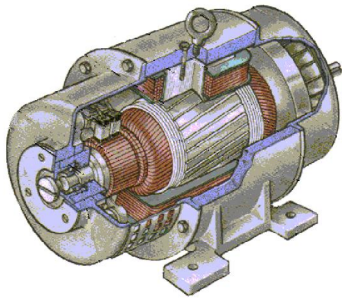
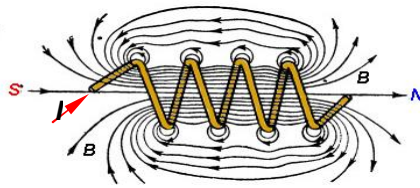
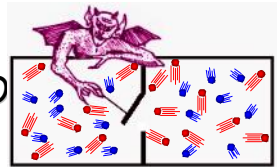
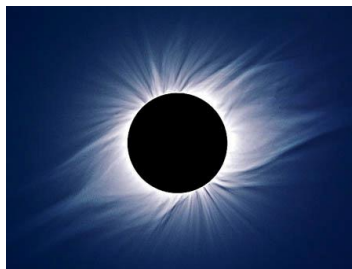
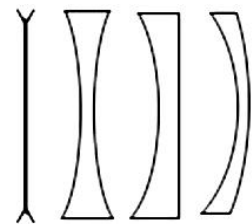
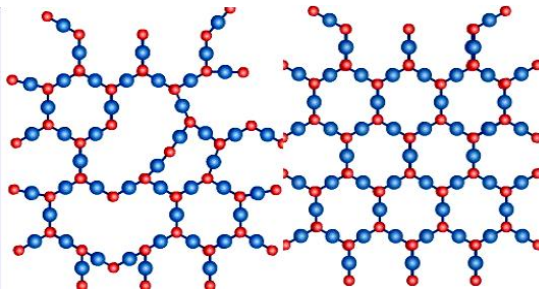
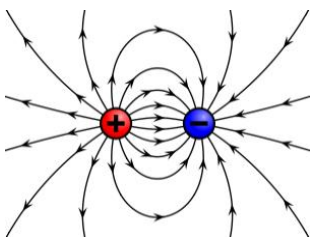
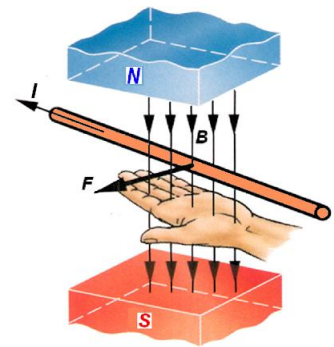
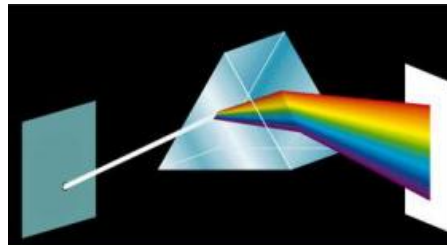
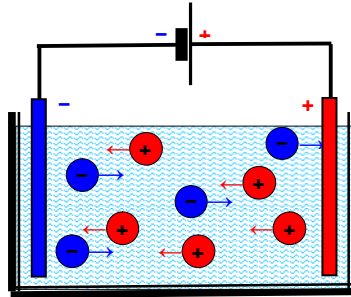
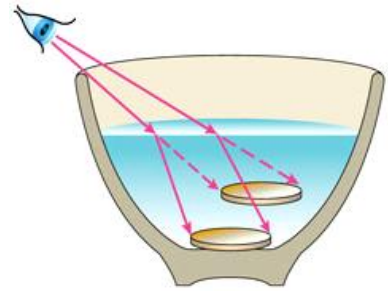




Лобынцев Ю. И. и Лобынцева Е. Ю



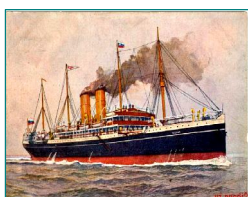
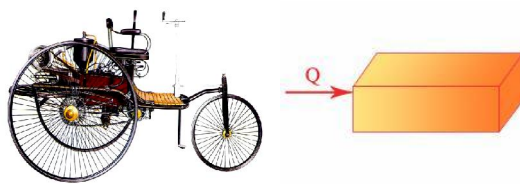
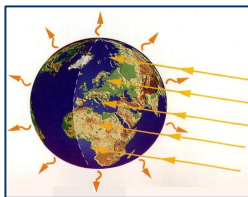
Физика 8 класс



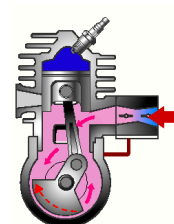
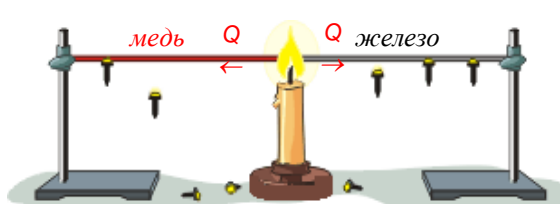
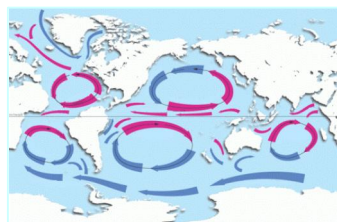
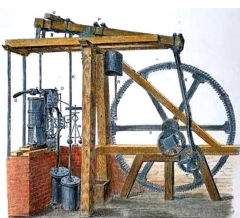
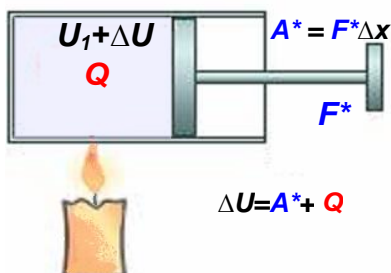
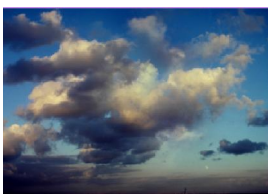
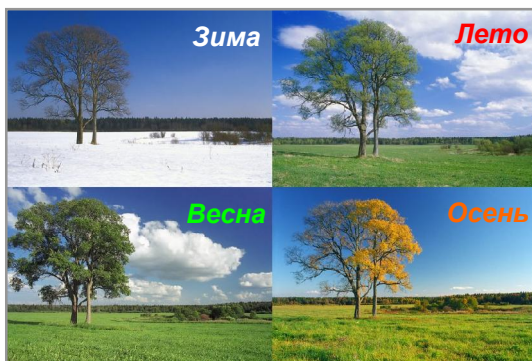
**Тепловые явления.
Электромагнитные явления.
Световые явления.**

Данное учебное пособие (как и предыдущее, для 7 класса) является дополнением к основному учебнику. Оно также сохраняет последовательность изложения курса физики наиболее распространённых до настоящего времени учебников А. В. Пёрышкина (см. издание 2003 г учебника этого автора для 8 класса, последовательность изложения и нумерацию разделов которого авторы взяли за основу). Используются также многочисленные учебные пособия других российских и зарубежных авторов и материалы из Интернета.

Раздел 1



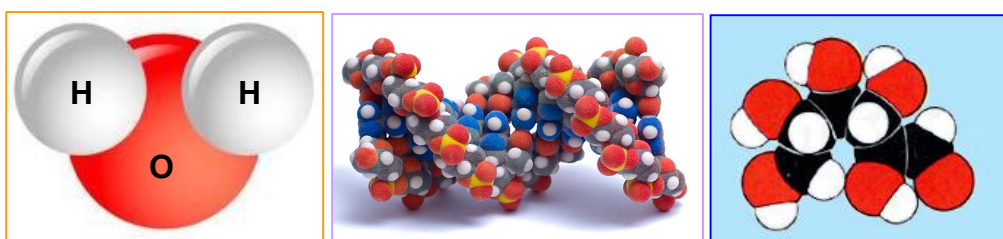
Тепловые явления



Окружающий нас мир, чрезвычайно разнообразен и сложен. Нас окружают **макроскопические тела**. Обычно мы их видим, можем до них дотронуться, слышим издаваемые ими звуки. В физике **макроскопическими телами** называются тела, которые велики по сравнению с атомными размерами. Это могут быть газы, жидкости, твёрдые тела и биологические организмы. Газ в воздушном шарике и шаре, вода в стакане, кусочки угля, детали машин, мышка, песчинка в пустыне, листья деревьев, земной шар, самолёт — все это примеры макроскопических объектов.



К микроскопическим телам, которые мы непосредственно не ощущаем, но можем изучать с помощью специальных приборов, относятся молекулы, атомы, ионы и ещё более мелкие микрочастицы. Поэтому микроскопические объекты часто изображают условно, схематически. Молекула воды состоит из атома кислорода и двух атомов водорода. Есть молекулы, которые состоят из большого количества атомов, например молекула ДНК, глюкозы.



Мир устроен так, что все макроскопические тела представляют собой колоссальные совокупности микроскопических тел (ведь размеры атомов и молекул чрезвычайно малы!). Поэтому от движения и взаимодействия микрочастиц зависят свойства окружающего нас макромира. И ещё: чем глубже физики проникали внутрь этого таинственного, странного микромира, тем с более сильными взаимодействиями, с большей энергией им приходилось сталкиваться...

ПРЕДИСЛОВИЕ



*Чтоб я, невежда, без конца
Не корчил больше мудреца,
А понял бы, уединясь,
Вселенной внутреннюю связь,
Постиг все сущее в основе
И не вдавался в суесловье.*

Из монолога Фауста в переводе Б. Л. Пастернака
(Гёте, «Фауст», часть 1, акт 1, сцена 1).

Теперь мы займёмся изучением не только *механических*, но и *тепловых* явлений (рекомендуется повторить стр. 20-32 гл.1 и стр. 172-177 гл.4 Пособия 7 кл.). При этом мы более глубоко познакомимся с тем, что такое *энергия*.

Явления, связанные с нагреванием и охлаждением тел называются **тепловыми**.

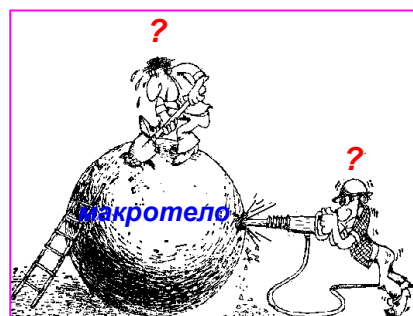
Чтобы понять сущность того, что такое ТЕПЛОВЫЕ ЯВЛЕНИЯ, необходимо заглянуть *внутрь* окружающих нас тел. Это макроскопические тела, которые (в соответствии с известными вам положениями МКТ)

- 1) *состоят из обособленных микрочастиц;*
- 2) *микрочастицы находятся в непрерывном хаотическом (тепловом) движении;*

3) *на небольших расстояниях по сравнению с их размерами они притягиваются, а при сильном сближении – отталкиваются.*

Оказывается, что тепловые явления могут удивительным образом изменять состояние и свойства тел. И это не просто любопытные явления. Изучая их, инженеры смогли создать много полезных устройств, способных выполнять полезную *работу*, обеспечивать нас *теплом*, а если надо, и *холодом*. Так появились паровые машины, паровые и газовые турбины; автомобильные, авиационные и ракетные двигатели; кондиционеры, системы отопления и холодильники – всё то, что теперь называется *тепловой энергетикой*, к чему мы привыкли, и без чего нам было бы очень неуютно жить.

В процессе создания этих устройств возникла *термодинамика* – физическая теория о преобразовании различных форм *энергии* друг в друга. С её помощью можно понять не только как работает та или иная тепловая машина, но и разобраться в процессах, происходящих в живых организмах, в скоплениях звёзд, внутри вещества. Оказалось, что внутри окружающих нас тел заключена огромная энергия, овладев которой, можно чудесным образом изменять окружающий нас мир.



Чтобы понять сущность тепловых явлений, необходимо заглянуть *внутрь* макроскопических тел.



ГЛАВА I. ВНУТРЕННЯЯ ЭНЕРГИЯ И СПОСОБЫ ЕЁ ИЗМЕНЕНИЯ

§ 1. ТЕПЛОВОЕ ДВИЖЕНИЕ. ТЕМПЕРАТУРА

1⁰. Согласно второму положению *МКТ*, все молекулы любого вещества непрерывно и беспорядочно (*хаотически*) движутся. Движение молекул в разных телах происходит по-разному, *рис. 1.1*.

Молекулы **газов** беспорядочно движутся с большими скоростями (сотни м/с) по всему объему газа. Сталкиваясь, они отскакивают друг от друга, изменяя величину и направление скоростей.

Молекулы **жидкости** колеблются около равновесных положений (т. к. расположены почти вплотную друг к другу) и сравнительно редко перескакивают из одного равновесного положения в другое. Движение молекул в жидкостях является менее свободным, чем в газах, но более свободным, чем в твердых телах.

В **твердых** телах частицы колеблются около положений равновесия.

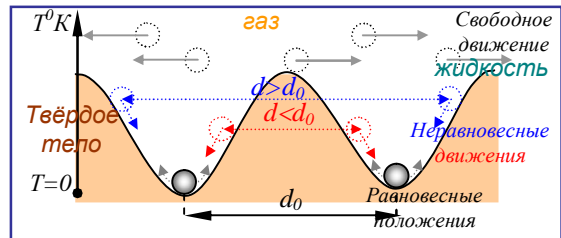


Рис. 1.1. В твёрдых телах микрочастицы, совершая тепловое движение, колеблются вблизи устойчивых равновесных положений. Молекулы жидкости ведут «кочевой образ жизни». Молекулы газов совершают между столкновениями свободное движение.

С ростом температуры скорость хаотического движения частиц увеличивается, поэтому это движение принято называть **тепловым**.

2⁰. Количество молекул в окружающих нас телах очень велико. Так, в объеме равном 1 см³ воды, содержится около $3,34 \cdot 10^{22}$ молекул.

Каждая молекула движется по очень сложной траектории. На *рис. 2.1* изображены траектории частиц, участвующих в тепловом движении, увеличенные в миллионы раз. Это очень сложное движение. В нем участвует все микрочастицы.

Так, например, частицы газа, движущиеся с большими скоростями в разных направлениях, сталкиваются друг с другом и со стенками сосуда. В результате этого они изменяют свою скорость и снова продолжают движение.

3⁰. В качестве опытных доказательств теплового движения молекул в Пособии для 7 кл. уже рассматривались явления диффузии (*рис. 3.1*) и броуновского движения. (*рис. 4.1*).

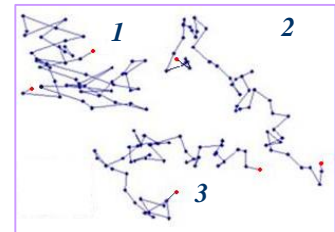


Рис. 2.1. Траектории отдельных микрочастиц, увеличенные в миллионы раз. Их очень, очень много. Их скорости различны по величине и направлению. Каждая из них имеет сложную траекторию.



Рис. 3.1. Растворение сахара или краски в жидкости (а), распространение запаха цветов (б), кофе (в) в воздухе, происходят благодаря диффузии. В тёплом воздухе запахи распространяются быстрее (з), чем в холодном, а сахар в горячей воде распространяется быстрее, чем в холодной (д). Так происходит, потому, что скорости движения молекул в горячем веществе больше, чем в холодном.

Броуновское движение было открыто английским ботаником Робертом Броуном, *рис. 5.1*.

Броуновские частицы движутся под влиянием ударов молекул жидкости. Так как тепловое движение молекул – это непрерывное и беспорядочное движение, то и скорость движения броуновских частиц будет беспорядочно меняться по величине и направлению.

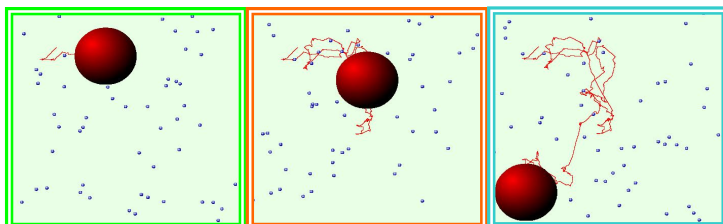


Рис. 4.1. Так выглядит подвергающаяся ударам молекул броуновская частица в последовательные моменты времени (красным цветом показана траектория центра частицы).

Тепловое движение, как микрочастиц вещества, так и броуновских частиц, **никогда не прекращается.**



Рис. 5.1. Английский ботаник Роберт Броун (1773-1858гг.)

4⁰. Все мы привыкли к слову «**температура**». Такими словами, как «холодный», «теплый», «горячий», мы указываем на различную степень нагретости тел, а иногда просто говорим, что эти тела имеют **различную температуру**. Температура горячей воды, выше температуры тёплой, а температура тёплой выше холодной. Температура воздуха летом выше, чем зимой.

Окружающие нас тела могут быть очень горячими, горячими, тёплыми, холодными, очень холодными, рис. 6.1.

Температура характеризует тепловое состояние тел. Более глубоко это непростое физическое понятие будет раскрыто позже.



Рис. 6.1. Окружающие нас тела могут быть очень горячими, горячими, тёплыми, холодными, очень холодными. Это значит, что они имеют различную **температуру**. Сильно нагретые тела излучают свет. Температура поверхности Солнца $\approx 6000^{\circ}\text{C}$; пламя свечи – $750-1300^{\circ}\text{C}$, горячий чай $\approx 60-80^{\circ}\text{C}$; тело человека $\approx 37^{\circ}\text{C}$, тающий лёд – 0°C . температура жидкого азота ниже -196°C .

В зависимости от температуры свойства макроскопических тел меняются. Колокольчик из воска при температуре жидкого азота звенит как серебряный, а



Рис.7.1. . Так изменяется природа с изменением температуры зимой (а) и летом (б). Весной температура повышается, и природа просыпается. Снег тает (в), на крышах образуются сосульки (г). От температуры в теплице зависит урожай (д).

резина становится хрупкой как стекло. По-разному происходят многие явления.

Погода в разные времена года зависит от температуры. Поэтому природа тоже выглядит по-разному, рис.7.1.

Все явления могут существовать лишь в узком диапазоне температур. Выход температуры за эти пределы качественно изменяет их.

Изменение температуры тела человека или животного всего на 1-2 градуса, указывает, что они больны, рис. 8.1.



Рис. 8.1. Если температура ребёнка или животного на несколько градусов отличается от нормы, они заболевают.

Изменение среднегодовой температуры на нашей планете на несколько градусов в сторону увеличения или уменьшения приведет к катастрофическим изменениям (таянию ледников, затоплению целых стран, или, наоборот, обледенению, исчезновению растительности и животных и т. п.). Существующее расстояние от Земли до Солнца является важнейшим условием существования на ней живых организмов, по крайней мере, в том виде, каком они существуют, рис. 9.1.



Рис. 9.1. Если бы расстояние от Земли до Солнца было бы немного меньше или больше, мы погибли бы от жары или холода. $T > T$. От теплового состояния зависит существование всех объектов на Земле.

Даже двигатель автомобиля не может работать в слишком холодную или слишком жаркую погоду, рис. 10.1.

5⁰. Наши ощущения температуры часто обманчивы: в жаркую погоду после выхода из воды бывает холодно, хотя перед входом в воду было жарко. Это обусловлено тем, что мокрое тело при испарении воды охлаждается.



Рис. 10.1. В жаркую погоду двигатель перегревается и не может работать, а в очень холодную – его невозможно запустить, да и открыть автомобиль бывает трудно.

В ненадёжности нашего ощущения температуры можно убедиться и на специальном опыте, рис. 11а.1. Поэтому для изучения тепловых явлений необходим прибор, оценивающий степень нагретости тел (температуры) независимо от наших

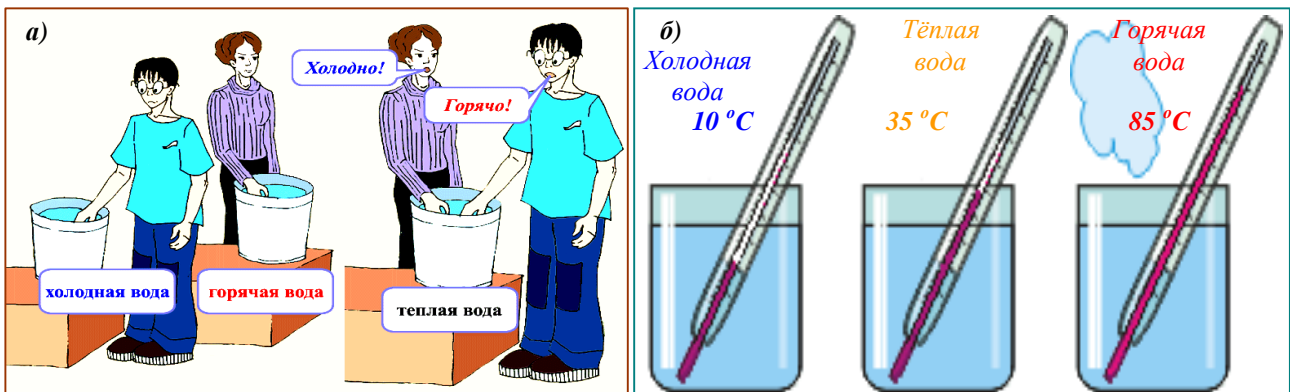


Рис.11.1. Наши ощущения могут подвести при определении температуры. Например, известен опыт, когда одну руку опускают в горячую, а другую – в холодную воду. Если через некоторое время опустить обе руки в теплую воду, то рука, которая до этого была в горячей воде, почувствует холод, а рука, бывшая в холодной воде – жар! (а). Поэтому для изучения тепловых явлений необходим прибор, оценивающий степень нагретости тел (температуры) независимо от наших ощущений. Им и является **термометр**, (б).

ощущений. Им и является **термометр¹**, рис. 11б.1.

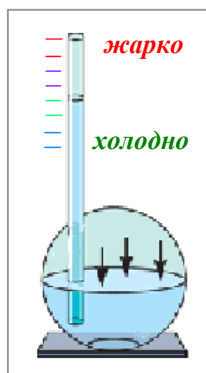


Рис.12.1.
Термоскоп

6⁰. На изобретение термометра ушли столетия. Сначала был создан **термоскоп** (от греч. thermē — теплота и skoreō — смотрю) — прибор, который мог лишь отмечать изменение температуры, рис. 12.1. При потеплении воздух внутри шара расширялся и вытеснял воду из шара в трубку с открытым концом. По изменению уровня воды и судили об изменении температуры. В XVII веке термоскопы стали изготавливать в виде запаянной трубки, заполненной ртутью или спиртом. С этого момента показания термоскопов перестали зависеть от атмосферного давления. Опыты с ними стали всеобщим увлечением; ими даже украшали комнаты. Но, чтобы термоскоп стал термометром, нужно было научиться выражать его показания в виде числа, то есть изобрести шкалу.

7⁰. Усилиями А. Цельсия и другого шведского ученого, К. Линнея, была создана шкала, которой мы пользуемся и сегодня. В ней имеются две постоянные точки: 0 °С — температура сосуществования воды и льда, 100 °С — температура кипения воды при нормальном атмосферном давлении ($p_{\text{атм}}=101,3$ кПа). Расстояние между этими так называемыми **реперными точками**, поделенное на 100 равных частей, называется градусом шкалы Цельсия (лат. «градус» — шаг, ступень), рис. 13.1. Такая разметка шкалы называется **градуированием** термометра.

