей. (35) Работают тепловые трубы. (37) Туман по- могает резцу. (39) Туман и роса, дождь и снег. (40) Можно ли управлять погодой (42)	30
В свободную минуту	43
Как вынуть? Птичка Хоттабыча (пьющий утенок). Догадайтесь. Найдите ошибку.	
Ответы к главе II	44
Глава III ТЕПЛОВЫЕ ДВИГАТЕЛИ	46
Тепловые двигатели и развитие техники. (46) КПД тепловых дви- гателей. (47) Из истории воршневой паровой машины. (48) Воз- никновение парового транспорта. (51) Из истории ДВС. (53) Па- ровая турбина. (57) Тепловые двигатели в авиации. (60) Ракеты и полеты в космос. (61)	46
В свободную минуту	64
Автомобиль-воздухомет. Они были первыми. Паровой транспорт. Паровая вертушка. Ребус.	
Ответы к главе III	67
ЭЛЕКТРИЧЕСТВО	
Глава IV СТРОЕНИЕ АТОМА	68
Начало изучения электрических явлений. (68) Когда электризация тел вредна. (71) Когда электризация тел полезна. (73) Из исто-	68

рии изучения грозы. (74) Как образуются грозовые облака. (76)	
Заряд электрона. (78) Как было открыто атомное ядро. (79)	
В свободную минуту	81
Обезьянки. Лесенка. Догадайтесь. Ребус.	
Ответы к главе IV	83
Глава V СИЛА ТОКА, НАПРЯЖЕНИЕ, СОПРОТИВЛЕНИЕ	84
От лягушачьих лапок к вольтову столбу. (84) Термоэлементы. (86)	
Фотоэлементы. Провода и их изоляция. (89) Как и чем замыкаются контакты. (91) На заре изучения электролиза. (93) Применение электролиза в технике. (94) Как Ом открыл свой закон. (97)	
Пробоночная нить рассказывает. (99) Реостат на службе у автоматики. (100) Электроразведка полезных ископаемых. (101) Молния. (102) Будьте осторожны с электричеством! (104) Знаете ли вы, что... Гальванометр и амперметр. (105) Гальванометр и вольтметр. (107)	
В свободную минуту	108
Сделайте химический источник тока. Веселый лабиринт. Электрическая цепь. Криптограмма. Как прочитать? Назовите фамилию.	
Ответы к главе V	112
Глава VI РАБОТА И МОЩНОСТЬ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ТОКА	113
Из истории дуговой лампы. (113) Из истории изобретения лампы накаливания. (116) Электрический шов. (119) Электричество плавит металлы. (121) Электронагрев в сельском хозяйстве. (122)	
В свободную минуту	124
Электрическое освещение. Электронагревательные приборы. Электросварка.	
Ответы к главе VI	125
Глава VII ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ ЯВЛЕНИЯ	126
Начало изучения электромагнитных явлений. (126) Телеграф. (129) Телефон. (131) Электромагнитное реле. (133) Магниты на заводе. (134) Сверхсильные магнитные поля. (136) О земном магнетизме и его изучении. (137) Почему колеблется магнитная стрелка? (141) Первые электрические двигатели. (143) Электрический транспорт. (144) Открытие явления электромагнитной индукции. (146) Первые электромагнитные генераторы тока. (148) Электрификация. (150)	
В свободную минуту	154
Угадывание цифр. Как сделать? Догадайтесь. Какое слово? Менделеев говорил, что... Ребус.	
Ответы к главе VII	155



55 коп.