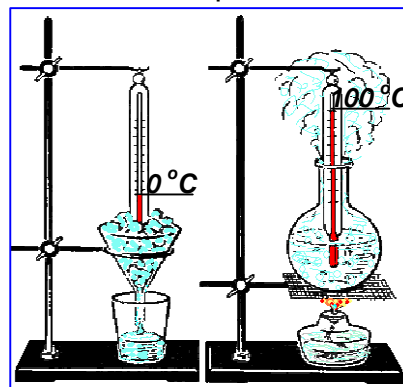


Рис. 13.1. Реперные (опорные) точки шкалы Цельсия

8⁰. Однако с разметкой шкалы возникли сложности.

Вообразим, что мы изготовили два термометра: ртутный и спиртовой, рис. 14.1. Поместим их в стакан с кипятком. Разумеется, они покажут 100 °С. Подождем, пока вода остынет до 50 °С по ртутному термометру. Удивительно, но спиртовой термометр будет показывать температуру на 7 градусов ниже! Это объясняется тем, что ртуть и спирт по-разному расширяются при одинаковом изменении температуры. Специальные опыты также подтвердят, что **тепловое расширение** различных веществ, как правило, неодинаково.

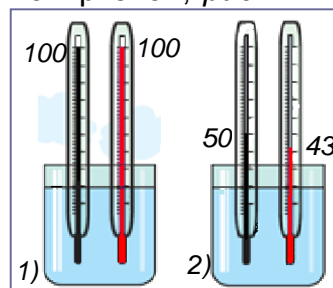


Рис. 14.1. 1) ртутный и спиртовой термометры в кипятке; 2) они же в тёплой воде.

Таким образом, **показания термометров зависят от выбора термометрического тела**: ртути, спирта и так далее. Это необходимо учитывать при изготовлении термометров.

9⁰. Этого недостатка лишен **газонаполненный термометр**, рис. 15.1. Он показывает одно и то же значение температуры вне зависимости от того, каким газом (водородом, кислородом, воздухом или каким-либо другим) заполнен. Это обусловлено тем, что тепловое расширение всех газов практически одинаково. Поэтому **газовый термометр условились считать эталонным (образцовым) термометром**.

Показаниям газового термометра наиболее близко соответствуют показания ртутных термометров, которые гораздо более компактны, и

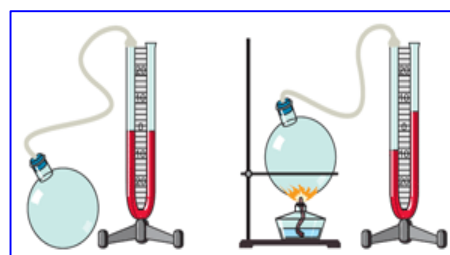


Рис. 15.1. Газовый термометр показывает одно и то же значение температуры вне зависимости от того, каким газом заполнен

¹ От греч. *thermo* — тепло, жар и греч. *metro* — измеряю

потому широко применяются в технике. Спиртовые термометры менее точны, но более безопасны (так как ртуть ядовита). Их обычно используют в быту.

10⁰. Проводя измерения, следует помнить, что *любой термометр измеряет свою собственную температуру (точнее – температуру своего термометрического тела)*. Поэтому, когда термометр приводят в контакт с изучаемым телом, его показания могут значительно отличаться от температуры этого тела. Лишь через некоторое время, после того, как термометр нагреется (или охладится) до температуры изучаемого тела, следует считывать его показания.

Например, на *рис.16.1* тепловое равновесие еще не наступило, так как меняется длина столбика ртути. Поэтому говорить о температуре воды преждевременно, необходимо подождать.

По этой же причине, чтобы узнать температуру своего тела, нужно подержать термометр под мышкой несколько минут. За это время ртуть в термометре постепенно нагревается и уровень ее повышается. По истечении положенного времени нагревание термометра прекратится, и по длине столбика ртути вы определите температуру. То же самое происходит при измерении температуры любого тела любым термометром. Показания термометра как угодно долго будут оставаться неизменными, если неизменна температура тела.

Другой пример. Бросьте в стакан с водой кусочек льда и закройте стакан плотной крышкой. Лед начнет плавиться, а вода, - охлаждаться. Когда лед растает, вода начнет нагреваться, и, после того как она примет температуру окружающего воздуха, никаких изменений внутри стакана с водой не будет происходить.

Из этих и подобных им простых наблюдений можно сделать вывод о существовании очень общей закономерности тепловых явлений. ***Тело при неизменных внешних условиях самопроизвольно переходит за некоторое время в состояние теплового равновесия с окружающими телами. В состоянии теплового равновесия тела могут находиться сколь угодно долго.***

Итак, ***при установлении контакта между двумя телами с различными температурами их температуры выравниваются***, подобно тому, как выравниваются давления в двух сосудах с воздухом при соединении их трубкой. Аналогичным образом выравниваются уровни воды в сообщающихся сосудах. Во всех этих случаях устанавливается равновесие, которое может существовать сколь угодно долго.

Температура – физическая величина, которая имеет одно и то же значение в любой части системы при тепловом равновесии.

Обратите внимание, что *при тепловом равновесии давление в различных частях системы может быть различным, если эти части разделены твердыми перегородками!* Так, если вынести мяч из комнаты на улицу, то спустя некоторое время температура воздуха в мяче будет та же, что и на улице, но давление воздуха в мяче все равно будет больше уличного (атмосферного).



Существенно, что если какое-либо тело А (например, вода в одном стакане) находится в тепловом равновесии с другим телом С (термометром), а тело В (вода в другом стакане) тоже находится в равновесии с телом С, то тела А и В также находятся в состоянии теплового равновесия. Если привести стаканы в контакт, то никаких изменений с водой внутри них не произойдет. ***Именно поэтому мы можем сравнивать состояние теплового равновесия тел, не приводя их в непосредственный контакт, и ввести понятие температуры.***

Мы говорим, что *два тела А и В имеют одинаковую температуру, если каждое из них находится в тепловом равновесии с третьим телом С*. Этим телом может быть термометр. И наоборот – *если тела имеют одинаковую температуру, то можно утверждать, не приводя их в непосредственный тепловой контакт, что они находятся в состоянии теплового равновесия.*

11⁰. Современные приборы для измерения температуры очень многообразны. Существуют десятки различных устройств этого назначения, применяемых в про-

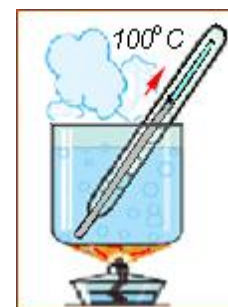


Рис. 16.1. Столбик ртути сначала поднимается...

мышленности, при научных исследованиях и для специальных целей. В них используются различные *термометрические свойства* жидкостей, газов и твердых тел: зависимость объема, электрического сопротивления и других свойств этих тел от температуры. Любое из этих свойств может быть использовано для количественного определения температуры.

Описанные выше жидкостные стеклянные термометры используют свойство теплового расширения жидкостей с температурой. Различия в тепловом расширении металлов используются в так называемых биметаллических термометрах. Зависимость объема или давления от температуры используется в газовых термометрах. Электрические термометры используют зависимость возникающего электрического напряжения или изменения электрического сопротивления тел от температуры. Пирометры – это термометры, определяющие температуру по цвету нагретого предмета и т. п.

12⁰. На рис. 17.1 показаны, по-видимому, хорошо вам известные бытовые термометры.

Они содержат тонкую трубку, соединённую с резервуаром с жидкостью (ртутью, подкрашенным спиртом, глицерином) и шкалу. При увеличении температуры объём жидкости увеличивается и она поднимается по тонкой трубке. При понижении температуры наблюдается обратное явление. Таким образом, *принцип работы таких термометров основан на изменении объема жидкости (ртути, спирта, глицерина) при изменении температуры.*



Рис.17.1. а) комнатный термометр;
б) медицинский градусник.

Для измерения температуры резервуар термометра помещают в среду, температуру которой хотят измерить и держат его ней в течение некоторого времени, пока столбик жидкости в тонкой трубке не перестанет двигаться – это означает, что тепловое равновесие ртути и среды достигнуто. После этого считывают показание термометра по шкале, не вынимая его из среды.

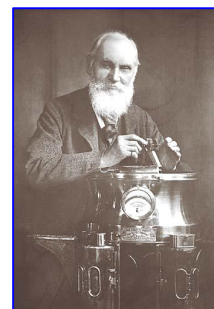
В медицинском термометре (*градуснике*) между резервуаром и трубкой делается *сужение* (рис. 17.1, справа). Поэтому после измерения температуры его *можно вынуть* для считывания показания. Чтобы вернуть жидкость в резервуар, градусник необходимо встряхнуть. Это делается для того, чтобы было удобнее пользоваться медицинским градусником.

13⁰. В нашей стране получила распространение стоградусная температурная шкала Цельсия. Температуру по шкале Цельсия обычно обозначают латинской буквой *t*.

В других странах используются чаще другие температурные шкалы. Например, в Англии и США шкала Фаренгейта ($^{\circ}\text{F}$), в которой таянию льда и кипению воды соответствуют значения 32°F и 212°F . 1°F составляет $(5/9)^{\circ}\text{C}$; комнатная температура по шкале Фаренгейта – около 68°F , а температура человеческого тела – 96°F .

Однако в научных исследованиях обычно используется другая температурная шкала, называемая *абсолютной*. Её предложил английский учёный **Кельвин**. Она соответствует представлению о температуре как о *мере энергии движения молекул* вещества. Температуру по шкале Кельвина (абсолютную) обозначают большой буквой *T*.

Нулю по шкале Кельвина ($T=0^{\circ}\text{K}$) соответствует температура, равная по шкале Цельсия $t \cong -273,16^{\circ}\text{C}$, рис. 18.1. При такой температуре должно прекращаться тепловое движение молекул всякого вещества. Поэтому ниже значения температуры $T=0^{\circ}\text{K}$



Английский физик
Кельвин
(1824-1907)

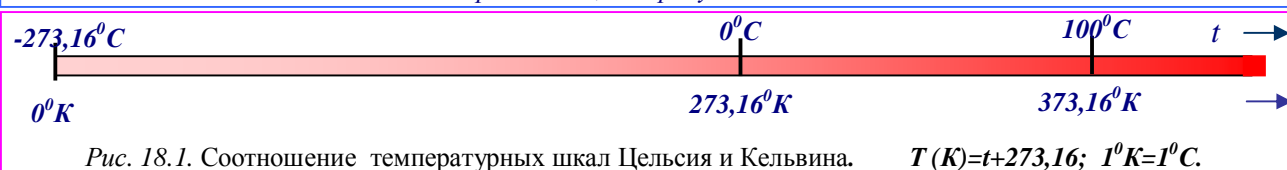
Даже при весьма низких температурах, вблизи нуля абсолютной температуры молекулы вещества движутся достаточно быстро.

Например, согласно расчетам скорость движения молекул водорода:

при $t = -270$ градусах - около 200 м/с

при $t = -273$ градуса - около 40 м/с

при $t = -273,145$ градуса - 8 м/с.



охлаждение тел невозможно. К такой температуре можно лишь приблизиться, но **достигнуть $0^{\circ}K$ невозможно**. Это означает, что **тепловое движение молекул полностью прекратить невозможно**.

14⁰. Абсолютная температура газа является мерой средней кинетической энергии его молекул: $T \sim u_{cp} = U_k / N = (mv^2 / 2)_{cp}$ (здесь U_k – суммарная кинетическая энергия всех молекул, а u_{cp} – средняя кинетическая энергия каждой молекулы; N – число всех молекул).

Если температуры T различных тел равны, то равны и средние значения кинетической энергии u_{cp} их молекул. А это значит, что при одинаковой температуре различных тел молекулы, имеющие большую массу, движутся с меньшими скоростями. При одинаковых скоростях молекул, температура будет выше у того вещества, масса молекул которого больше. Более того, средняя кинетическая энергия молекулы и броуновской частицы, участвующих в тепловом движении, одинаковы.

Например, средние скорости движения молекул водорода (H_2) при температуре $0^{\circ}C$ – 1700 м/с, азота (N_2) – 450 м/с, а кислорода (O_2) – 425 м/с. Это обусловлено тем, что масса молекулы азота в 14, а кислорода в 16 раз больше массы молекулы водорода. И уж совсем малую скорость имеет броуновская частицы, масса которой очень велика по сравнению с массой молекул. Поэтому движение броуновских частиц легко

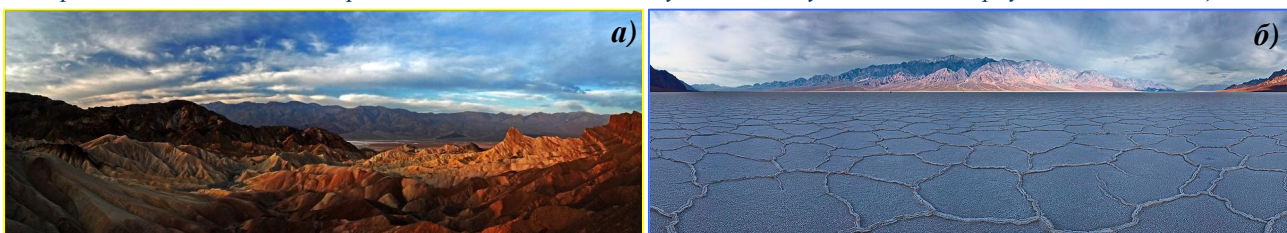


Рис. 19.1. Очень высокие температуры на Земле ($57^{\circ}C$) зафиксированы в Долине Смерти в Калифорнии: а) типичный вид с одной из вершин; б) дно соляного озера, 85 м ниже уровня моря.



Рис. 20.1. Очень низкая температура на Земле ($-89,6^{\circ}C$) зарегистрирована на советской исследовательской станции «Восток» в Антарктике (а). А на континенте ($-67,8^{\circ}C$) – в районе Верхоянска, в Якутии (б, в).

наблюдать с помощью микроскопа, рис.4.1.

15⁰. Температура в различных точках Земли может отличаться на $\approx 150^{\circ}$, рис. 19.1; 20.1. Температура тела человека – около $+36,6^{\circ}C$, а при $42^{\circ}C$ человек теряет сознание.

Над головой у человека температура выше температуры окружающей среды на $1 \div 1,5^{\circ}C$.

Температура животных: собаки $+38,5 \div 39^{\circ}C$; лошади $+38^{\circ}C$, овцы $+40^{\circ}C$, курицы $+41^{\circ}C$.

Температура в центре Земли $\approx +5\ 000 \div 10\ 000^{\circ}C$.

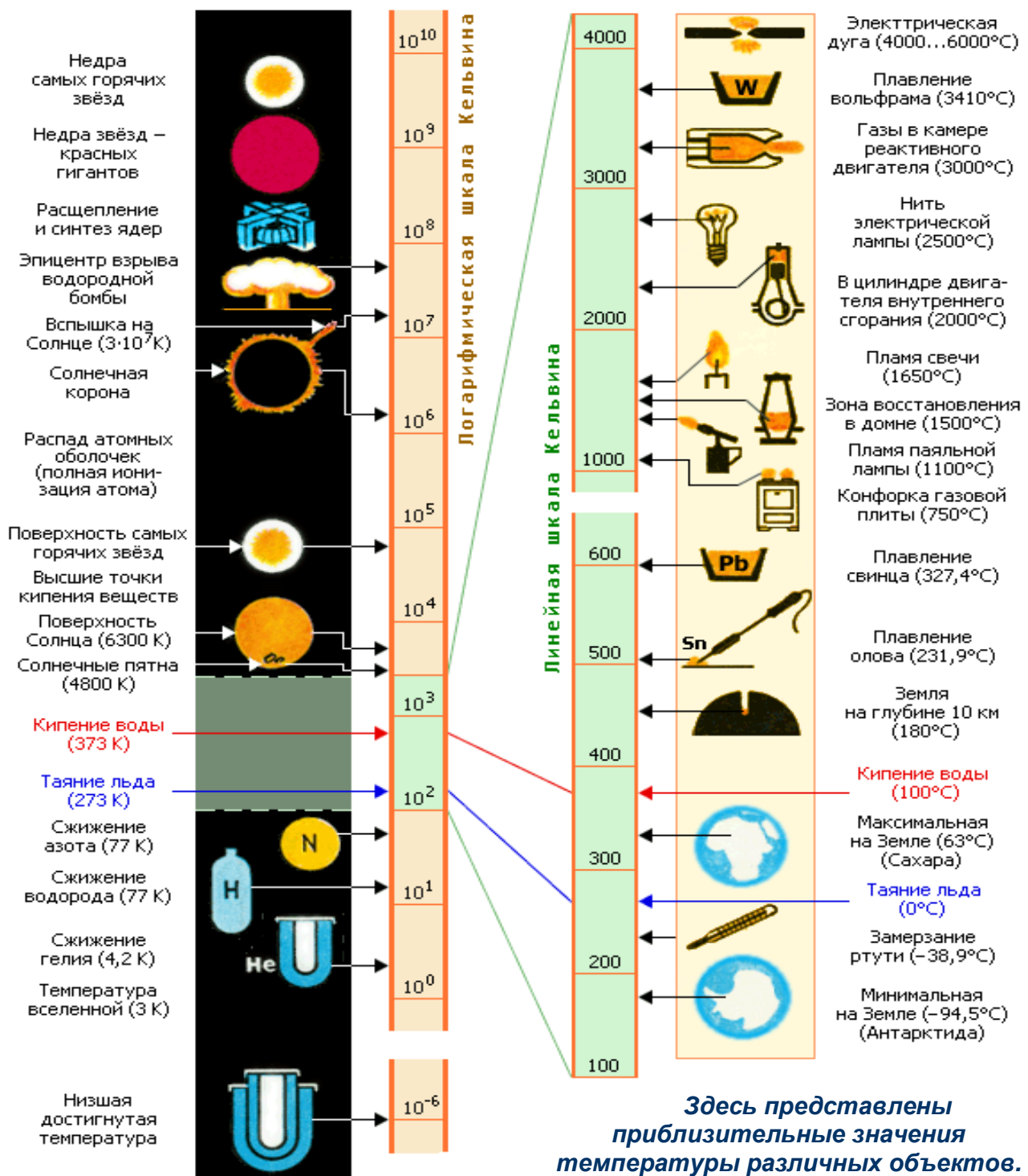
Температура на поверхности Солнца $\approx 6000^{\circ}C$; в центре $\approx 20\ 000\ 000^{\circ}C$, (см. табл. ниже).



Вопросы

1. Что такое макроскопическое тело? Приведите примеры макроскопических тел.
2. Чем отличается движение молекул в газах, жидкостях и твёрдых телах?

3. Что такое тепловое движение молекул?
4. Чем отличается тепловое движение от обычного механического движения тел?
5. Как протекает диффузия при более высокой и более низкой температурах?
6. В чём различие движения молекул холодной и тёплой воды?
7. На чём основана работа ртутного и спиртового термометров?
8. Почему при измерении температуры тела человека необходимо держать градусник подмышкой несколько минут?
9. Что такое абсолютная температура тела? Как связаны температуры шкал Цельсия и Кельвина между собой?
10. Можно ли достигнуть нулевого значения абсолютной температуры? Почему?
11. От какой физической величины зависит температура?
12. Если температура газов одинакова, но средние скорости их молекул различны, что можно сказать о массах их молекул?



§2. ПОЛНАЯ И ВНУТРЕННЯЯ ЭНЕРГИЯ

1⁰. Мы знаем, что существует два вида механической энергии: *потенциальная E_n* и *кинетическая E_k* .



Рис. 21.1. Потенциальной энергией E_n обладает лежащий на высоте камень; поднятая гиря; растянутая пружина динамометра и экспандера; поднятые маятники Фуко, настенных часов; яблоко на дереве...

Потенциальной энергией E_n обладают тела, которые взаимодействуют друг с другом – притягиваются или отталкиваются. Например, потенциальной энергией обладает камень, поднятый над Землей, сжатая или растянутая пружина, сжатый газ, рис.21.1.

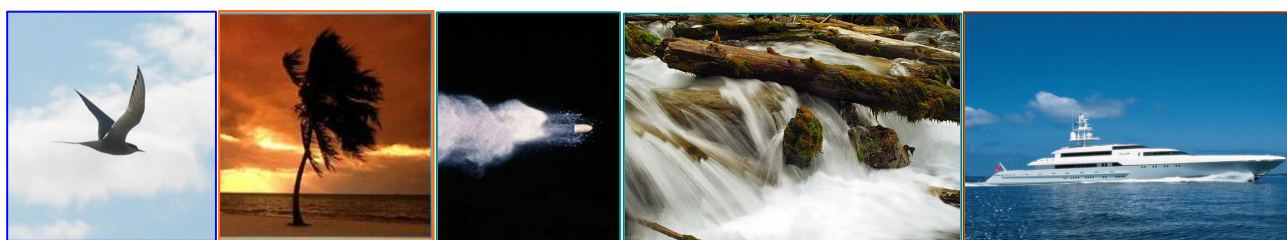


Рис. 22.1. Кинетической энергией E_k обладает летящая птица; ветер; пуля; поток воды; плывущая яхта...

Кинетической энергией E_k обладают движущиеся тела: падающий камень, текущая вода, ветер, катящийся мяч, летящая пуля, рис. 22.1. Значение кинетической энергии зависит от массы движущегося тела и от его скорости.

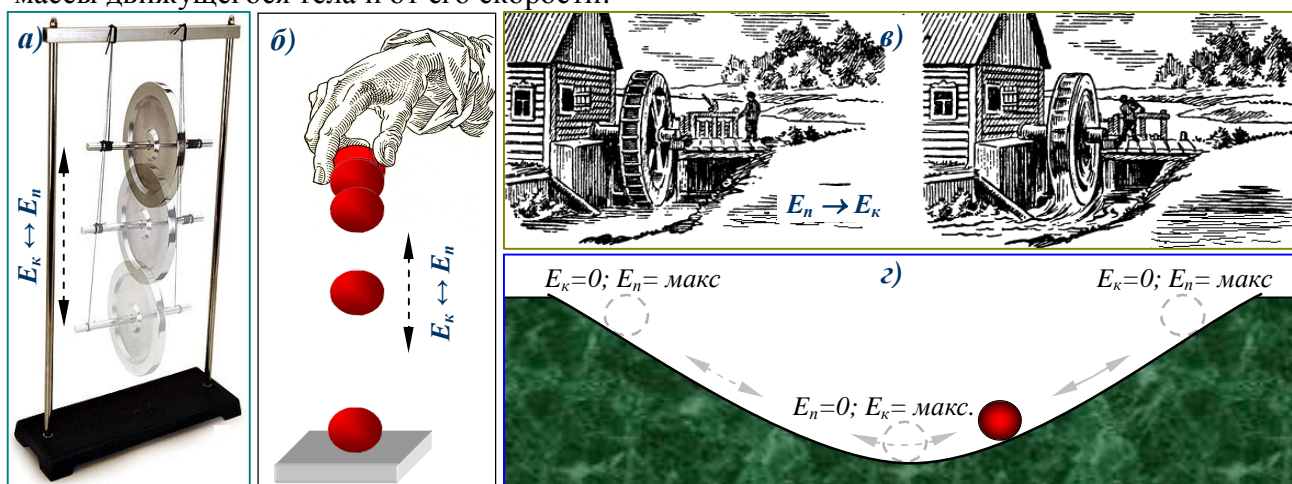


Рис. 23.1. Потенциальная и кинетическая энергии могут превращаться друг в друга: а) это происходит с маятником Фуко (если сначала ему была сообщена кинетическая энергия вращения); б) с упругим шариком, упавшим с некоторой высоты на упругую поверхность; в) с водой реки, потенциальная энергия которой перед плотиной переходит в кинетическую энергию быстрого потока, вращающего колесо мельницы; г) с шариком, скатывающимся в ямку... Но **точно ли** в этих случаях выполняется равенство $E = E_k + E_n$?

Потенциальная и кинетическая энергии могут превращаться друг в друга (рис. 23.1), но их сумма $E = E_k + E_n$ – *полная механическая энергия*, в соответствии с законом сохранения механической энергии (см. формулу [9.4] §72 Пособия 7 класса), изменяться не должна. Однако опыт показывает, что это имеет место лишь в *идеальном* случае.

В *реальном мире* дело обстоит сложнее. При трении тел, при неупругих соударениях их полная *механическая энергия E* уменьшается. Но она не исчезает бесследно. Чтобы разобраться в подобных явлениях, следует проследить за изменением *состояний* взаимодействующих тел, исследовать процессы, происходящие *внутри* их.

Оказывается, что *механическая энергия в результате трения и деформаций при ударе превращается* (частично или полностью) *во внутреннюю энергию* – энергию молекул взаимодействующих тел.

Рассмотрим пример. Свинцовый шар, лежащий на свинцовой плите, поднимем вверх и отпустим, (рис. 24.1). При падении шар ударился о плиту, остановился, сплюснулся, а на плите образовалась ямка. Таким образом, потенциальная энергия шарика сначала перешла в кинетическую, которая после удара и остановки шарика исчезла, но изменилось *состояние* взаимодействующих тел – шара и плиты. Они *деформировались и нагрелись*.

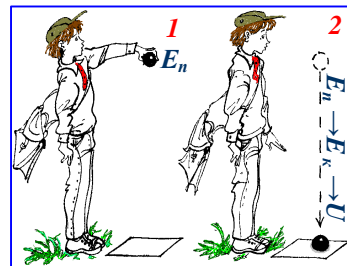


Рис. 24.1. При падении потенциальная энергия E_n свинцового шарика (1) переходит в кинетическую, а потом во внутреннюю: $E_n \rightarrow E_k \rightarrow U$ (2)

2⁰. Дело в том, что реальные макроскопические тела, состоящие, в соответствии с *МКТ*, из колоссального количества микрочастиц, всегда обладают ещё и *внутренней энергией U*, которая до сих пор нами не рассматривалась. На самом деле *полная энергия макроскопического тела E* включает в себя:

- а) кинетическую энергию механического (макроскопического) движения тела E_k ;
- б) его потенциальную энергию взаимодействия с другими внешними телами E_n ;
- в) внутреннюю энергию U .

В виде формулы это записывается так, рис. 25.1:

$$E = E_n + E_k + U = E + U. \quad [1.1]$$



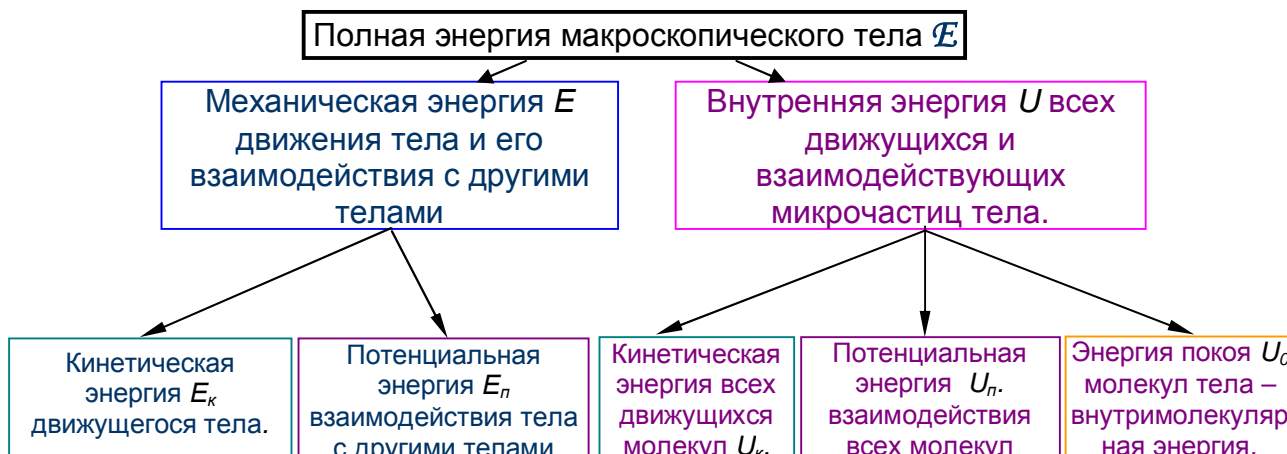
Рис. 25.1. Мы наблюдаем лишь механическое движение и положение макроскопических тел: а) танцующие люди; б) бегущее животное; в) летящий самолет; едущий г) автомобиль и д) паровоз. Кроме механической энергии E , эти объекты обладают ещё и внутренней энергией U . Во всех случаях их полная энергия $E = E + U$.

К внутренней энергии U относится

- 1) кинетическая энергия хаотического (теплового) движения всех микрочастиц тела U_k ;
- 2) потенциальная энергия взаимодействия всех микрочастиц тела U_n ;
- 3) суммарная энергия покоя всех микрочастиц тела U_o :

$$U = U_k + U_n + U_o. \quad [2.1]$$

Вместо формул [1.1] и [2.1], можно нарисовать такую таблицу:



!!! Не следует путать **механическую** энергию тела как макроскопического объекта (для обозначения которой используется буква E) и его **внутреннюю** энергию, энергию его микрочастиц (для этого используется буква U).

3⁰. Итак, *внутренняя энергия тела U включает в себя кинетическую энергию U_k всех молекул тела, потенциальную энергию U_n их взаимодействия, а также суммарную энергию покоя U_o всех молекул тела – внутримолекулярную энергию.*

Во всех телах молекулы движутся и взаимодействуют. Поэтому все тела обладают внутренней энергией U : и воздух; и гранитная статуя; и тело с температурой $t=0^\circ\text{C}$; и тело с температурой $t=-200^\circ\text{C}$, рис. 26.1.

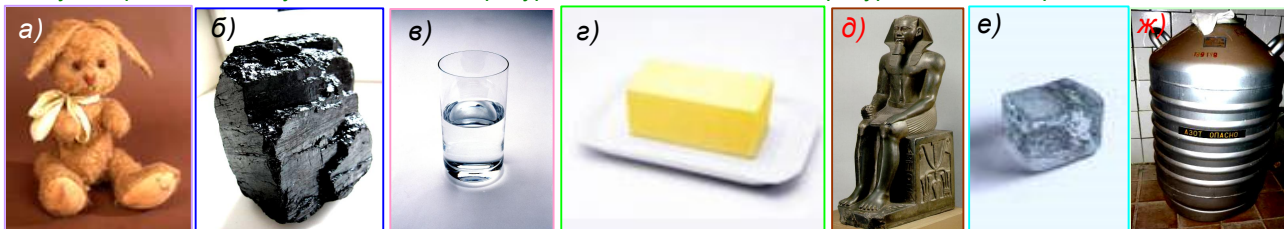


Рис. 26.1. Все тела обладают внутренней энергией: и датская игрушка (а), и уголь (б), и вода в стакане (в), и масло (г), и гранитная статуя фараона (д), и кусочек льда (е), и жидкий азот (ж).

Однако, часто при исследовании механических и тепловых явлений полагают $U_o=0$ (мы тоже обычно будем делать такое допущение). Но, если рассматриваются процессы связанные с *внутримолекулярной энергией*, например, со сгоранием топлива (с химическими реакциями, в которых участвуют валентные электроны атомов), изменения этой энергии необходимо учитывать.

Вообще, под U_o понимают суммарную энергию химических связей, энергию ионизации атомов, энергию связей нуклонов в ядрах и все прочие известные и неизвестные виды энергии, "запасенные" *внутри* молекул тела. U_o – это *внутримолекулярная* энергия.

Обратите внимание, что *внутренняя энергия U зависит лишь от внутреннего состояния тела, но не зависит, ни от его механического движения, ни от положения этого тела относительно других тел.*

4⁰. Итак, *внутренняя энергия U включает в себя кинетическую и потенциальную энергию молекул. Но увидеть или непосредственно измерить U_k и U_n мы не можем – молекулы слишком малы и их слишком много. Поэтому пользуются другими, *макроскопическими* параметрами, которые можно измерить. Такими параметрами могут быть температура T и объём V тела. Это можно понять из следующих соображений.*

Вы знаете, что *кинетическая* энергия молекул U_k увеличивается при повышении температуры, так как увеличивается их средняя скорость. Поэтому *с повышением температуры внутренняя энергия тела увеличивается. Наоборот, с понижением температуры внутренняя энергия тела уменьшается. Таким образом, **внутренняя энергия тела меняется при изменении его температуры T .***

Потенциальная энергия молекул U_n изменяется с изменением расстояний между ними. Поэтому ***внутренняя энергия тела, имеющего данную температуру T , будет изменяться при изменении его объёма V .*** Однако это существенно лишь для жидкостей и твёрдых тел, но не для газов. Расстояния между молекулами газов столь велики, что их взаимодействием можно пренебречь. По этой причине ***внутренняя энергия газов практически полностью определяется их температурой T ¹.***

Кратко (математически) это записывается так: у жидкостей и твёрдых $U(T, V)$; у газов $U(T)$.

5⁰. Если рассматривать кинетическую и потенциальную энергию одной молекулы, то это очень маленькая величина, ведь масса молекулы очень мала. Поскольку в теле содержится множество молекул, то внутренняя энергия тела, равная сумме энергий всех молекул, будет велика. ***Внутренняя энергия макроскопических тел – это самая большая энергия, известная сегодня.***

За счет внутренней энергии тело может совершать механическую работу, не вызывая убыли механической энергии E этого тела. Более того, ***механическая энергия E способна увеличиваться за счёт убыли внутренней энергии U .***

¹ В общем случае внутренняя энергия тела зависит от его температуры, от того, является ли тело твердым, жидким или газообразным, как велика его поверхность, является ли оно сплошным или мелко раздробленным и. т. д.

Например, взлетает ракета, рис. 27.1. Она совершает механическую работу против сил тяжести и сопротивления воздуха. Потенциальная энергия ракеты E_n возрастает, так как она все выше поднимается над Землей. Её кинетическая энергия E_k тоже возрастает, так как ракета приобретает все большую скорость. Следовательно, сумма этих энергий, то есть механическая энергия ракеты E , тоже увеличивается. Но, казалось бы, при совершении телом работы его энергия должна уменьшаться! В чем же дело? А дело в том, что увеличение механической энергии ракеты E происходит за счет убыли её внутренней энергии U , так как в ракете сгорает топливо (тоже самое происходит и с объектами, изображенными на рис.25.1). При сгорании топлива выделяется внутримолекулярная энергия (для живых существ топливом является пища).

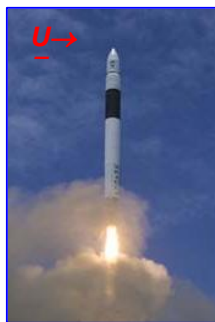


Рис. 27.1. Ракета поднимается, увеличивая скорость. Её потенциальная E_n и кинетическая энергия E_k возрастают. Следовательно механическая энергия ракеты $E = E_n + E_k$ тоже увеличивается за счет убыли её внутренней энергии U .

Обратите внимание, что в данном примере закон сохранения **механической** энергии опять «нарушается», но в *другую сторону* (сравните п. 1⁰.): механическая энергия E ракеты *возрастает* за счёт внутренней энергии!

На приведенных примерах данного параграфа видно, как учёт внутренней энергии разрушил симметрию простой модели механических явлений без трения. Но такое усложнение познавательной модели открывает возможности гораздо более глубокого познания природы. В данном случае вы узнали о существовании ещё одного вида энергии – **внутренней энергии U** .

В подобных случаях вспоминается известное высказывание А. Эйнштейна: «Пока математический закон отражает реальную действительность, он не точен; как только математический закон точен, он не отражает реальную действительность». Это высказывание великого физика отражает особенности симметрии природы (стр. 189 Пособия 7 класса).

Способам использования внутренней энергии уделяется большое внимание в науке и технике. Сегодня наиболее часто на нужды человека используется внутренняя энергия топлива² и "горячих" тел. Это нефть, уголь, газ, вулканические воды, солнечное излучение. Кроме того, в XX веке человек научился использовать внутреннюю энергию так называемых радиоактивных элементов – урана, плутония и других веществ. К сожалению, огромную внутреннюю энергию, выделяющуюся при взрыве ядерной бомбы, люди в мирных целях пока использовать не научились.



Вопросы

1. Какие превращения энергии происходят при подъёме и падении тел? В частности, какие превращения энергии происходят при падении свинцового шарика?
2. Что такое внутренняя энергия макроскопического тела?
3. Из чего складывается полная энергия макроскопического тела? Напишите формулы; разъясните смысл отдельных слагаемых.
4. Чем отличается механическая энергия тела от его внутренней энергии?
5. Зависит ли внутренняя энергия тела от его движения или положения его относительно других тел?
6. От каких макроскопических параметров зависит внутренняя энергия твёрдых тел, жидкостей, газов? Почему? Как это записать математически?
7. В каких случаях внутренняя энергия может увеличиваться, а в каких – уменьшаться? Что при этом происходит с механической энергией? Почему?
8. Приведите примеры использования внутренней энергии.

² Точнее следует говорить: «химическая энергия при сгорании топлива». При сгорании, кроме топлива, всегда участвует и окислитель – обычно кислород воздуха.

§3. ДВА СПОСОБА ИЗМЕНЕНИЯ ВНУТРЕННЕЙ ЭНЕРГИИ.

1⁰. Изменения внутренней энергии тела могут происходить двумя способами¹:

1) *совершением работы;*

2) *теплопередачей – без совершения работы.*

Конечно, возможны и такие случаи, когда имеют место одновременно и совершение работы и передача теплоты.

2⁰. Увеличение температуры тела ($\Delta T > 0$) и, следовательно, внутренней энергии ($\Delta U > 0$), всегда происходит, когда совершается **работа против сил трения**.

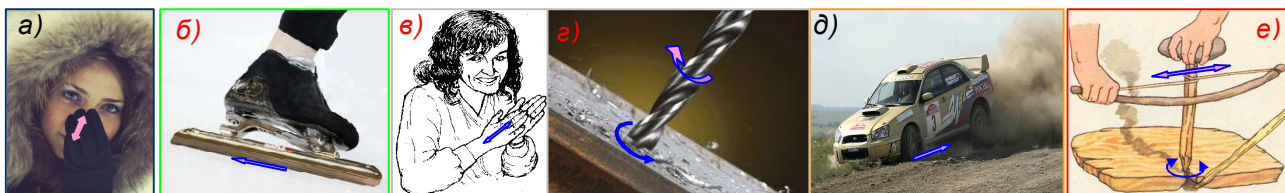


Рис. 28.1. В результате работы сил трения (которые показаны *стрелками*), температура повышается и внутренняя энергия увеличивается ($\Delta U > 0$). При трении замёрзший на морозе нос согревается (а). При трении коньков о лёд, температура повышается, лёд тает, образуется водяная смазка, улучшающая скольжение (б). При трении рук, они согреваются (в). При сверлении сверло и деталь сильно нагреваются (г). При торможении автомобиля нагреваются тормоза и другие трущиеся детали (д). При добывании огня трением деревянной палочки о дерево происходит их нагревание и воспламенение (е).



Рис. 29.1. При торможении вагона колесо и тормозные колодки нагреваются (а). При входе в атмосферу комета имеет огромную кинетическую энергию, которая в результате трения полностью переходит во внутреннюю энергию: выделяется огромное количество тепла и комета сгорает. До Земли долетает её небольшая часть, или сгорает всё (б). Проблема перегрева возникает при вхождении в атмосферу из космоса многоразового космического корабля «Буран». Поэтому его корпус покрыт теплоизоляцией (в).

Мы можем легко обнаружить это, потирая замёрзший нос или руки. Нагревание тел при движении связано с преодолением сил трения и бывает очень сильным. Первобытные люди, как известно, добывали огонь быстрым трением сухих кусков дерева друг о друга. При торможении поезда тормозные колодки сильно нагреваются. При спуске корабля со ступеней на воду для уменьшения трения ступени обильно смазываются, и все же нагревание так велико, что смазка дымится, а иногда даже загорается.

При движении тел в воздухе с небольшими скоростями, например при движении брошенного камня, сопротивление воздуха невелико, на преодоление сил трения затрачивается небольшая работа, и камень практически не нагревается. Но быстро летящая пуля разогревается значительно сильнее. При больших скоростях реактивных самолетов приходится уже принимать специальные меры для уменьшения нагревания обшивки самолета. Мелкие метеориты, влетающие с огромными скоростями (десятки км/с) в атмосферу Земли, испытывают столь большую силу сопротивления среды, что полностью сгорают в атмосфере. Нагревание в атмосфере искусственного спутника Земли возвращающегося на Землю, так велико, что на нем приходится устанавливать специальную тепловую защиту. Подобные явления иллюстрируют *рис.28.1 – рис.29.1*,

¹ Далее будем предполагать, что масса рассматриваемых тел не изменяется.

3⁰. Кроме нагревания, трущиеся тела могут испытывать и другие изменения. Они очень разнообразны. Например, тела могут измельчаться, растираться в пыль, может происходить плавление, т. е. переход тел из твердого в жидкое состояние: кусок льда может расплавиться в результате трения о другой кусок льда или о какое-либо иное тело, например, коньки фигуриста. То же самое происходит со снегом при движении лыжника, *рис. 30.1*. Во всех



Рис. 30.1. При натирании моркови (а) происходит её измельчение и незначительное нагревание. Однако, при размалывании кофе (б) происходит заметный нагрев и дробление зёрен. При пилке дров происходит нагрев пилы и дерева, отделение полена и образование опилок (в). То же происходит при заточке карандаша (г). При заточке инструментов (д) происходит сильный нагрев инструмента и точильного круга, а также образование опилок. При движении лыжника (е) происходит нагрев и плавление снега, что обеспечивает лёгкость скольжения. Подобное явление происходит при скольжении конькобежца, см. рис.28.1.

этих случаях **совершённая над телом работа приводит к увеличению его внутренней энергии**.

3⁰. В 7 классе вы рассматривали явление соударения **упругих тел** – **стального шарика и стальной плиты**. Там говорилось о взаимном преобразовании потенциальной и кинетической энергии $E_k \leftrightarrow E_n$. А только что, в §2, рассматривалось соударение **неупругих (пластичных) тел** – **свинцовых шара и плиты**, когда вся механическая энергия преобразовалась во внутреннюю: $E \rightarrow U$. Чтобы понять эти явления следует рассмотреть их глубже.

Что же происходит? При поднятии шара (массой m на высоту h), совершается **работа над телом** против его силы тяжести $F_T = mg$. В результате после его падения и удара о плиту переход механической энергии во внутреннюю энергию может быть полным или частичным – в зависимости от вещества соударяющихся тел, *рис. 31.1*. В **случае а)** шарик и плита обладают высокой степенью **упругости**, а в **случае б)** – **пластичностью**².

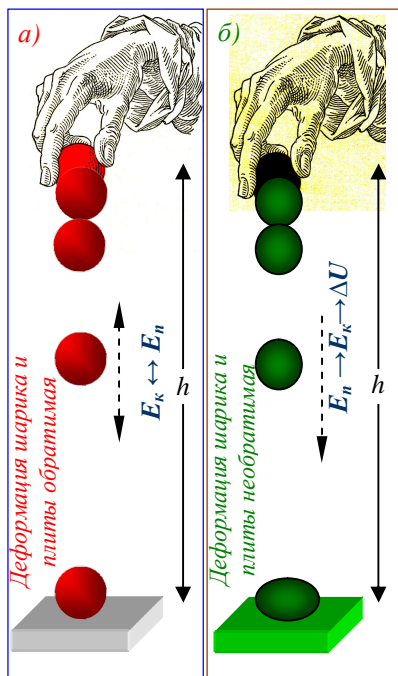


Рис.31.1. При падении шарика массой m с высоты h на плиту, его потенциальная энергия $E_n = mgh$ переходит в кинетическую $E_k = mv^2/2$. После удара изменения будут зависеть от свойств материала, из которого сделаны шарик и плита. Рассмотрим два предельных случая а) и б).

Случай а). Шарик и плита **абсолютно упругие**. Это значит, что **после удара кинетическая энергия шарика сохраняется, а направление движения меняется на противоположное – вверх**. При движении вверх вся кинетическая энергия вновь переходит в потенциальную. На высоте h шарик останавливается. Затем всё повторяется. При этом **суммарная механическая энергия E всё время сохраняется, поочерёдно переходя из одного вида в другой: $E_k \leftrightarrow E_n$** .

Высокой степенью упругости обладает углеродистая сталь. Но и в этом случае реальное движение не будет происходить бесконечно долго (обратно). Постепенно высота подъёма шарика будет уменьшаться. Затем он остановится: его механическая энергия перейдёт в тепло $E \rightarrow \Delta U$.

Случай б). Шарик и плита **абсолютно неупругие** (пластичные) – например, сделаны из свинца, пластилина или теста. В этом случае сразу после падения шарик и плита деформируются, слипнутся, их температура увеличится: **вся механическая энергия перейдёт в тепло – внутреннюю энергию $E \rightarrow \Delta U$** .

Реально, конечно, **абсолютно упругих** или **неупругих** тел не существует. Но **упругость** или **пластичность** различных тел проявляются в разной степени.

В **случае а)** механическая энергия сохраняется: $E = \text{const}$; в **случае б)** – переходит во внутреннюю: $E \rightarrow \Delta U$. После удара свинцового шара о свинцовую плиту они нагреваются и

² Напомним, что **упругие деформации исчезают после того, как действие вызвавших их сил прекращается, и в этом смысле являются обратимыми (тела вновь возвращаются в исходное состояние), а неупругие (пластические) деформации не исчезают после прекращения действия вызвавших их сил и в этом смысле являются необратимыми (после неупругого удара тела слипаются вместе).**

деформируются, слипаясь вместе. Внутренняя энергия их увеличивается за счёт произведенной ранее работы (если бы шар не подняли, не было бы ни удара, ни деформации, ни нагревания).

Очевидно, **реальные взаимодействия тел занимают промежуточное место между абсолютно упругими и абсолютно неупругими.**

4⁰. При деформации тел их внутренняя энергия может, как увеличиваться, так и уменьшаться. Это зависит от того, совершается ли работа внешними силами над телом, или

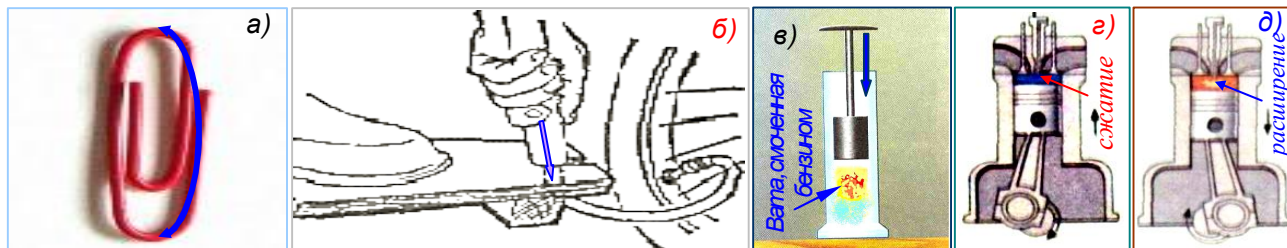


Рис. 32.1. При деформации тел их внутренняя энергия может увеличиваться или уменьшаться ($U \uparrow \downarrow$), в зависимости от того, совершается ли работа над телом, или её совершает само тело. В данных примерах представлены и те и другие случаи: а) при изгибах скрепки над ней совершается работа, она нагревается; б) при закачивании воздуха в камеру над ним совершается работа, он нагревается; в) при сжатии смесь бензина и воздуха нагревается (так как над ней совершается работа) и воспламеняется; г) то же самое происходит в цилиндре двигателя автомобиля при сжатии смеси бензина и воздуха; д) при расширении продукты сгорания совершают работу – толкают поршень и охлаждаются.

самим телом против внешних сил, рис. 32.1.

5⁰. Теперь рассмотрим два примера, в которых произведённая над телами работа увеличивает их внутреннюю энергию, а затем часть этой внутренней энергии переходит в механическую энергию, рис. 33.1³.

Опыт 1. Укрепим тонкостенную латунную трубку на подставке (рис.33.1а). Нальем в трубку немного эфира и закроем пробкой. Затем трубку обвяжем веревкой и начнем быстро двигать ее, то в одну сторону, то в другую. Через некоторое время эфир закипит, и пар вытолкнет пробку. Опыт показывает, что внутренняя энергия эфира увеличилась: ведь он нагрелся и даже закипел. Увеличение внутренней энергии произошло в результате совершения **работы силы трения** при натирании трубки веревкой.

Однако, с момента вылета пробки и паров эфира начался процесс перехода части приобретённой внутренней энергии в механическую. Пары эфира, выталкивая пробку, совершают работу. Эта работа совершается ими за счёт приобретённой ранее внутренней энергии. При этом эфир, трубка и пробка охлаждаются, их внутренняя энергия уменьшается.

Опыт 2. В толстостенный стеклянный сосуд, закрытый пробкой, накачаем воздух через специальное отверстие в ней (рис. 33.1б). Происходит сжатие воздуха, он нагревается, его внутренняя энергия увеличивается.

Однако, через некоторое время пробка выскочит из сосуда. В момент, когда пробка выскакивает из сосуда, образуется туман. Его появление означает, что воздух в сосуде стал холоднее. Находящийся в сосуде сжатый воздух, выталкивая пробку, совершает работу. Эту работу он совершает за счёт своей внутренней энергии, которая при этом уменьшается. Судить об уменьшении внутренней энергии можно по охлаждению воздуха в сосуде.

Итак, **внутреннюю энергию тела можно изменять, совершая работу. Если работа совершается внешними силами над телом, его внутренняя энергия увеличивается. Если работу совершает тело против внешних сил, его внутренняя энергия уменьшается.**

6⁰. Внутреннюю энергию тела можно изменить и другим способом, без совершения работы.

Например, вода в чайнике на огне, закипает (рис. 34.1). Воздух и различные предметы в комнате нагреваются от радиатора центрального отопления. Внутренняя энергия в

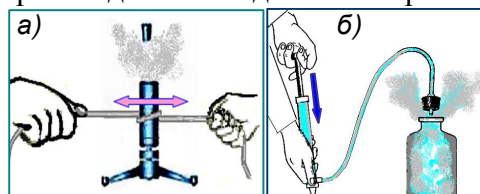


Рис. 33.1. а) Работа сил трения увеличивает внутреннюю энергию. б) Сжимая воздух в бутылке, мы совершаем работу и увеличиваем его внутреннюю энергию. Но после вылета пробки происходит расширение и охлаждение эфира и воздуха. Они совершают работу против внешних сил. Их внутренняя энергия уменьшается, а механическая энергия увеличивается.

³ Эти примеры рассматриваются в учебнике А. В. Пёрышкина.



Рис. 34.1.
Подогреваемая вода в чайнике закипает

этих случаях увеличивается, так как повышается температура тел. Но при этом работа не совершается.

Рассмотрим ещё пример.

Опустим в стакан с горячим чаем холодную металлическую ложку, рис. 35.1. Кинетическая энергия молекул горячей воды больше, чем кинетическая энергия молекул холодного металла. Молекулы горячего чая будут передавать часть своей кинетической энергии частицам холодного металла. В результате этого энергия молекул чая в среднем будет



Рис. 35.1.
Температуры чая и ложки постепенно выравниваются.

уменьшаться, а энергия частиц металла будет увеличиваться. Температура воды уменьшится, а температура ложки – увеличится. Постепенно их температуры выравниваются. На этом опыте мы наблюдали изменение внутренней энергии тел, но никакой работы не совершалось.

Если сосуд с водой выставить на мороз, их температура будет понижаться, внутренняя энергия будет уменьшаться, но никакой работы совершаться не будет.

Процесс изменения внутренней энергии без совершения работы называется теплопередачей.

Итак, **внутреннюю энергию тел можно изменить путем теплопередачи – подводя или отводя от них теплоту, нагревая или охлаждая их.**

Теплопередача всегда происходит в определенном направлении: от тел с более высокой к телам с более низкой температурой. Когда температуры тел выравниваются, теплопередача прекращается.

7°. В следующем параграфе будет подробно рассмотрен процесс теплопередачи. Там вы увидите, что теплопередача может осуществляться тремя способами: 1) теплопроводностью; 2) конвекцией; 3) излучением, рис. 36.1.

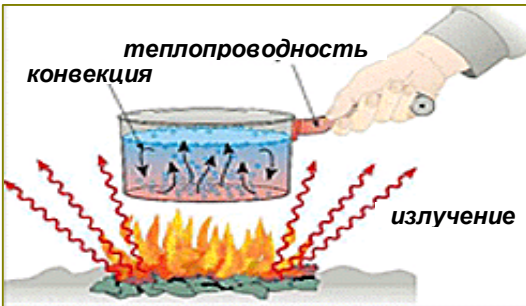


Рис. 36.1. На практике теплопередача обычно осуществляется всеми тремя способами,

Теплопроводность – непосредственная передача теплоты от микрочастиц тела с большей энергией микрочастицам тела с меньшей энергией;

Конвекция – распространение тепла перемещением текучей среды (жидкости, газа) из областей с более высокой температурой в области с менее высокой температурой;

Излучение (радиация) – распространение тепла путем электромагнитных волн.

Теплопередача сопровождает и определяет многие процессы в природе, в технике и в быту.

8°. **Замечание.** В термодинамике (точнее в технической термодинамике) изначально ставилась практическая задача получения механической работы A из теплоты Q . Поэтому теплоту Q , подведённую к телу, и работу A совершаемую телом (полученную), принято считать положительными величинами, а теплоту $Q^* = -Q$ отведённую от тела и работу $A^* = -A$ совершенную над телом (затраченную) – отрицательными, рис.37.1.

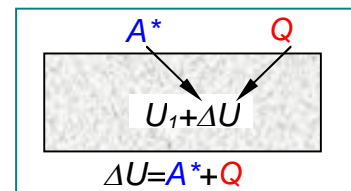
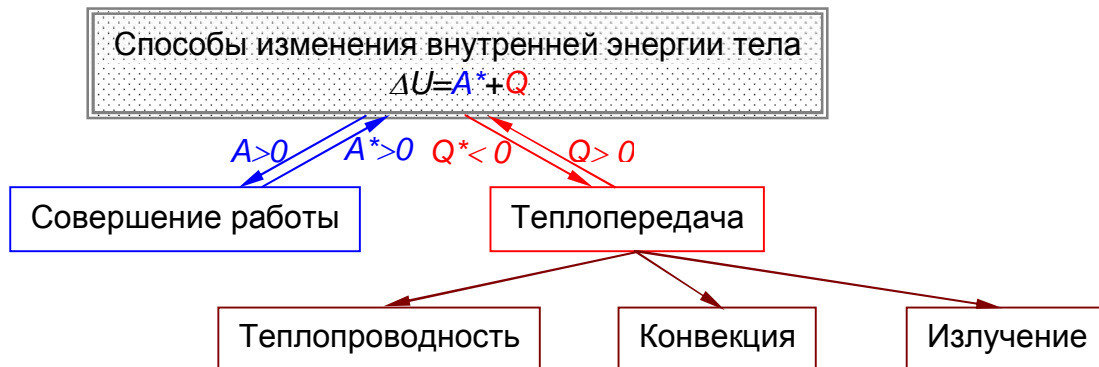


Рис. 37.1. Два способа изменения внутренней энергии $U = U_1 + \Delta U$:
 A^* – работа, совершенная над системой (телом);
 Q – теплота, переданная системе (телу.)

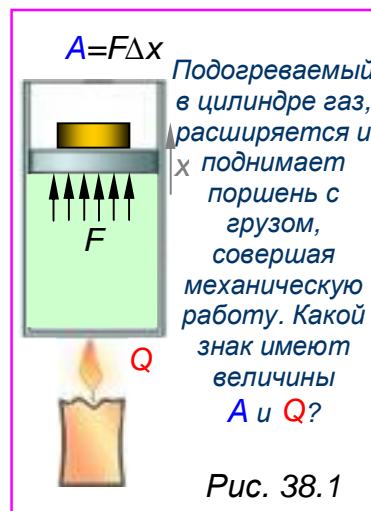
Подогревая чайник (рис. 34.1), вы подводите к нему тепло $Q > 0$. Накачивая насосом велосипедную камеру (рис. 32.1б), вы затрачиваете работу $A^* = -A < 0$, сжимая воздух. Напротив, раскалённые продукты сгорания в двигателе автомобиля давят на поршень, совершая положительную механическую работу $A > 0$ – двигая автомобиль (рис. 32.1д). Радиатор отопления отдаёт теплоту $Q^* < 0$, в воздух в комнате получает эту теплоту $Q = -Q^* > 0$.

Кратко изложенное в этом параграфе можно представить таблицей:



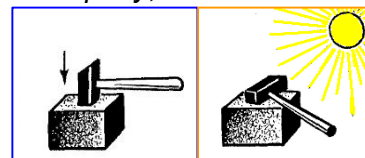
Вопросы

1. Какими двумя способами можно изменять внутреннюю энергию?
2. Пользуясь рис. 28.1-30.1 расскажите, как изменяется внутренняя энергия тел, когда над ним совершают работу против сил трения.
3. Как изменяется внутренняя энергия при соударении тел? Что такое упругое и неупругое взаимодействие тел? Какие преобразования энергии происходят в явлениях, изображенных на рис. 31.1?
4. Как изменяется внутренняя энергия при деформации тел на рис.32.1?
5. Что происходит в опытах, которые иллюстрирует рис. 33.1? Какие преобразования энергии происходят в этих случаях?
6. Каким образом можно изменять внутреннюю энергию тел, не совершая работы? Приведите примеры.
7. Что такое теплопередача (теплообмен)? В каких случаях она происходит между телами и между частями одного и того же тела? Какие три способа передачи тепла существуют?
8. В каких случаях работу и теплоту в технической термодинамике принято считать положительными, а в каких отрицательными величинами? Приведите примеры.



Упражнение

1. Если кусок алюминиевой проволоки расклепать на наковальне или быстро изгибать в одном и том же месте то в одну, то в другую сторону, то это место сильно нагревается. Объясните явление.
2. Молоток нагревается, и когда им бьют, например, по наковальне, и когда он лежит на солнце в жаркий летний день. Назовите способы изменения внутренней энергии молотка в обоих случаях.
3. Два одинаковых латунных шарика упали с одной и той же высоты. Первый упал в глину, а второй, ударившись о камень, отскочил и был пойман рукой на некоторой высоте. Который из шариков больше изменил свою внутреннюю энергию?



Задание

1. Сделайте около 50 интенсивных ударов молотком по железному предмету. Проверьте на ощупь изменение температуры металла и молотка. Объясните явление.
2. Положите монету на лист фанеры или деревянную доску. Прижмите монету к доске и двигайте ее быстро, то в одну, то в другую сторону. Заметьте, сколько раз надо передвинуть монету, чтобы она стала теплой, горячей. Сделайте вывод о связи между выполненной работой и увеличением внутренней энергии тела.

§4. ТЕПЛОПРОВОДНОСТЬ



1⁰. Каждый предмет может служить «мостиком» для перехода тепла. Таким мостиком является, например, чайная ложка, опущенная в стакан с горячим чаем, *рис. 35.1*. Конец ложки, опущенной в стакан, становится теплым уже через секунду.

Явление передачи внутренней энергии от одной части тела к другой или от одного тела к другому при их непосредственном контакте называется теплопроводностью.

При теплопроводности происходит перенос энергии от микрочастиц с большей энергией, к микрочастицам с меньшей энергией, но не происходит переноса вещества.

Изучим это явление, проделав ряд опытов с **твёрдыми телами, жидкостями и газами.**

2⁰. Теплопроводность твёрдых тел.

На примере металлической ложки (*рис. 35.1*) можно предположить, что **металлические предметы очень хорошо проводят тепло**. Это подтверждают и другие опыты. Если нагревать в пламени конец металлического стержня, то скоро весь стержень сильно нагреется. Удержать его в руках мы уже не сможем.

Исследуем передачу тепла от одной части к другой меди и железа на следующем опыте.

Закрепим кусочки толстой медной и железной проволоки в штативах, прикрепив к ним воском по несколько гвоздиков (*рис. 39.1*).

При нагревании свободных концов проволоки в пламени свечи воск будет таять. Гвоздики начнут постепенно отваливаться – несколько раньше от медной, а потом от железной проволоки. Причём сначала отпадут те гвоздики, которые расположены ближе к пламени, затем по очереди все остальные.

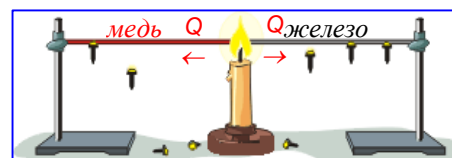


Рис. 39.1. Медь имеет более высокую теплопроводность, чем железо

Передача энергии по проволоке происходит следующим образом. *Скорость колебательного движения микрочастиц металла увеличивается в той части, которая ближе расположена к пламени. Поскольку микрочастицы постоянно взаимодействуют друг с другом, то увеличивается скорость движения соседних микрочастиц. Начинает повышаться температура следующей части проволоки и т. д.*

К хорошим проводникам относятся все металлы. Но наилучшими **из них** являются медь (Cu) и серебро (Ag) – они проводят тепло в два раза лучше, чем железо (Fe).

К плохим проводникам тепла – их также называют **теплоизоляторами** – относятся дерево, кирпич, стекло, пластмассы. Из этих материалов делают стены домов, печей, холодильников. Они проводят тепло в ≈ 1000 раз хуже, чем металлы.

Сковородка с металлической ручкой, очень неудобна, *рис. 40.1а*. Она обжигает руки. Ведь металл хороший проводник тепла. Если сковородке придать деревянную или

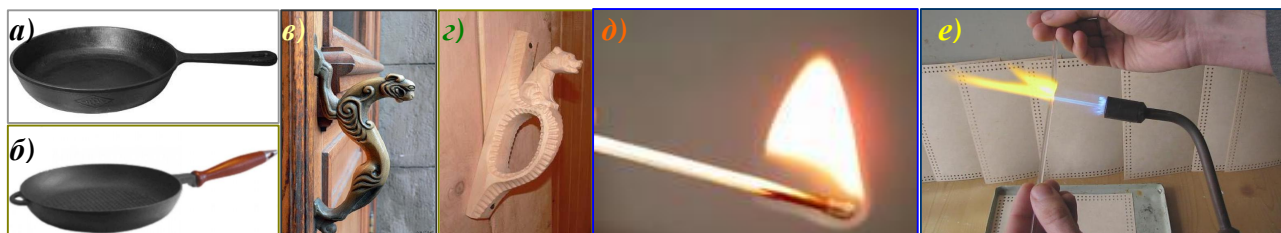


Рис. 40.1. а) сковородка с металлической ручкой очень неудобна – она обжигает руки; б) сковородка с деревянной ручкой лишена этого недостатка. Металлическая (в) ручка дверей прочнее, но деревянная (г) – приятнее; д) при горении другой конец спички не нагревается, его можно держать в руке; е) стеклянная палочка тоже плохо проводит тепло.

пластмассовую ручку (рис 40.1б), управляться с ней будет гораздо проще (но её нельзя будет ставить в духовку – ручка сгорит).

В морозные дни мы остерегаемся на улице притрагиваться голой рукой к металлу, но без опаски беремся за деревянную ручку (рис 40.1в,г).

Когда мы держим горящую деревянную спичку, то почти не ощущаем её нагрева, рис. 40.1д. Значит, дерево обладает *плохой теплопроводностью*.

Внесём в пламя горелки тонкую стеклянную палочку. Через некоторое время она нагреется настолько, что её можно будет легко согнуть. При этом концы палочки остаются холодными, их можно держать руками, рис 40.1е. Следовательно, и стекло имеет *плохую теплопроводность*.

3°. Теплопроводность жидкостей.

Конечно, «мостиком» для перехода тепла может служить не только твёрдое тело.

Жидкости тоже проводят тепло, но много хуже, чем твёрдые металлы.

Прделаем опыты.

Возьмем пробирку с водой. Подогреем её верхнюю часть на огне. При этом нижняя часть пробирки почти не нагреется, рис. 41.1,а.

Теперь положим в воду кусочек льда (придавив его сверху кусочком свинца – чтобы не всплывал) и опять станем нагревать верхнюю часть пробирки. Вода у поверхности скоро закипит. Лед же на дне пробирки за это время растаять не успеет, рис. 41.1,б.

Отсюда следует, что *теплопроводность жидкостей невелика* (за исключением ртути и других расплавленных металлов). Это объясняется тем, что *в жидкостях молекулы расположены друг от друга на больших расстояниях, чем в твердых телах*.

4°. Теплопроводность газов.

Газы проводят тепло в десятки раз хуже, чем жидкости и в тысячи раз хуже, чем металлы. Например, теплопроводность воздуха в 20 000 раз меньше теплопроводности меди!

Прделаем опыт. Сухую пробирку наденем на палец и нагреем в пламени спиртовки доньшком вверх, рис. 42.1,а. Палец при этом долго не почувствует тепла. Значит, и стекло, и воздух плохо проводят тепло.

Плохая теплопроводность газов связана с тем, что расстояние между молекулами газа гораздо больше, чем у жидкостей и твердых тел.

5°. **Теплоизоляторы.** Если возникает необходимость предохранить тело от охлаждения или нагревания, то применяют вещества с малой теплопроводностью. Известно, что плохо проводят тепло материалы, содержащие большое количество воздуха – они хорошие **теплоизоляторы**.

Плохой теплопроводностью обладают: шерсть, волосы, перья птиц, бумага, пробка и другие пористые тела, т. к. между волокнами этих веществ содержится воздух.

Вы хорошо знаете, что толстый пушистый шерстяной свитер надёжно защищает вас от холода. А кирпичи, имеющие внутри большое количество пор, содержащих воздух (рис. 42.1,б), обеспечивают хорошую теплоизоляцию стен построенного дома. В строительстве очень широко используются различные пористые теплоизоляторы – стекловата, пенопласт и т. п.

6°. **Самой низкой теплопроводностью обладает вакуум** (освобожденное от воздуха пространство). Объясняется это тем, что *теплопроводность – это перенос энергии от одной части тела к другой, происходящий взаимодействием молекул или других микрочастиц вещества*. Поэтому в пространстве, где нет частиц, теплопроводность осуществляться не может.

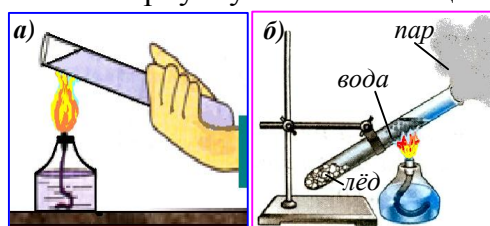


Рис. 41.1. а) при нагреве верхней части пробирки с водой, нижний конец её не нагревается. б) лёд на дне пробирки не тает, т. к. вода плохо проводит тепло.

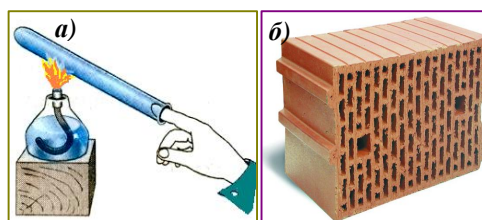


Рис. 42.1. а) при нагревании наполненной воздухом пробирки, её другой конец не нагревается; б) пористый кирпич – хороший теплоизолятор.

Итак, **теплопроводность у различных веществ различна**. Если **нет вещества – нет и теплопроводности**. Однако, как вы увидите чуть позже, передача тепла возможна и в вакууме!

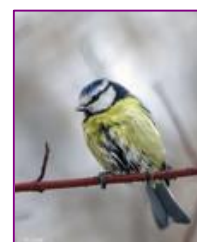


Почему шуба греет?



Вопросы

1. Как происходит передача энергии по металлической проволоке?
2. Объясните опыт (рис. 39.1), показывающий, что теплопроводность меди больше, чем теплопроводность стали.
3. Какие вещества имеют наибольшую и наименьшую теплопроводность? Где их применяют?
4. Почему мех, пух, перья на теле животных и птиц, а также одежда человека защищают от холода?



Почему птицы в холодную погоду сидят нахохлившись?



Упражнение

1. Почему глубокий рыхлый снег предохраняет озимые хлеба от вымерзания?
2. Подсчитано, что теплопроводность сосновых досок в 3,7 раза больше, чем сосновых опилок, теплопроводность льда в 21,5 раза больше, чем свежевыпавшего снега (снег состоит из мелких кристалликов льда). Чем объяснить такую разницу?
3. Греет ли шуба? Для выяснения этого возьмите термометр и, заметив его показание, закутайте в шубу. Спустя полчаса выньте его. Изменились ли показания термометра? Почему?

§ 5. КОНВЕКЦИЯ



1⁰. **Конвекция** (от лат. *convectio* — принесение, доставка, перенос) — это теплообмен в жидких и газообразных средах, осуществляемый потоками (струями) вещества.

Различают два вида конвекции: **естественную** (или свободную) и **вынужденную** (или принудительную).

Естественная конвекция возникает самопроизвольно при неравномерном нагревании вещества в поле тяготения под действием сил Архимеда.

При **вынужденной** (принудительной) **конвекции** перемещение вещества обусловлено действием каких-то внешних сил (насос, лопасти вентилятора и т. п.). Она применяется, когда естественная конвекция является недостаточно эффективной.

2⁰. **Естественная конвекция** иллюстрируется примерами на рис. 43.1-47.1.

На рис. 43.1,а воздух нагревается и «всплывает» вверх, а его место занимает холодный воздух. Вращение бумажной вертушки делает видимыми нагретый поток воздуха.

Такие же явления мы наблюдаем и при нагревании жидкости снизу (рис. 43.1,б,в). Нагретые слои жидкости – менее плотные и поэтому более лёгкие – поднимаются вверх, а их место занимают холодные, более плотные. Благодаря такому движению вода быстро прогревается. Это становится наглядным, если на дно колбы бросить несколько кристалликов марганцовки, которые окрасят струи воды в фиолетовый цвет (рис.43.1,в).



Различают два вида конвекции.
 а) конвекция **естественная** – горячий воздух над пламенем имеет меньшую плотность и «всплывает» вверх.
 б) конвекция **вынужденная** – перемещение воздуха происходит под действием вентилятора.

То же самое происходит при нагревании воздуха радиатором (рис.43.1,з). Нагретый воздушный поток поднимается и над чашкой с горячим кофе, (рис.43.1,д).

На рис. 44.1 показан пример использования конвекции для создания **тяги**.

Вы знаете, что горение топлива без притока свежего воздуха невозможно. Горение

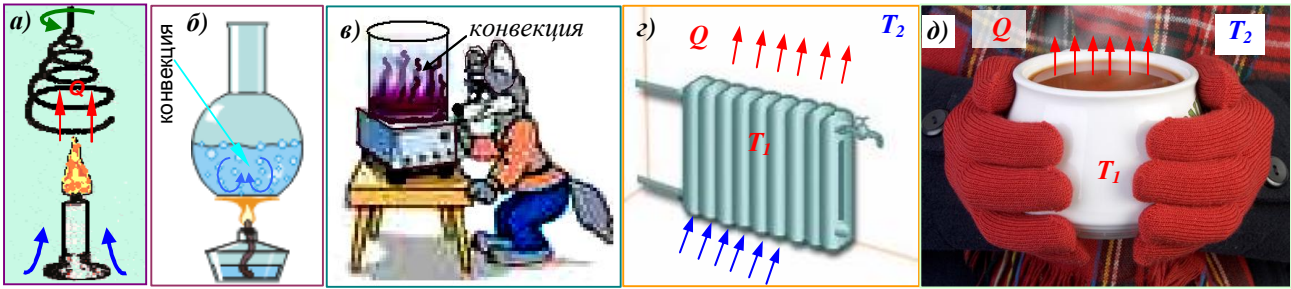


Рис. 43.1. При конвекции теплота Q переносится от горячего тела к холодному горячими массами (струями) жидкости или воздуха. Они имеют меньшую плотность, чем холодные и поэтому (в соответствии с законом Архимеда) поднимаются вверх. а) нагретый над лампочкой воздух при подъеме вращает бумажную вертушку; б) нагретая снизу жидкость поднимается, вызывая в колбе конвективную циркуляцию, быстрое перемешивание и закипание; в) конвективная циркуляция нагреваемой жидкости поднимает марганцовку со дна, становясь видимой; з) нагретый радиатором воздух поднимается, нагревая воздух в комнате; е) от горячего кофе тепло уносится вверх массой воздуха.

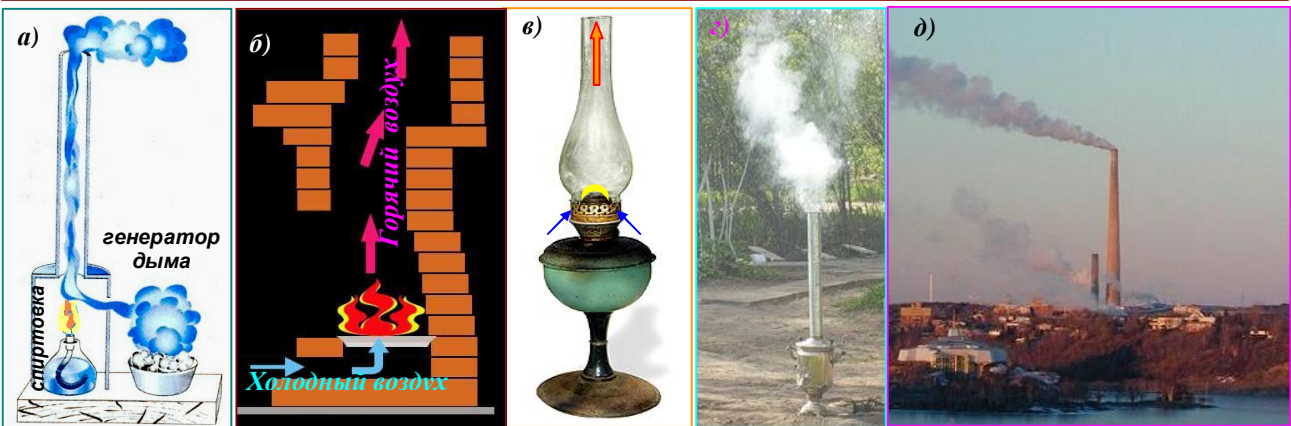


Рис. 44.1. Тяга – естественный приток воздуха в результате подогрева его в нижней части вертикальной трубы. а) Прибор для демонстрации тяги; б) устройство камина – горячий воздух «всплывает», создавая разрежение, подсасывающее холодный воздух; в) в стекле горячей керосиновой лампы воздух нагревается и поднимается вверх, создаётся **тяги** – подсос свежего воздуха снизу, к пламени лампы. Таким же образом тяга создаётся в трубе самовара (з), печных и заводских (д) трубах.



Рис. 45.1. а) Прибор для демонстрации конвекции в системе отопления; б) циркуляция воды в многоэтажном доме; в) циркуляция воздуха в отапливаемой нагретым радиатором комнате: благодаря конвекции поток теплого воздуха поднимается от радиатора вверх, а холодный опускается вниз.

топлива прекратится, если в топку паровоза, самовара, камина не будет поступать воздух. На практике используют естественный приток воздуха – **тяги**.

На рис. 44.1,а изображено устройство для демонстрации тяги. Воздух в «топке», где находится горящая спиртовка, нагревается, а значит, его плотность уменьшается и он «всплывает», поднимаясь по трубе. Давление в «топке» становится меньше давления наружного воздуха. Он подсасывается в топку (задымление делает его видимым). Так возникает **тяги**, которая усиливается при увеличении высоты трубы.

Аналогичные явления происходят в камине, керосиновой лампе, самоваре, а также на фабриках, заводах, электростанциях, (рис.44.1,б-д).

На рис. 45.1,а показан прибор для демонстрации **конвекции в системе водяного отопления**, который представляет собой замкнутый контур, подогреваемый снизу спиртовкой. Нагретая вода поднимается вверх, создавая естественную циркуляцию (обратите внимание, что в верхней части этой системы имеются отверстия для выхода пара, который может образоваться при слишком сильном подогреве воды!).

Так же работает система отопления многоэтажного дома, в которой роль спиртовки выполняет топка, подогревающая водяной котёл, к которому подключены радиаторы отопления (рис. 45.1,в).

В свою очередь, в отапливаемом помещении благодаря естественной конвекции поток теплого воздуха от радиатора поднимается вверх, а холодного – опускается вниз. Поэтому у потолка воздух всегда теплее, чем вблизи пола, рис.45.1б.

В атмосфере Земли вследствие неодинакового нагрева воздуха возникает мощное конвекционное движение воздуха, образующее **ветры**, рис. 46.1,а. Главной причиной этих явлений оказывается, конечно же, Солнце, сильнее разогревающее отдельные области поверхности нашей планеты. Это приводит к нагреванию воздуха над ними и, следовательно, к его расширению и «всплытию» вверх. Возникающая циркуляция теплого и холодного воздуха ведет к его постоянному движению и перемешиванию. Сложная жизнь воздушных потоков сглаживает неравномерности климата нашей планеты.

После жаркого дня вечером можно наблюдать восходящие потоки воздуха (рис. 46.1,б).

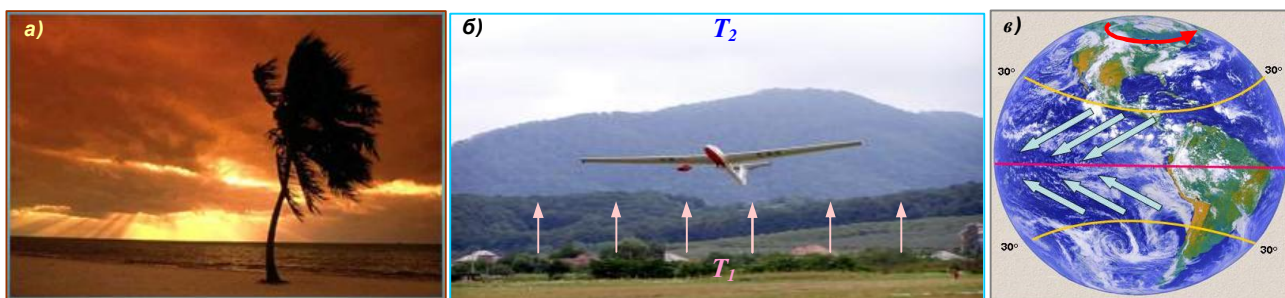


Рис. 46.1 Ветер – перемещение воздуха из области повышенного давления в область пониженного давления. Обычно эти потоки горизонтальные (а), Но в некоторых местах, например, в горных долинах, после жаркого дня потоки воздуха от тёплой земли «всплывают» вверх (б). Такие места любят планеристы. Это свободные конвекционные потоки в атмосфере. Неравномерное нагревание Земли Солнцем является одной из причин образования **пассатов** – ветров, дующих в субтропических областях к экватору (в).

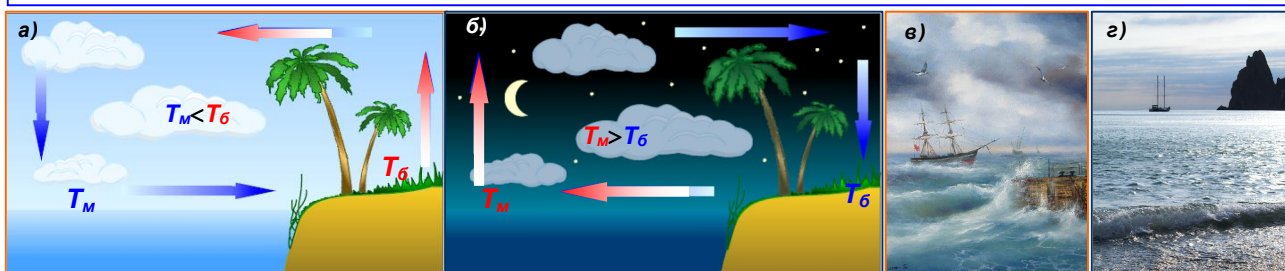


Рис.47.1. Днём от более теплого берега потоки воздуха устремляются вверх, вызывая **морской бриз** (а). Ночью море теплее берега. Это вызывает **береговой бриз** (б). На картинках (в, г) показано, как выглядит берег моря во время утреннего (морского) и берегового (вечернего) бризов.

Естественная конвекция в атмосфере Земли лежит в основе процессов образования ветров, в том числе **пассатов** (рис. 46.1,в), дующих в экваториальных широтах, и **бризов**, дующих в прибрежных областях, рис.47.1.

Средняя годовая температура на экваторе Земли на 50 °С выше, чем на её полюсах. В экваториальной зоне Земли нагретый воздух поднимается вверх. На его место с севера и юга притекает холодный воздух. Его движение и есть **пассат**. Потоки холодного воздуха вследствие вращения Земли движутся не вдоль меридиана, а отклоняются. В северном полушарии пассаты имеют северо-восточное направление, а в южном – юго-восточное.

Обратите внимание, что естественная конвекция происходит благодаря земному притяжению – гравитации! Без земного притяжения не было бы силы Архимеда. А без силы Архимеда не было бы естественной конвекции.

Вода в чайнике быстро закипает из-за земного притяжения. Нагреть воду в чайнике, находящемся в межпланетной ракете, будет не так-то легко.

3⁰. **Вынужденная конвекция** создаётся различными внешними воздействиями – насосами, вентиляторами, мешалками и т. п., (см. рис. 48.1-50.1).

Ветер (внешнее воздействие!), дующий над поверхностью воды, вызывает образование волн, рис. 48.1,а. В Мировом океане ветры способны перемещать огромные массы воды, создавая океанские течения, рис. 48.1,б, в.

Вынужденная конвекция используется в автоматах для сушки рук, в лечебных (вихревых) ваннах, рис. 49.1,а, б. Дыхание животных и человека играет большую роль в

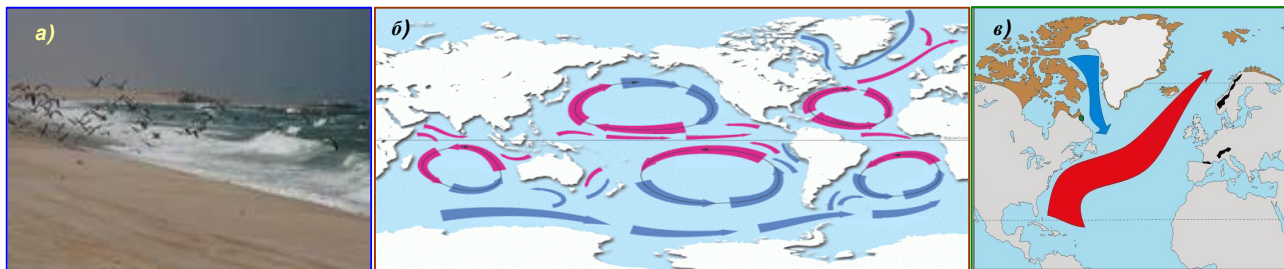


Рис. 48.1. Ветры вызывают волны (а). Но они вызывают также **тёплые** и **холодные** течения в Мировом океане (б, в). Это примеры **вынужденной конвекции** в природе. При этом у экватора вода в мировом океане сверху нагревается, а у полюсов охлаждается.

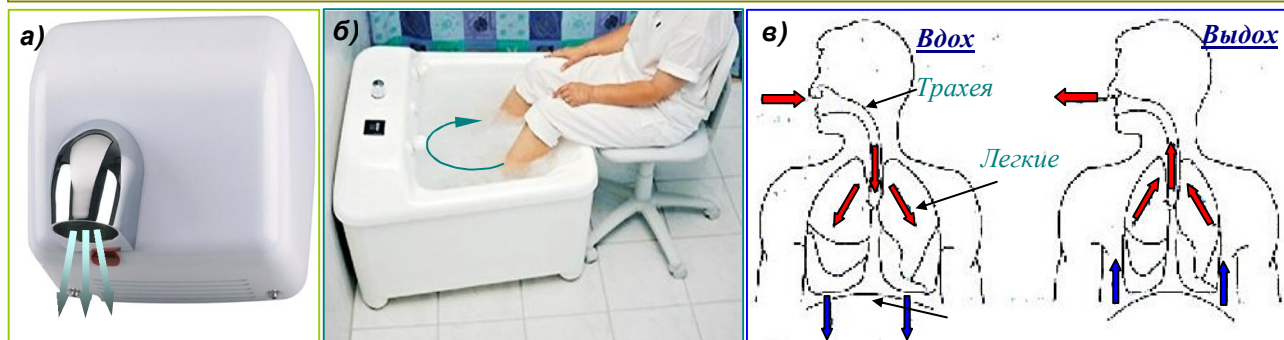


Рис. 49.1. **Вынужденная конвекция**, создаваемая специальными нагнетателями, используется в автоматах для сушки рук (а); в лечебных (вихревых) ваннах (б). Дыхание животных и человека играет большую роль в процессах теплообмена живых организмов с внешней средой и осуществляется принудительной конвекцией благодаря усилиям соответствующих мышц (в).

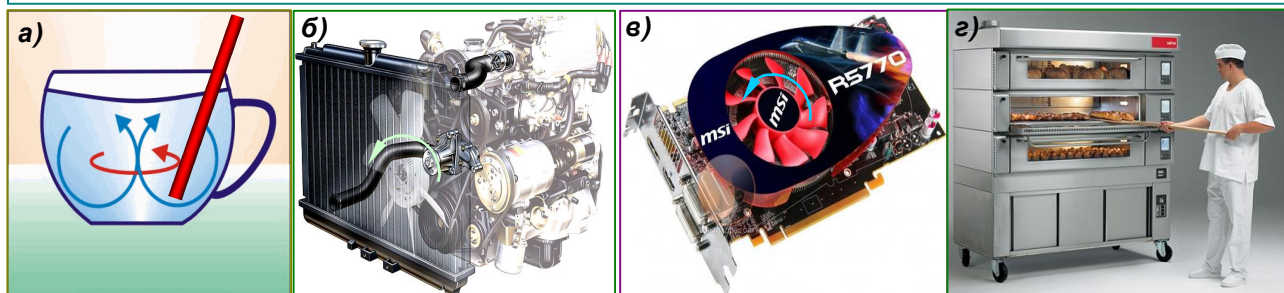


Рис. 50.1. **Вынужденная конвекция** широко используется в быту и технике. Размешивание жидкости (а). Вентиляторы под капотом автомобиля (б), в электронных схемах (в), в промышленных пекарнях (г) – примеры принудительной конвекции систем охлаждения и вентиляции.

процессах теплообмена живых организмов с внешней средой и осуществляется принудительной конвекцией благодаря усилиям соответствующих мышц, рис. 49.1,в.

Размешивание жидкости в чашке, вентиляционные системы охлаждения, циркуляция горячего воздуха в промышленных печах – это тоже примеры использования вынужденной конвекции, рис. 50.1,

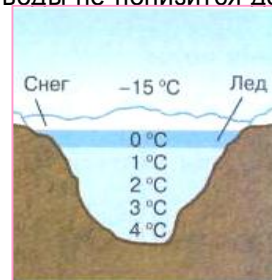
4⁰. **В твердых телах конвекция происходит не может**, так как частицы в твердых телах колеблются около определенных положений, удерживаемые сильным

взаимным притяжением. В связи с этим при нагревании твердых тел в них не могут образовываться потоки вещества. Энергия в твердых телах может передаваться теплопроводностью.

5⁰. Замечание об особенности свободной конвекции воды в природе.

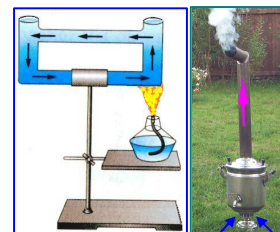
Колоссальную роль в жизни на Земле играет **особенность теплового расширения воды**. Дело в том, что при охлаждении воды от 4⁰ до 0⁰С её плотность **уменьшается** (а не увеличивается, как у других веществ)! Осенью по мере охлаждения воды верхние остывшие слои становятся плотнее и погружаются на дно. На их место снизу поступает более теплая вода. Но такое перемешивание происходит только до тех пор, пока температура воды не понизится до 4⁰С.

При дальнейшем падении температуры верхние слои уже не будут сжиматься, а, следовательно, не будут становиться тяжелее и не станут опускаться на дно. Начиная с этой температуры, верхний слой, постепенно охлаждаясь, доходит до нуля градусов и замерзает. Только эта особенность воды и препятствует промерзанию рек до дна. Если бы вода вдруг потеряла свою замечательную особенность, даже при скромной фантазии легко представить себе бедственные последствия этого.



Вопросы

1. В чем состоит явление конвекции?
2. Какие виды конвекции вы знаете?
3. Объясните, как и почему происходит перемещение воздуха над нагретой лампой. Что такое естественная конвекция?
4. Объясните, как происходит нагревание воды в колбе, поставленной на огонь.
5. Как работает система водяного отопления?
6. Почему жидкости и газы нагревают снизу? А каким образом их следует охлаждать, используя, например, кусочки льда?
7. Чем отличается вынужденная конвекция от естественной? Приведите примеры вынужденной конвекции.
8. Почему конвекция невозможна в твердых телах?



Объясните, что здесь происходит,



В каком случае кастрюля охладится быстрее?



Упражнение

1. Почему подвал – самое холодное место в доме?
2. Почему форточки для проветривания комнат помещают в верхней части окна, а радиаторы – у пола?
3. Каким способом охлаждается воздух в комнате зимой при открытой форточке?
4. Объясните распределение температуры воды в озере (рис. 51.1), учитывая особенности её теплового расширения.
5. Почему в электрочайниках нагреватель всегда крепится на дне, а вот морозильная камера в бытовых холодильниках сверху?
6. Что происходит, когда вы обмахиваетесь веером?

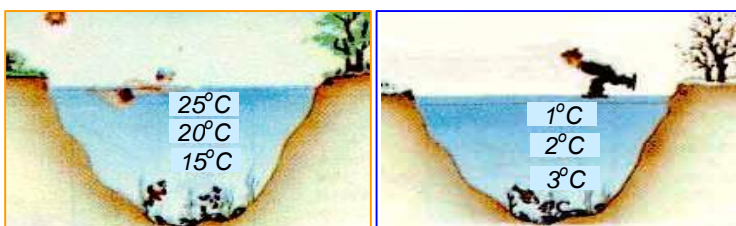


Рис. 51.1. Приблизительно так распределяется температура в озере летом и зимой в результате свободной конвекции.





§ 6. ИЗЛУЧЕНИЕ (РАДИАЦИЯ)



1⁰. Располагая руку под электрической лампой или сидя около костра, мы чувствуем тепло, *рис. 52.1, а, б*. Но оно не может передаваться, ни теплопроводностью (воздух плохо проводит тепло), ни конвекцией (тёплый конвективный поток от источника тепла будет подниматься только вверх). Тем более этими способами невозможно передать тепло от Солнца – основного источника тепла на Земле. Ведь Земля находится от него на расстоянии *150 млн. км, рис. 52.1, в!* Все это пространство за пределами нашей атмосферы содержит очень разреженное вещество – вакуум, через который перенос энергии путем теплопроводности или конвекции невозможен. Следовательно, существует еще один вид теплопередачи. Он происходит другим способом, который называется **излучением** (или **радиацией**¹).

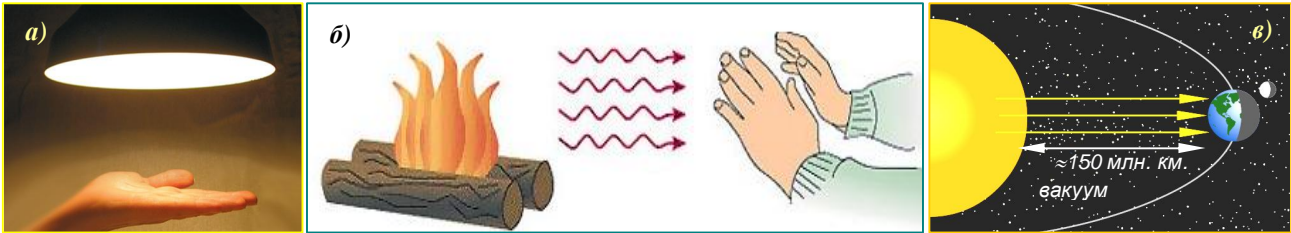


Рис. 52.1. Располагая руку под электрической лампой (а) или около костра (б), находясь на Солнце (в), мы чувствуем тепло, но оно не может передаваться ни теплопроводностью, ни конвекцией.

2⁰. **Темная поверхность лучше поглощает тепло, чем светлая.** Рассмотрим примеры, подтверждающие эту закономерность.

Используем для этого усовершенствованный *термоскоп* (см. §1, п. б⁰). Возьмем небольшую, закупеченную с одного бока колбу. Через пробку в нее вставим изогнутую под прямым углом стеклянную трубку, в которую введем подкрашенную жидкость. Укрепив на трубке шкалу, получим прибор, позволяющий обнаружить даже незначительное нагревание воздуха в колбе (*рис. 53.1, а*).

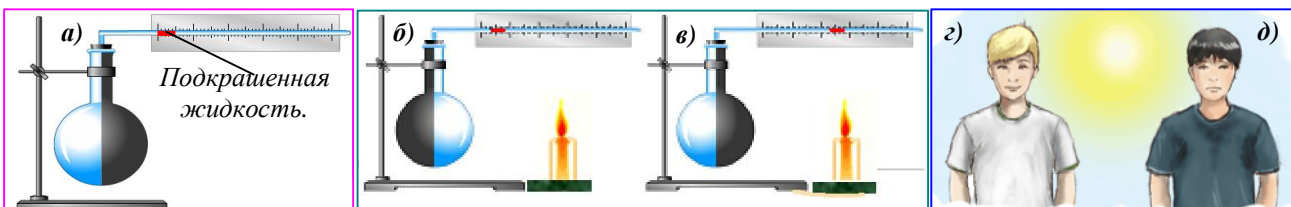


Рис. 53.1. Прибор, показывающий даже малые изменения температуры (а). Светлая часть колбы (б) поглощает меньше энергии, чем тёмная (в). Поэтому жаркую погоду лучше одеваться в светлую одежду (г), чем в тёмную (д).

Если к *светлой* или *тёмной* поверхности колбы поднести предмет, нагретый до высокой температуры (например, горящую свечу), то столбик жидкости переместится вправо. Очевидно, воздух в колбе нагревается и расширяется, что можно объяснить лишь передачей ему энергии от нагретого тела. При этом в первом случае расширение будет *меньше*, во втором – *больше*, (*рис. 53.1, б, в*).

Известно, что летом в чёрной футболке лучше не выходить на улицу, потому что она сильно нагревается под лучами Солнца; в белой футболке заметно прохладнее, *рис. 53.1, г, д*. Это доказывает, что *тела с темной поверхностью лучше поглощают энергию, чем тела, имеющие светлую поверхность*. Особенно плохо поглощают лучистую энергию отполированные, зеркальные тела; основную долю падающего на них излучения они отражают обратно.

3⁰. В XIX веке немецкий физик Г. Кирхгоф установил закон, из которого следует, что *тела, интенсивно поглощающие энергию, также интенсивно будут её излучать*. Чтобы убедиться, что *тёмные тела интенсивнее не только поглощают, но и излучают*

¹ Радиация (от лат. *radiātio* «сияние», «излучение»)

энергию, воспользуемся физическим прибором, который называют *кубом Лесли*, рис. 54.1,а. Одна грань этого металлического куба чёрная, вторая – белая, а третья – зеркальная. Внутри наливают кипяток. Поднося ладонь на равное расстояние к различным граням, заметим, что чёрная грань сильно излучает тепло, а белая и зеркальная грани – слабее.



Рис. 54.1. Тёмные тела более интенсивно участвуют в лучистом теплообмене – они не только поглощают, но и излучают больше тепла, чем светлые. Однако и при излучении передача тепла возможна только от более нагретого тела к телу менее нагретому.

Поэтому тела с темной поверхностью путем излучения охлаждаются быстрее, чем тела со светлой поверхностью. Закопченное стекло фонаря нагревает колбу термоскопа сильнее, чем светлое. Светлый чайник остывает дольше, чем чёрный. Животным, имеющим белый мех, летом менее жарко, а зимой менее холодно, чем животным, имеющим мех тёмного цвета, рис. 54.1,б-д.

4⁰. Закон Кирхгофа наглядно проявляется в природе. Весной белый снег прогревается меньше, чем пробившиеся травинки, рис. 55.1.

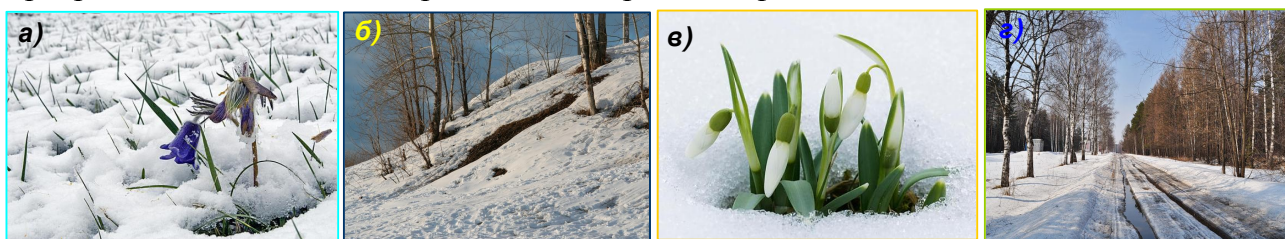


Рис. 55.1. Первые проталины весной появляются у пробившихся растений или у мест, где выступает тёмная почва, асфальт и т. п.

5⁰. Способность тел по-разному поглощать энергию излучения используется на практике. Так, поверхность воздушного шара, скафандра космонавта, дирижаблей, самолетов, ёмкостей для хранения газа красят белой или серебристой краской, чтобы они не нагревались Солнцем, рис.56.1. Если же, наоборот, необходимо использовать

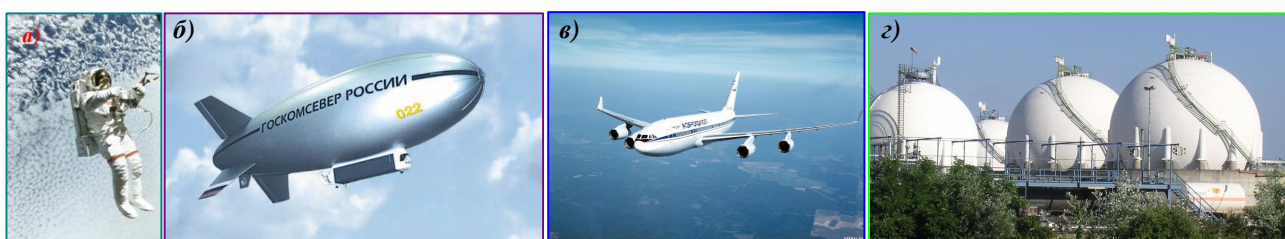


Рис. 56.1. Чтобы уменьшить влияние солнечного излучения, используют светлую окраску поверхностей. а) скафандр космонавта; б) дирижабль; в) самолёт; г) газгольдеры – хранилище газов.

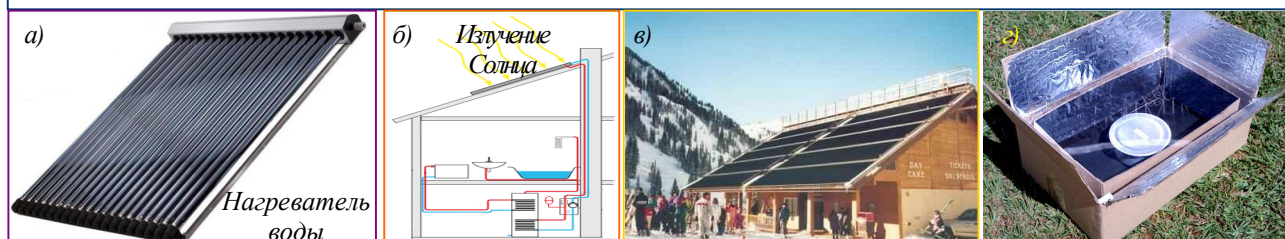


Рис. 57.1. Излучение Солнца может нагревать воду. а) солнечный нагреватель воды; б) разводка нагретой воды в доме; в) внешний вид дома, оборудованного солнечными нагревателями воды; г) в таком ящике можно вскипятить 10 литров воды за два часа, приготовить обед, используя лишь энергию излучения Солнца.

солнечную энергию, например, в приборах, установленных на искусственных

спутниках Земли, то эти части приборов окрашивают в темный цвет. Так же поступают, если с помощью Солнца необходимо нагреть воду или приготовить пищу, рис. 57.1.

Воздух, будучи прозрачным, почти не поглощает излучения. По этой причине лучистый обогрев помещений (излучатели устанавливаются сверху) позволяет

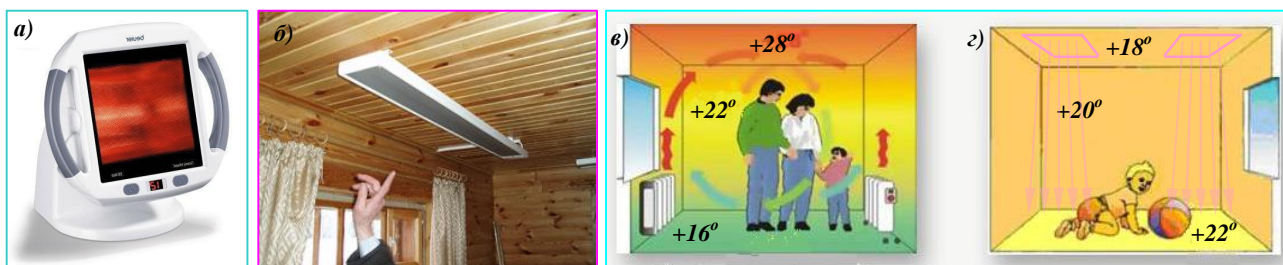


Рис. 58.1. Передача энергии излучением происходит направленно, например, горизонтально (а) или сверху вниз (б). Это позволяет получить при использовании излучателей благоприятное распределение температур в отапливаемом помещении: в) конвективный; з) лучистый обогрев комнаты сверху.

получить более комфортабельное поле температур, рис. 58.1.

6⁰. При падении излучения на некоторое тело часть его поглощается, часть отражается, часть может пропускаться, рис. 59.1. Разные тела при лучистом теплообмене ведут себя по-

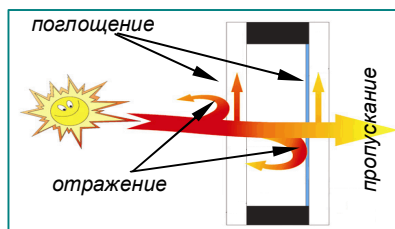


Рис. 59.1. Солнечное излучение, попадая на стеклопакет, частично поглощается, частично отражается, частично пропускается.



Рис. 60.1. Разные тела при лучистом теплообмене ведут себя по-разному. а) «Абсолютно чёрное тело» - наиболее активно участвует в процессах лучистого теплообмена; б) «Абсолютно белое тело» – почти не участвует в процессах лучистого теплообмена; в) «Человек-невидимка» из фантастического романа Г.Уэллса – пример абсолютно прозрачного тела – его просто нет!

разному, рис. 60.1.

7⁰. Передача энергии излучением может осуществляться **в полном вакууме**, без всякого посредника. Этим она отличается от других видов теплопередачи. Позже вы узнаете, что при излучении передача тепла осуществляется **электромагнитными волнами**. Однако и излучением **передача тепла возможна только от тела, более нагретого к телу менее нагретому**.

Излучают энергию все тела: большие и маленькие, твёрдые и жидкие, светящиеся и тёмные, рис. 61.1.



Рис. 61.1. Все тела более нагретые излучают тепло в сторону тел менее нагретых. Солнце (а) и Земля (б) в космическое пространство. Бытовой лучистый обогреватель(в) в комнату. И свеча (z). И самовар (д). И человеческое тело (этот снимок получен специальным прибором - тепловизором) (z).

При повышении температуры мощность теплового излучения всех тел увеличивается, то есть каждую секунду тело начинает излучать больше теплоты.

Например, горячий чайник каждую секунду отдаёт окружающей среде больше теплоты, чем тёплый чайник. Проверьте на опыте – ежеминутно его температура падает на большее число градусов!



Вопросы

1. Как устроен термоскоп, приспособленный для изучения излучения?
2. Как на опыте показать передачу энергии излучением?
3. Какие тела лучше, а какие хуже поглощают энергию излучения?
4. Как учитывает человек на практике различную способность тел поглощать энергию излучения?
5. Почему при лучистом обогреве помещения излучателями, установленными у потолка, максимальная температура будет внизу, у пола? Какой пол нагреется сильнее – светлый или тёмный?
6. Какой кошке летом жарче, а зимой холоднее – чёрной или белой?



Какой чайник быстрее остынет?
Какой чайник быстрее нагреется?

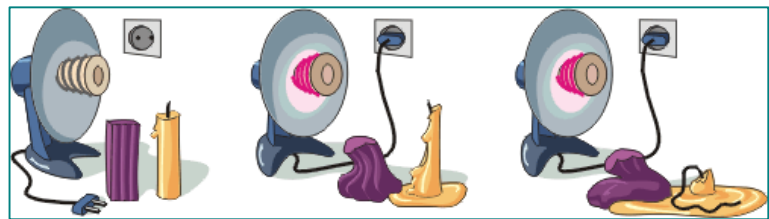


В чёрной машине летом жарко, а зимой её нужно сильнее топить. А зайцу-беляку и белому медведю зимой не холодно, а летом не жарко. Почему?



Упражнение

1. Летом воздух в здании нагревается, получая энергию различными способами: через стены, через открытое окно, в которое входит тёплый воздух, через стекло, которое пропускает солнечную энергию. С каким видом теплопередачи мы имеем дело в каждом случае?



Объясните, что происходит при включении радиационного электронагревателя?

2. Приведите примеры, показывающие, что тела с темной поверхностью сильнее нагреваются излучением, чем со светлой.

3. Почему можно утверждать, что от Солнца к Земле энергия не может передаваться конвекцией и теплопроводностью? Каким способом она передается?

4. Рассмотрите рис. 62.1 и назовите, какие способы теплопередачи на них можно выделить. Как они проявляют себя в каждом случае?



Рис. 62.1. Каким образом тепло передаётся от костра котелку и сидящему человеку?

5. Перечислите особенности, присущие каждому из трёх видов теплопередачи.



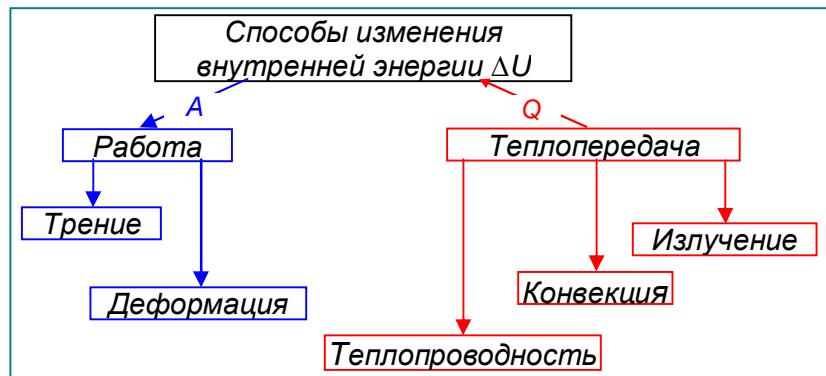
Здесь представлены три вида теплопередачи. Но полностью ли эти примеры их представляют? Что следовало бы добавить?



§ 7. КОЛИЧЕСТВО ТЕПЛОТЫ. ЕДИНИЦЫ КОЛИЧЕСТВА ТЕПЛОТЫ

1⁰. Итак, вам известно, что внутренняя энергия тела может изменяться как путем совершения **работы**, так и путем **теплопередачи** (без совершения работы). Но выражение «**количество теплоты**» принято относить к изменению внутренней энергии **только путем теплопередачи**.

Это выражение не примеряют к изменению внутренней энергии, полученному при совершении над телом работы, *рис. 63.1*.



*Рис. 63.1. Внутренняя энергия тела может изменяться как путем совершения **работы**, так и путем **теплопередачи**. Но выражение «**количество теплоты**» принято относить к изменению внутренней энергии **только путем теплопередачи**.*

Ту часть внутренней энергии, которую тело получает (или теряет) при теплопередаче, называют количеством теплоты Q .

2⁰. Чтобы научиться вычислять количество теплоты Q , выясним, от каких величин оно зависит.

Если мы хотим подогреть воду в чайнике так, чтобы она стала лишь теплой, то мы недолго нагреваем ее, сообщая ей небольшое количество теплоты. А для того чтобы вода стала горячей, передаем ей большее количество теплоты. Следовательно, чем на большее число градусов мы нагреваем воду, тем большее количество теплоты надо передать ей. Конечно, и при остывании вода отдаст окружающим ее телам тем большее количество теплоты, чем на большее число градусов она охладится.

Но знать, на сколько градусов повысилась или понизилась температура, недостаточно, чтобы судить о количестве теплоты, полученном телом при нагревании или отданном при охлаждении. В самом деле, раскаленный уголь, до которого нельзя дотронуться, холодную комнату не согреет, тогда как теплая печь или батареи водяного отопления, температура которых около 60⁰С, могут очень хорошо нагреть комнату.

Всем нам приходилось нагревать воду, и мы хорошо знаем, что полный чайник воды требует для своего нагревания большее количество теплоты, чем тот же чайник, налитый наполовину. Убедимся в этом на опыте.

Будем нагревать на двух одинаковых нагревателях два сосуда. В одном сосуде находится $m_1=1$ кг воды, а в другом – $m_2=2$ кг. Начальная температура воды в обоих сосудах одинакова. Мы заметим, что за один и то же промежуток времени во втором сосуде вода нагреется на меньшее число градусов $t_2 < t_1$, хотя оба сосуда получают одинаковое количество теплоты $Q_1 = Q_2$, *рис. 64.1*.

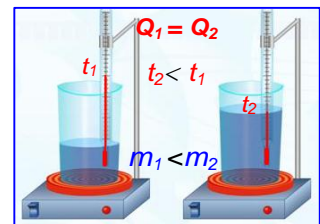


Рис. 64.1. Одно и то же количество теплоты Q нагревает меньшую массу воды m_1 , до более высокой температуры t_1

Следовательно, **количество теплоты Q , переданное при нагревании телу, зависит (I) от массы m этого тела**: чем больше масса воды, тем большее количество теплоты нужно затратить на ее нагревание.

При остывании тела окружающим предметам передается также тем большее количество теплоты, чем больше масса остывающего тела. Так, чем больше секций содержит батарея отопления, тем лучше она обогревает комнату.

Вы хорошо знаете, что, если необходимо нагреть полный чайник (с водой) до температуры 50⁰С, потребуется меньше времени, чем для нагревания чайника с водой той же массы $m_1=m_2$ до 100⁰С. В первом случае воде будет передано меньшее количество теплоты, чем во втором $Q_1 < Q_2$.

Следовательно, количество теплоты, необходимое для нагревания, зависит от того, на сколько градусов нагревается тело. Это значит, что **(II) количество**

теплоты Q зависит от разности температур $\Delta t = t_2 - t_1$ тела после и до нагрева.

Но можно ли рассчитать количество теплоты, необходимое для нагревания не воды, а другого вещества, например свинца, железа, масла и т. д.?

Будем нагревать на двух одинаковых нагревателях два сосуда, содержащие: первый: 400 г воды, второй 400 г растительного масла. Таким образом, и в том и в другом сосуде находится по 400 г вещества, т. е. массы нагреваемых тел одинаковы $m_в = m_м$. Одинаковы и условия их нагревания, так как сосуды получают энергию от одинаковых нагревателей ($Q_в = Q_м$). Разница состоит лишь в том, что, во втором сосуде, вместо 400 г воды находится 400 г масла. Термометры покажут, что во втором сосуде, где находится масло, нагревание происходит быстрее ($t_в < t_м$), (рис. 65.1). Чтобы температура воды сравнялась с температурой масла, ей нужно передать добавочное количество теплоты. Очевидно, для нагревания одинаковых масс воды и масла на одно и то же число градусов требуется различное количество теплоты: для воды оно больше, для масла меньше.

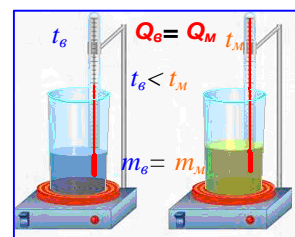


Рис. 65.1. Вода имеет большую теплоемкость, чем масло ($c_в > c_м$). Поэтому при одинаковом нагреве она имеет более низкую температуру.

Следовательно, **количество теплоты, которое необходимо для нагревания тела, зависит (III) от рода вещества, из которого оно состоит** (как вы узнаете ниже, эти свойства веществ характеризует их удельная теплоёмкость c).

Итак, **количество теплоты Q , которое необходимо для нагревания тела (или выделяемое при его остывании), зависит (I) от массы этого тела m , (II) от изменения его температуры Δt и (III) от рода вещества, из которого оно состоит c .**

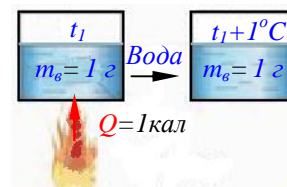
3⁰. Как и всякий другой вид энергии, количество теплоты Q измеряют в джоулях (Дж), или в килоджоулях (кДж).

Однако измерять количество теплоты ученые стали задолго до того, как в физике появилось понятие энергии. Тогда была установлена особая единица для измерения количества теплоты – калория (кал) и килокалория (ккал). (Калория – от лат. слова калор – тепло, жар).

Калория – это количество теплоты, которое необходимо для нагревания 1 г воды на 1⁰С.

$$1 \text{ кал} = 4,19 \text{ Дж} \approx 4,2 \text{ Дж.}$$

$$1 \text{ ккал} = 4190 \text{ Дж} \approx 4200 \text{ Дж} \approx 4,2 \text{ кДж.}$$



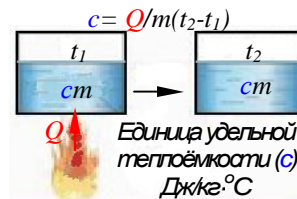
Вопросы



1. Что такое количество теплоты? К какому способу изменения внутренней энергии относят это название?
2. Как зависит количество теплоты от изменения температуры тела?
3. Почему нельзя только по изменению температуры тела судить о полученном им количестве теплоты?
4. Как зависит количество теплоты от массы тела?
5. Опишите опыт, показывающий, что количество теплоты зависит от рода вещества, из которого состоит тело.
6. От чего зависит количество теплоты, переданное телу при нагревании?
7. Какими единицами измеряют внутреннюю энергию и количество теплоты?



§ 8. УДЕЛЬНАЯ ТЕПЛОЁМКОСТЬ



1°. Количество теплоты, необходимое для нагревания вещества массой $m=1\text{кг}$ на 1°C , называется удельной теплоёмкостью этого вещества.

Удельная теплоемкость зависит от характера расположения и движения молекул в веществе. Удельная теплоемкость вещества обозначается буквой c и измеряется в $\text{Дж/кг}\cdot^\circ\text{C}$.

2°. Для нагревания 1 кг воды на 1°C требуется количество теплоты, равное 4200 Дж. Но если на 1°C нагревается 1 кг другого вещества, то требуется и другое количество теплоты (см. § 7). Например, для нагревания 1 кг серебра на 1°C требуется 250 Дж, что в ≈ 17 раз меньше.

Удельная теплоемкость цинка $400 \text{ Дж/кг}\cdot^\circ\text{C}$. Это значит, что для нагревания цинка массой 1 кг на 1°C необходимо количество теплоты, равное 400 Дж (при охлаждении 1 кг цинка на 1°C выделится такое же количество теплоты – 400 Дж). Таким образом, если температура цинка массой 1 кг меняется на 1°C , то он или поглощает, или выделяет количество теплоты, равное 400 Дж.

Таблица №1.1. Удельные теплоемкости c некоторых веществ, $\text{Дж/кг}\cdot^\circ\text{C}$

Золото	130	Железо	460	Масло под-солнечное	1700
Ртуть	140	Сталь	500	Лед	2100
Свинец	140	Чугун	540	Керосин	2100
Олово	230	Графит	750	Эфир	2350
Серебро	250	Стекло лабораторное	840	Дерево (дуб)	2400
Медь	400	Кирпич	880	Спирт	2500
Цинк	400	Алюминий	920	Вода	4200
Латунь	400				

Удельная теплоёмкость показывает, на сколько джоулей изменяется внутренняя энергия вещества массой 1 кг при изменении температуры на 1°C .

3°. Удельная теплоемкость вещества меняется при переходе его из одного состояния в другое.

. Например, удельная теплоемкость воды – $4200 \text{ Дж/кг}\cdot^\circ\text{C}$, а удельная теплоёмкость льда $2100 \text{ Дж/кг}\cdot^\circ\text{C}$. Ртуть в жидком состоянии имеет удельную теплоемкость, равную $138 \text{ Дж/кг}\cdot^\circ\text{C}$, а в твердом состоянии – $129 \text{ Дж/кг}\cdot^\circ\text{C}$ (при -120°C).

4°. Иногда используется понятие *теплоёмкость вещества* (всего). Эта физическая величина обозначается заглавной буквой C . Она относится ко всей массе вещества m и связана с удельной теплоёмкостью c простой формулой: $C=cm$.

5°. **Ещё одна особенность воды:** вода имеет самую большую удельную теплоёмкость c . Удельная теплоёмкость почвы примерно в 5 раз меньше. Поэтому вода в морях и океанах, нагреваясь летом, поглощает большое количество теплоты, и в местах, которые расположены вблизи больших водоемов, летом не бывает очень жарко, как в местах удалённых от воды. Зимой вода остывает и отдает большое количество теплоты. Поэтому зима в этих местах менее суровая.

Благодаря высокой теплоемкости вода, в отличие от воздуха, менее подвержена перепадам температур (как суточным, так и сезонным), что благоприятно для жизни животных и растений, рис. 66.1.

Из-за высокой теплоемкости воду широко используют в технике и быту. Например, в отопительных системах домов, при охлаждении деталей во время их обработки на станках, для охлаждения работающих двигателей, медицине (в грелках) и др.



Рис. 66.1. Вода имеет высокую теплоемкость (в 10 раз большую, чем железо, и в 3300 раз большую, чем воздух). В сочетании с высокой теплопроводностью это делает водную среду достаточно комфортной для обитания живых организмов. Вода – среда жизни.



Вопросы

1. Что называют удельной теплоемкостью вещества?
2. Что является единицей удельной теплоемкости вещества? Чему равна удельная теплоемкость воды?
3. Удельная теплоемкость свинца равна 140. Дж/кг·°С. Что это означает?
4. Какая связь существует между удельной теплоемкостью вещества и изменением его внутренней энергии?
5. Почему и как близость водоемов влияет на температуру воздуха и климат?
6. Почему воду называют «средой жизни»?
6. Почему чаще всего вода используется в системе отопления, в системах охлаждения двигателей?

§ 9. РАСЧЁТ КОЛИЧЕСТВА ТЕПЛОТЫ Q , СООБЩАЕМОГО ТЕЛУ ПРИ ЕГО НАГРЕВАНИИ ИЛИ ВЫДЕЛЯЕМОГО ПРИ ЕГО ОХЛАЖДЕНИИ

$$Q = cm\Delta t$$

¹°. Теперь вы узнали, от каких величин зависит количество теплоты Q , и какими единицами его измеряют. Для подсчёта Q нужно знать = удельную теплоемкость вещества c , из которого изготовлено тело; = его массу m ; = разность между его конечной t_2 и начальной t_1 температурой $\Delta t = (t_2 - t_1)^1$.

Например, подсчитаем, какое количество теплоты получила железная деталь массой 5 кг при нагревании на 600 °С.

Удельная теплоемкость железа равна $c = 460$ Дж/кг °С. Это означает, что для нагревания железа массой 1 кг на 1 °С требуется 460 Дж. Для нагревания железа массой 5 кг на 1 °С потребуется в 5 раз большее количество теплоты. Т. е. $460 \text{ Дж} \times 5 = 2300 \text{ Дж}$. Для нагревания железа массой 5 кг на 600 °С потребуется еще в 600 раз большее количество теплоты, т. е. $2300 \text{ Дж} \times 600 = 1\,380\,000 \text{ Дж}$.

Итак, чтобы подсчитать количество теплоты Q , необходимое для нагревания тела, нужно удельную теплоемкость c умножить на массу тела m и на разность $(t_2 - t_1)$ между конечной и начальной температурой его.

Это правило можно записать в виде формулы:

$$Q = cm(t_2 - t_1) \quad [3.1]$$

Учитывая, что при нагревании $(t_2 - t_1) > 0$ – величина положительная, а при охлаждении $(t_2 - t_1) < 0$ – отрицательная, формулу [3.1] можно применять как в том, так и в другом случаях. При этом полученная теплота будет величиной положительной, а отданная теплота величиной – отрицательной.

²°. **Пример расчёта.** В железный котел массой 10 кг налито 20 кг воды. Какое количество теплоты нужно передать котлу, чтобы нагреть его вместе с налитой в него водой от 10 до 100 °С?

Оба тела – и котел, и вода – будут нагреваться вместе. Между ними происходит теплообмен, и их температуры можно считать одинаковыми. Поэтому и котел, и вода нагреваются на одно и то же число градусов: $100 \text{ °С} - 10 \text{ °С} = 90 \text{ °С}$. Но количества теплоты, полученные котлом и водой, не будут одинаковыми, т. к. их массы и удельные теплоемкости различны.

Количество теплоты, полученное железным котлом, равно:

$$Q_{ж} = c_{ж}m_{ж}(t_2 - t_1) = 460 \text{ Дж/кг °С} \times 10 \text{ кг} \cdot 90 \text{ °С} = 414\,000 \text{ Дж} \approx 400 \text{ кДж}.$$

Количество теплоты, полученное водой, равно:

$$Q_{в} = c_{в}m_{в}(t_2 - t_1) = 4200 \text{ Дж/кг °С} \times 20 \text{ кг} \cdot 90 \text{ °С} = 7\,560\,000 \text{ Дж} \approx 7\,600 \text{ кДж}.$$

На нагревание и железного котла, и воды израсходовано количество теплоты

$$Q = Q_{ж} + Q_{в} = 400 \text{ кДж} + 7\,600 \text{ кДж} = 8000 \text{ кДж}.$$

¹ Поскольку в формулы входит только разность температур, то безразлично, что использовать – шкалу Кельвина или Цельсия: $T_2 - T_1 = (t_2 - t_1)$.



Вопросы

1. Что нужно знать, чтобы подсчитать количество теплоты, полученное телом при нагревании?
2. Объясните на конкретных примерах, как подсчитывают количество теплоты, сообщенное телу при его нагревании или выделяющееся при его охлаждении.
3. Как записывают формулу для подсчета количества теплоты?



Упражнение

1. Удельная теплоемкость алюминия равна 920 Дж/кг °С. Что это означает?
2. Какая из шести жидкостей, указанных в таблице удельных теплоёмкостей **с**, быстрее нагревается при одинаковых условиях нагревания? Почему?
3. Почему в качестве охладителя (например, при охлаждении двигателя внутреннего сгорания) из всех жидкостей выгоднее всего применять воду?
4. Рассчитайте количество теплоты, необходимое для нагревания: а) чугуна массой 1,5 кг на 200 °С, б) алюминиевой ложки массой 50 г от 20 до 90 °С, в) кирпичной печи массой 2 т от 10 до 60 °С.

§ 10. ЭНЕРГИЯ ТОПЛИВА. УДЕЛЬНАЯ ТЕПЛОТА СГОРАНИЯ ТОПЛИВА

$$\Delta Q_{сг} = qm$$



1⁰. Теплота может выделяться или поглощаться *при химических реакциях*.

Вам известно, что молекулы состоят из атомов. Например, молекула воды состоит из одного атома кислорода и двух атомов водорода. Молекулу можно разделить на атомы. Такое деление молекулы называют химической реакцией разложения. Для разделения молекулы на атомы нужно преодолеть силы притяжения атомов, совершить работу, а значит, и затратить энергию. Опыты показывают, что при соединении атомов в молекулу энергия, наоборот, выделяется в том же количестве, *рис. 67.1*.

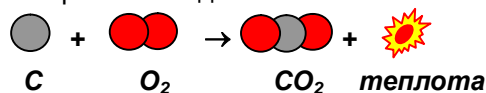
2⁰. Можно привести такое сравнение: между Землей и всеми телами существуют силы гравитационного притяжения. Поэтому, когда поднимают тело, удаляя его от Земли, то затрачивают энергию и совершают работу – тело «вытягивают из потенциальной ямы» (см. *рис. 20* на *стр. 29* Пособия 7 кл.). Но если тело падает к Земле, то оно само может совершать полезную работу (например, это делает молот забивающий сваю).

3⁰. На явлении выделения энергии при соединении атомов в молекулу и основано использование **топлива**. Обычное топливо (*уголь, нефть, бензин и др.*) содержит углерод **С**. При горении атомы углерода соединяются с атомами кислорода, который содержится в воздухе. Каждый атом углерода соединяется с двумя атомами кислорода. Образовавшаяся при этом молекула – это молекула оксида углерода (углекислого газа **СО₂**). При сгорании водорода (**Н₂**) образуется обычная вода (**Н₂О**) (см. *рис. 67.1, а также стр. 36-37* Пособия 7 кл.). В результате этих реакций выделяется энергия в виде тепла.

*Химические реакции, сопровождающиеся выделением теплоты, называются экзотермическими реакциями (в противоположность эндотермическим реакциям, сопровождающимся поглощением тепла)*².

При горении углерода **С** он соединяется с кислородом **О₂** и образует углекислый газ **СО₂**.

При этом выделяется тепло:



При горении водорода **Н₂** он соединяется с кислородом **О₂** и образуется вода **Н₂О**. При этом выделяется большое количество тепла:

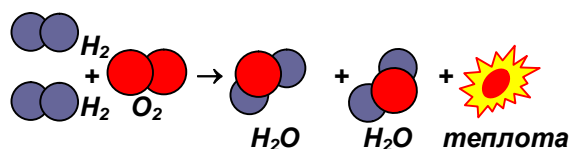


Рис. 67.1. Реакции горения углерода и водорода – экзотермические реакции, сопровождающиеся выделением тепла.

² Здесь используются приставки *экзо...*, *эндо...* (от греч. *exo* – *наружу, вне*; *endon* – *внутри*).

4⁰. Существуют различные виды топлива, которые появились на Земле в результате энергии Солнца, *рис. 68.1.*



Рис. 68.1. Топливо, которым мы пользуемся – уголь (а), торф (б), дрова (в), бензин (г), газ (д), содержит накопленное в течение многих миллионов лет солнечное тепло. Поэтому Солнце – основной источник энергии.

При расчете различных тепловых энергоустановок инженеру необходимо точно знать, какое количество теплоты может выделить сжигаемое топливо. А для этого надо опытным путем найти, какое количество теплоты выделится при сгорании одинакового количества разных видов топлива.

Количество теплоты, выделяющееся при полном сгорании топлива массой 1 кг, называют удельной теплотой сгорания этого топлива.

Удельную теплоту сгорания топлива обозначают буквой q и измеряют в Дж/кг.

Удельную теплоту сгорания топлива определяют на опыте, *рис. 69.1.* Результаты опытных данных приведены в таблице.



Рис. 69.1. Так выглядят современные приборы для определения удельной теплоты сгорания твердых и жидких видов топлива.

Таблица №2.1. Значения удельной теплоты сгорания некоторых топлив q , Дж/кг.

Дрова сухие	$1,0 \cdot 10^7$	Древесный уголь	$3,4 \cdot 10^7$
Торф	$1,4 \cdot 10^7$	Природный газ	$4,4 \cdot 10^7$
Бурый уголь подмосковный	$1,3 \cdot 10^7$	Нефть	$4,4 \cdot 10^7$
Каменный уголь	$3,0 \cdot 10^7$	Бензин	$4,6 \cdot 10^7$
Спирт	$2,7 \cdot 10^7$	Керосин	$4,6 \cdot 10^7$
Кокс	$2,9 \cdot 10^7$	Водород	$12 \cdot 10^7$
Антрацит	$3,0 \cdot 10^7$		

Из таблицы видно, что, например, удельная теплота сгорания q торфа равна $1,4 \cdot 10^7$ Дж/кг. Это значит, что при полном сгорании торфа массой 1 кг выделяется $1,4 \cdot 10^7$ Дж.

Теплоту, выделяющуюся или поглощающуюся при химической реакции, иногда называют *химической энергией.*

5⁰. Чтобы подсчитать количество теплоты (энергии) $\Delta Q_{сж}$, выделившееся при полном сгорании топлива любой массы m , нужно его удельную теплоту сгорания q умножить на массу сгоревшего топлива:

$$\Delta Q_{сж} = qm. \quad [4.1]$$

6⁰. Вы знаете, что внутренняя энергия в виде теплоты передаётся *от горячего тела к*



Рис. 70.1. При горении топлива в качестве горячего тела, передающего свою внутреннюю энергию, рассматривается пламя. Это может быть пламя пожара (а), костра (б), газовой горелки, спички на вашей кухне (в), свечи (г), спиртовки (д). Высокая температура пламени поддерживается за счет сгорания топлива.

холодному. При сгорании **горячим телом** является пламя (вещества в области горения) и продукты сгорания, *рис. 70.1.*

⁷. Энергия сгорания топлива это пример ещё одной разновидности внутренней энергии – **химической**³. Об этой разновидности энергии, называемой **внутримолекулярной**, уже упоминалось в пп. 2⁰ - 4⁰ §2. Она высвобождается в виде тепла. Животные и человек также «сжигают» свою пищу в кислороде, получая столько же тепла, как если бы ту же пищу сжигали в печи и нагревали воду. Такие эксперименты систематически проводились на животных и человеке. Результаты показали, что выделяемая животными теплота согласуется с теплотой, полученной при сжигании, с точностью до 1%.

Работая, мы растрачиваем свою внутреннюю энергию, которую затем пополняем, употребляя пищу, поглощая тем самым содержащуюся в ней внутреннюю энергию. Исторически сложилось так, что содержащееся в пище количество энергии оценивается не в джоулях, а в других энергетических единицах – калориях (напомним, что **1 калория = 4,18 Дж**). Так, одно и то же количество внутренней энергии **200 кал = 836 Дж** содержат такие количества продуктов, *рис. 71.1.*

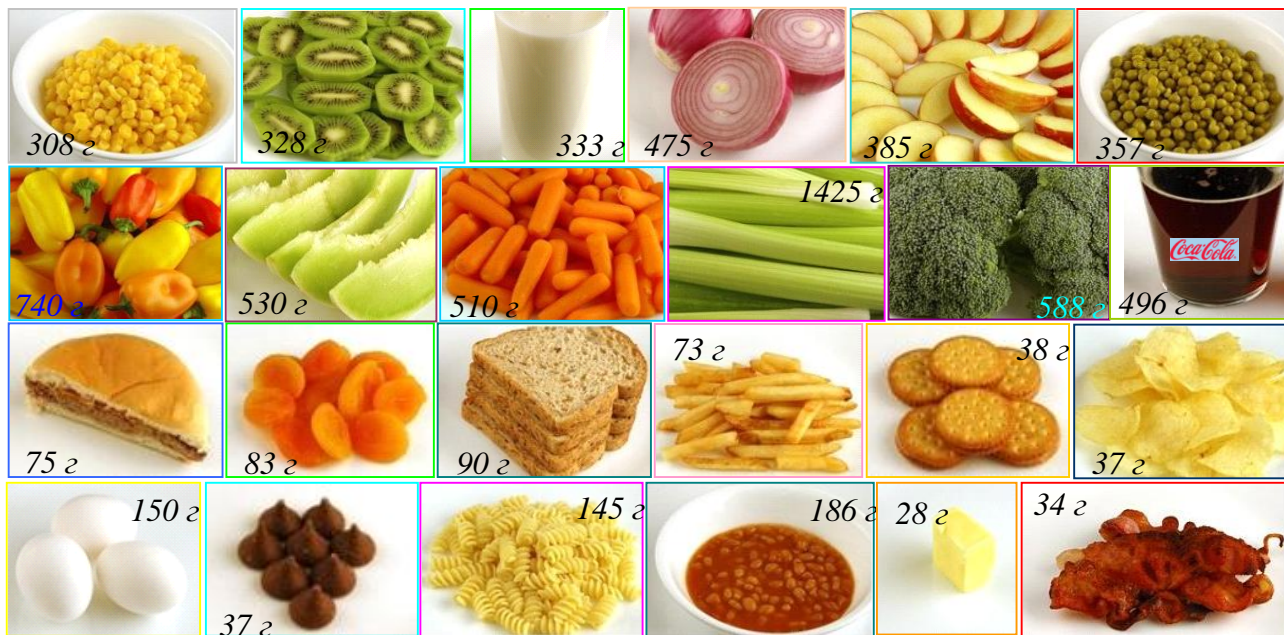


Рис. 71.1. Масса различных пищевых продуктов, соответствующая энергоёмкости 200 кал = 836 Дж.

На упаковках продуктов их энергетическая ценность указывается в калориях.

Поль Брэгг – основоположник здорового образа жизни и рационального питания, всю пищу делил на три категории: **полезная**, **нейтральная** и **вредная**.

Полезная пища: свежие фрукты, овощи, зелень, свежий выжатый сок, сухофрукты, орехи – все «живые», не прошедшие обработку продукты.

Нейтральные продукты – пища, прошедшая термическую обработку: крупы, супы, вареное мясо и т.д.

Вредные продукты – пища, содержащая химические вещества: чипсы, газированные напитки, алкоголь, жевательная резинка, сладости из сахара, копчености, солености, жареная пища и т.д.

Поль Брэгг утверждал, что полезной пищи в рационе каждого человека должно быть не менее 60-70 %, Оставшиеся 30% можно использовать для употребления нейтральной пищи. Вредные же продукты вообще нужно исключить из рациона.



Вопросы

1. Что такое удельная теплота сгорания топлива?
2. В каких единицах измеряют удельную теплоту сгорания топлива?
3. Что означает выражение «удельная теплота сгорания топлива равна $1,4 \cdot 10^7$ Дж /кг»?
4. Как вычисляют количество теплоты, выделяемое при сгорании топлива?
5. Как используется энергия, получающаяся при сжигании различных видов топлива? Что это за энергия?

³ В будущем вы познакомитесь и с другими разновидностями внутренней внутримолекулярной энергии – атомной и ядерной, которые многократно превышают химическую энергию.

6. Каким образом человек пополняет расход своей внутренней энергии? Назовите вредные для здоровья продукты.



Упражнение

1. В таблице №2.1 против слова «нефть» стоит число $4,4 \cdot 10^7$. Что оно означает? Какое наименование надо поставить при этом числе?

2. Килограмм какого топлива – сухих дров или бурого угля – в одинаковых условиях может выделить при сгорании большее количество теплоты? Ответ обоснуйте.

3. Какое количество теплоты выделяется при полном сгорании 15 кг древесного угля? 200 г спирта?

4. Сколько теплоты выделится при полном сгорании керосина, объем которого равен 2 л, а плотность 800 кг/м^3 ?

5. При полном сгорании сухих дров выделилось 50000 кДж энергии. Какая масса дров сгорела?



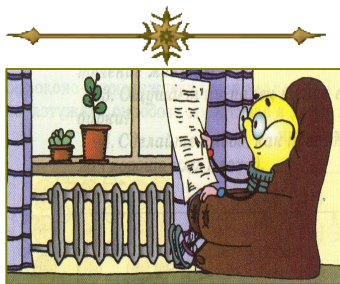
На тепловой электростанции (ТЭС) Энергия топлива превращается в электрическую энергию



а) нефть — природная маслянистая горючая жидкость. Сегодня это одно из важнейших полезных ископаемых. б) горючий сланец – полезное ископаемое, используемое в качестве топлива.



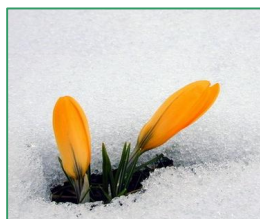
Завод по переработке природного газа.



Хорошо, что можно пополнять свою внутреннюю энергию!



$$qm \rightarrow Q \rightarrow \Delta U$$



$$\Delta U \rightarrow A$$



§11. ЗАКОН СОХРАНЕНИЯ И ПРЕВРАЩЕНИЯ ЭНЕРГИИ В МЕХАНИЧЕСКИХ И ТЕПЛОВЫХ ПРОЦЕССАХ

1⁰. Ещё в 7 классе вы узнали, что существует две разновидности *механической* энергии – кинетическая E_k и потенциальная E_n , которые могут переходить друг в друга, но полная механическая энергия, равная сумме кинетической и потенциальной энергии тела, остаётся постоянной:

$$E = E_k + E_n \quad (=const \text{ при отсутствии трения}).$$

В этом заключается суть закона сохранения энергии для *механических* процессов. Однако так можно считать лишь в *идеализированном* случае – если



Рис. 71.1. Полная механическая энергия, равная сумме кинетической и потенциальной энергии тела, остаётся постоянной в идеализированном случае – если не действуют силы трения (см. §2, п. 1⁰):

$$E = E_k + E_n$$

действием сил трения можно пренебречь.

Во многих случаях это можно сделать. Например, при рассмотрении движения подброшенного тела, рис. 71.1.

2⁰. В этом году вы узнали, что в *реальном мире* дело обстоит сложнее.

Существует ещё один вид энергии – *внутренняя* энергия U . Механическая энергия E обычно стремится перейти во внутреннюю $E \rightarrow U$, рис. 72.1. В этих случаях говорят, что механическая энергия «теряется», хотя это просто переход энергии из одного вида в другой: механическая энергия E

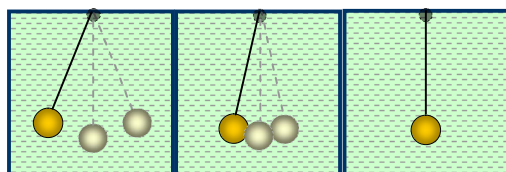


Рис. 72.1. Отклонённый от положения равновесия маятник, сделав некоторое число колебаний, останавливается. Его механическая энергия переходит во внутреннюю: $E \rightarrow U$.



Рис. 73.1. При выстреле внутренняя энергия пороха переходит в кинетическую энергию пули ($U \rightarrow E$).

уменьшается, а внутренняя U увеличивается на величину «потерь». При этом температура тела и окружающей среды повышается.

Однако, при *определённых условиях* внутренняя энергия может переходить в механическую $U \rightarrow E$, рис. 73.1. В этих случаях внутренняя энергия U уменьшается на величину увеличения механической энергии E , так что полная энергия E всегда сохраняется:

$$E = E + U. \quad (=const \text{ всегда})$$

То же самое происходит при взлёте ракеты (рис. 27.1, §2) и в других подобных случаях.

3⁰. Механическая и внутренняя энергии могут переходить от одного тела к другому. Кинетическая энергия текущей воды передается, например, колесам турбины, а энергия движущегося ветра – крыльям ветряного двигателя.

Переход *внутренней* энергии от одного тела к другому мы наблюдали при *теплопередаче*, когда внутренняя энергия от одного тела (например, нагретой печи) передавалась другому телу (воздуху комнаты), рис. 74.1.



Рис. 74.1. Воздух в комнате нагревается от горячей печи.: $Q_n \rightarrow Q_k$.

Смешивая горячую и холодную воду, можно убедиться (если мы не допустим перехода теплоты к другим, третьим телам), что количество теплоты, отданное горячей водой $Q_{отд}$, всегда равно количеству теплоты, полученному холодной водой $Q_{пол}$. Значит, сколько внутренней энергии (в данном примере в форме теплоты) отдаёт одно тело, столько же получает и второе, т. е. значение внутренней энергии сохранилось при переходе от одного тела к другому: $Q_{пол} = - Q_{отд}$.

Энергия не может появиться у тела, если оно не получило ее от другого тела. Энергия текущей воды и ветра получается, как мы знаем, за счет энергии Солнца; потенциальная энергия взлетевшей вверх ракеты – за счет энергии израсходованного при ее запуске топлива.

Переход *внутренней* энергии, полученной за счёт энергии продуктов питания, в механическую энергию происходит у животных и человека при их движении, рис. 75.1.



Рис. 75.1. Внутренняя энергия лани во время прыжка превращается в механическую: $U \rightarrow E$.

4⁰. Лишь в XIX внутреннюю энергию в форме «теплоты» приняли в полноправные члены «энергетического братства». Но, добившись признания, она потянула за собой и другие формы, такие, как *электрическая энергия, химическая энергия* и т. д.

Установленная А. Эйнштейном эквивалентность массы и энергии связала между собой **закон сохранения массы** (важнейший закон всей химии) и **закон сохранения энергии** (основной закон классической физики) в **единый закон сохранения энергии** с учётом внутренней энергии *покоя* U_0 . В будущем вы познакомитесь с этим подробнее.

Более сложные опыты показывают, что полная энергия E сохраняется для *всех* других известных видов энергии. Огромное количество подобных опытов и наблюдений привели к открытию одного из основных законов природы – **закону сохранения и превращения энергии**, который устанавливает следующее.

Во всех явлениях природы, энергия не исчезает и не создается. Она только превращается из одного вида в другой или переходит от одного тела к другому.

Этот закон действует как в неживой, так и в живой природе и является основой многих научных исследований и инженерных расчётов.

В естествознании и в технике этот закон записывается в виде формул, которые в разных случаях имеют различный вид (из-за многообразия видов энергии и конкретных задач), но выражают, конечно, одно и то же свойство природы.

Так идея сохранения энергии из узкой механической схемы переросла в общий принцип.

5⁰. Принято считать, что честь строгой формулировки и строгого доказательства классического **закона сохранения энергии** принадлежат, прежде всего, **Майеру, Джоулю и Гельмгольцу** в XIX веке.

Но многим и многим ученым надлежит воздать честь и принести благодарность за открытие этого важнейшего закона природы.

Так, великий русский учёный Михайло Ломоносов еще в 1748 г сумел впервые четко и строго высказать и сформулировать замечательную, фундаментальную мысль о единстве законов сохранения движения и материи. Он писал:

« ... все изменения, совершающиеся в природе, происходят таким образом, что сколько к чему и прибавилось, столько же отнимается у другого. Так, сколько к одному телу прибавилось вещества, столько же отнимается у другого ... Этот закон является настолько всеобщим, что простирается и на правила движения; тело, возбуждающее толчком к движению другое, столько же теряет своего движения, сколько отдает от себя этого движения другому телу».



Для Ломоносова, как и для физика наших дней, великие законы сохранения вещества и сохранения энергии были единым общим законом природы.

6⁰. В свое время изобретение методов получения механической работы за счет теплоты – *создание тепловых двигателей* – явилось началом новой эпохи в истории цивилизации.

Раздел физики, изучающий связи между механической и тепловой энергиями, стал называться **термодинамикой**. В дальнейшем своем развитии термодинамика стала наукой, исследующей связи между тепловой и всеми другими видами энергии — химической, электрической, энергии излучений и т. д.

В термодинамике обычно рассматриваются макроскопические неподвижные тела (системы тел). В этих случаях закон сохранения и превращения энергии удобно

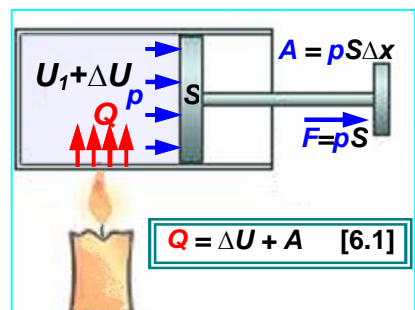


Рис. 76.1. Подведенное тепло Q идёт на увеличение внутренней энергии ΔU рабочего тела в цилиндре и совершение работы против внешних сил A — начало термодинамики.

сформулировать уже знакомым вам образом (см. п. 8⁰, Замечание, §3):

Количество теплоты Q , полученное телом (системой) расходуется на изменение внутренней энергии ΔU и на работу против внешних сил A :
 $Q = \Delta U + A$ [6.1].

В такой формулировке он называется **первым началом** (законом) **термодинамики**.

В нём учитывается, что существуют две формы передачи энергии – работа и теплота, а также то, что в теории тепловых двигателей удобно рассматривать сообщаемое телу тепло Q и совершаемую телом работу A против внешних сил.

Например, если к газу, заключенному в объёме под поршнем, подводится некоторое количество теплоты Q , то оно может быть израсходовано на повышение температуры газа, т. е. на увеличение его внутренней энергии ΔU и на работу A против силы внешнего давления при перемещении поршня, *рис.76.1*.

Здесь под изменением внутренней энергии ΔU подразумевается величина, равная

$$\Delta U = U_2 - U_1,$$

где U_1 — начальная внутренняя энергия тела, U_2 — конечная (после того, как ее изменили).



Вопросы

1. Приведите примеры превращения механической энергии во внутреннюю и внутренней в механическую.
2. Приведите примеры перехода механической энергии от одного тела к другому.
3. Какой опыт показывает, что при переходе внутренней энергии от одного тела к другому ее значение сохраняется?
4. В чем состоит закон сохранения энергии?
5. Какое значение имеет закон сохранения энергии в науке и технике?
6. Как называется наука, исследующая связи между тепловой и всеми другими видами энергии?
7. Как закон сохранения энергии называется и записывается в термодинамике?



Рис. 77.1. При спуске с горы изменяется механическая энергия E : потенциальная энергия E_n уменьшается, кинетическая E_k — увеличивается. На горизонтальном участке потенциальная энергия не изменяется, а кинетическая убывает. Это происходит из-за трения: нагреваются полозья саней и дорога, то есть увеличивается внутренняя U энергия тела: $E \rightarrow U$.



Упражнение

1. Молот копра при падении ударяет о сваю и забивает ее в землю, *рис. 78.1*. Какие превращения и переходы энергии при этом происходят? (Следует учесть, что свая и почва нагреваются при ударе.)
2. Какие превращения кинетической энергии автомобиля происходят при его торможении, *рис. 79.1*?

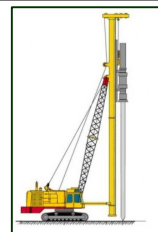


Рис. 78.1. Копр забивает сваю



Рис. 79.1. Торможение автомобиля.

3. Два одинаковых стальных шарика падают с одинаковой высоты. Один падает на стальную плиту и отскакивает вверх, другой попадает в песок и застревает в нем. Какие переходы энергии происходят в каждом случае?



Рис. 80.1. Какие преобразования энергии происходят при столкновении автомобилей?

4. Опишите все превращения и переходы энергии, которые происходят при натирании трубки с эфиром, закрытой пробкой (*рис. 33.1*).

пробкой (*рис. 33.1*).

5. Какие преобразования энергии происходят при столкновении автомобилей, *рис. 80.1*?

ТЕПЛОВОЕ РАСШИРЕНИЕ

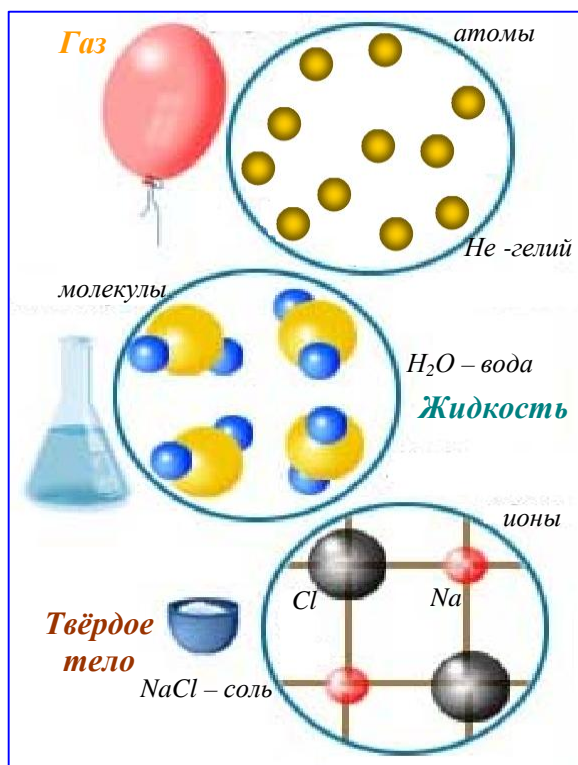


Рис. 1.1п. Структура газообразных, жидких и кристаллических твёрдых тел.

1⁰. Если тело получит дополнительное тепло ΔQ , оно нагреется, и движение его микрочастиц (атомов, молекул, ионов) будет более интенсивным, рис. 1.1п. Они станут расталкивать друг друга и займут больше места. Этим и объясняется хорошо известный факт: **при нагревании твердые, жидкие и газообразные тела расширяются**, рис. 2.1п.

Опыт показывает, что при увеличении температуры любого **газа** на 1^0K , его объём V (при постоянном давлении) возрастает на $1/273$ часть. Соответственно, при изменении температуры газа на ΔT^0K относительное изменение объёма газа $\Delta V/V$ составит

$$\Delta V/V = \Delta T/273 \quad (\text{при } p = \text{const})$$

Расширение большинства **жидкостей** раза в два-три меньше, чем расширение газов.

Тепловое расширение **твёрдых тел** существенно меньше, чем тепловое расширение жидкостей. Оно в сотни и тысячи раз меньше расширения газов.

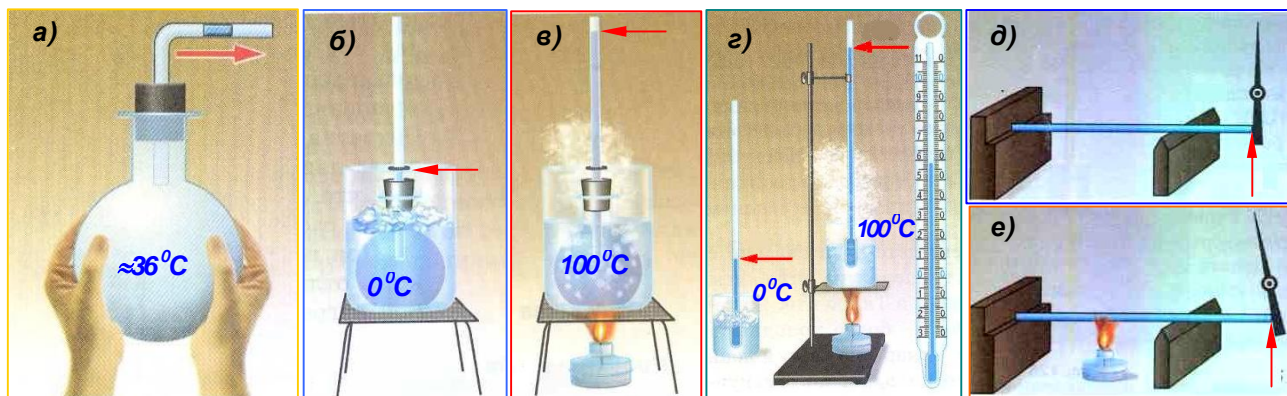


Рис. 2.1п. Тепловое расширение тел. а) Воздушный термоскоп, согреваемый теплом рук. Колба с водой и трубкой, вставленной в пробку: б) опущенная в сосуд с тающим льдом; в) в кипящую воду. г) Ртуть в трубке термометра, помещённая в стакан с тающим льдом (0^0C) и кипящую воду (100^0C). д) Стальной стержень при комнатной температуре. е) Тот же стержень после нагревания.

2⁰. Во многих случаях тепловое расширение является досадной помехой.

Так, изменение размеров движущихся частей часового механизма с переменной температуры привело бы к изменению хода часов, если бы для этих тонких деталей не применялся особый сплав – инвар (инвариантный в переводе означает сохраняющийся, неизменный, отсюда и название «инвар»). Инвар – сталь с большим содержанием никеля – широко применяется в приборостроении. Стержень из инвара удлиняется лишь на одну миллионную долю своей длины при изменении температуры на 1^0C .

Ничтожное, казалось бы, тепловое расширение твёрдых тел может привести к серьёзным последствиям. Тепловое расширение твёрдых тел может вызывать в них очень большие напряжения.

При нагревании на 1^0C стального стержня его длина возрастает всего на одну стотысячную, т. е. на незаметную глазом величину. Однако, чтобы воспрепятствовать расширению и сжать

стержень на одну стотысячную, нужна сила в 20 кГ на 1 см². И это только для того, чтобы уничтожить действие повышения температуры всего на 1°С!

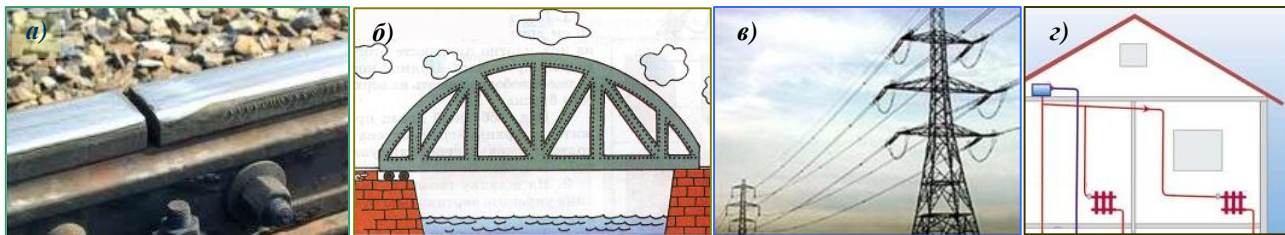


Рис. 3.1п. Рельсы укладывают с зазорами (а); опоры мостов делают подвижными (б); провода электропередач провисают (в); в верхней части системы водяного отопления устанавливают расширительный бачок (г).

Распирающие силы, возникающие из-за теплового расширения, могут привести к поломкам и катастрофам, если с ними не считаться.

Так, чтобы избежать действия этих сил, рельсы железнодорожного полотна укладывают с зазорами, крупные стальные мосты помещают на подвижные опоры; провода линий электропередач подвешивают с провисанием; в системах водяного отопления устанавливают расширительные бачки, свободно сообщающиеся с атмосферой, рис. 3.1п.



Рис. 4.1п. Кварцевое стекло (а); фарфоровая и кварцевая посуда (б); кварцевый обогреватель (в); кварцевый гриль (г).

Об этих силах приходится помнить при обращении со стеклянной посудой, которая легко трескается при неравномерном нагревании. Поэтому в нагревательных приборах и лабораторной практике пользуются лишенной этого недостатка посудой из кварцевого стекла (плавленый кварц - окись кремния, находящаяся в аморфном состоянии) и керамики, рис. 4.1п. При одном и том же нагреве медный брусок удлинится на миллиметр, а такой же брусок кварцевого стекла изменит свою длину на незаметную глазом величину 30-40 микрон. Расширение кварца настолько ничтожно, что кварцевый сосуд можно нагреть на несколько сот градусов, а потом без опасений бросить его в воду.

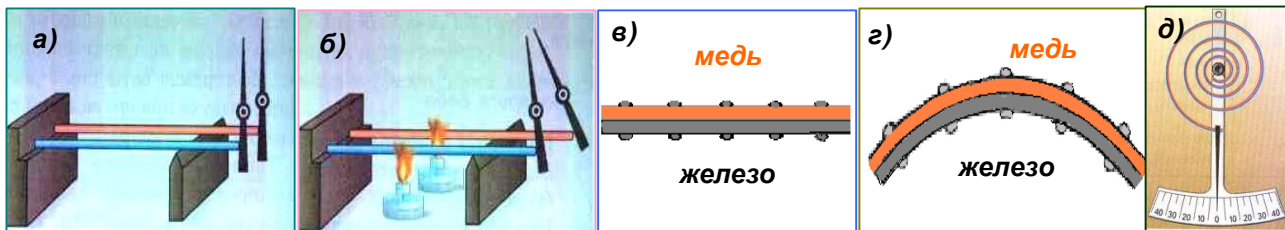


Рис. 6.1п. Стальной и медный стержни до (а) и после (б) нагрева. Биметаллическая пластинка до (в) и после (г) нагревания. Биметаллическая спираль со стрелкой (д).

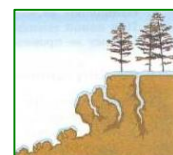
Различные металлы при нагревании на одинаковое число градусов расширяются по-разному. Склёпанные вместе пластинки из различных металлов называются биметаллическими пластинками. Из них используют в различных тепловых приборах для контроля за изменением температуры, рис. 6.1п.

3°. Следует напомнить о своеобразном тепловом расширении воды: при нагревании от 0° до 4°С объем воды с нагреванием уменьшается (а не увеличивается, как у других веществ), см. п.5°, §5.

Вопросы

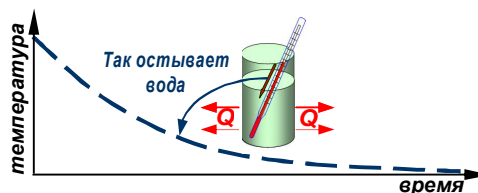


1. Зачем на точных измерительных приборах указывается температура, при которой следует производить измерения?
2. Почему зубные врачи не рекомендуют есть очень горячую и очень холодную пищу?
3. Почему вблизи обрывов почва трескается и разрушается?



ПРИЛОЖЕНИЕ №2

КАК МОЖНО УМЕНЬШИТЬ ПЕРЕДАЧУ ТЕПЛА?



1⁰. В процессах теплопередачи тепло всегда переходит от горячего тела к холодному. Еще И. Ньютон обнаружил, что чем больше разница температур тел, участвующих в теплообмене, тем с большей скоростью он протекает – тем больше теплоты передается в единицу времени. В частном случае: если тела имеют равные температуры, то теплообмена не происходит вообще.

Например, если в воду с температурой 0°C бросить кусок льда такой же температуры, то передача теплоты между ними происходит не будет: ни лед не начнет таять, ни вода не станет замерзать вокруг льда.

2⁰. Чтобы помешать телу остыть (или перегреться), нужно предотвратить возможность всех трех способов теплообмена (теплопроводности, конвекции, излучения) его с окружающими телами. Это достигается путем теплоизоляции тела, температуру которого следует сохранять.

Находясь на морозе продолжительное время, животные замерзают и могут погибнуть. Чтобы избежать этого, люди придумали тёплую одежду. Горячий чайник, снятый с плиты, при соприкосновении с окружающим воздухом постепенно остывает. Чтобы уберечь от мороза растения, строят теплицы. В странах с холодным климатом стены домов утепляют. Трубы с горячей водой укладывают со специальным теплоизоляционным покрытием, рис. 1.2п.



Рис. 1.2п. У животных теплоизоляцией является мех (а), у людей – одежда (б). Чайная бабушка способствует хорошей заварке чая, сохраняя его тепло (в). Растения предохраняют от заморозков, строя теплицы (г).

Теплоизоляция стен (д) уменьшает влияние колебаний температуры в доме при изменении погоды.

Теплоизоляция труб (е), по которым подаётся горячая вода в системы отопления, предотвращает потери передаваемого тепла. При этом стараются максимально уменьшить **все три** способа теплопередачи.

Мороженое в комнате тает. Жидкий гелий не может существовать при комнатной температуре – он переходит в газообразное состояние. Бабушка кастрюлю с горячей кашей накрывает подушкой, чтобы она не остыла.

3⁰. Воздух обладает низкой теплопроводностью; с его помощью можно сохранять тепло, но с одним условием: если мы избежим конвекции – перемешивания теплого и холодного воздуха, сводит на нет теплоизоляционные свойства воздуха. Устранение конвекции достигается применением разного рода пористых и волокнистых тел, рис. 2.2п. Все подобные тела – хорошие теплоизоляторы благодаря своей способности удерживать слой воздуха. Теплопроводность же самих веществ волокна или стенок пор может быть не очень малой.

Хороша шуба из густого меха, содержащего как можно больше волокон; гагачий пух позволяет изготавливать теплые спальные мешки весом меньше полукилограмма из-за исключительной тонины своих волокон. Полкилограмма этого пуха могут «задержать» столько же воздуха, сколько десяток килограммов ватина.

Полиэтиленовая плёнка практически исключает конвекцию. Поэтому лёгкие костюмы из полиэтиленовой плёнки пользуются успехом, например, на зимней рыбалке. Для уменьшения конвекции делают двойные рамы. Воздух между стенками не участвует в перемешивании воздушных слоев, происходящем в комнате.

Наоборот, всякое движение воздуха усиливает перемешивание и увеличивает передачу тепла. Именно поэтому, когда нам жарко, чтобы тепло уходило быстрее, мы обмахиваемся веером или включаем вентилятор (вынужденная конвекция!) – на ветру и холоднее. Но если температура воздуха очень высокая – выше температуры нашего тела, то перемешивание

приведет к обратному результату. В таких случаях ветер ощущается, как горячее дыхание, *рис. 3.2п.*



Рис. 2.2п. Хорошие теплоизоляторы – керамзит (а), минеральная вата (б); гагачий пух (в); ватин (д)

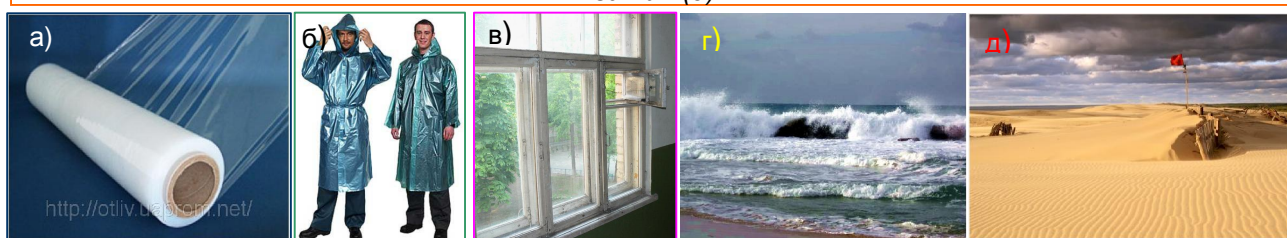


Рис. 3.2п. Исключают конвекцию: одежда из полиэтиленовой плёнки (а, б); двойные рамы окон (в). На ветру у моря холоднее (г), а ветер пустыни обжигает (д).

4⁰. Часто бывает необходимо сохранить пищу горячей или холодной. Этой цели служит хорошо известный вам **термос**.

Ещё до изобретения термоса, в 1892 г. английским ученым Джеймсом Дьюаром был изобретён сосуд, в котором можно было хранить сжиженные газы при очень низких температурах (*рис. 4.2п*). Такие сосуды вначале применялись лишь для хранения легкоиспаряющихся сжиженных газов (например, жидкого гелия, *рис. 3.1, справа*). Впоследствии их начали применять и в бытовых целях — для сохранения при неизменной температуре пищевых продуктов — и назвали **термосами**.

Устройство термоса, предназначенного для хранения жидкостей, показано на *рис. 5.2П*. Он состоит из стеклянного сосуда 4 с двойными стенками. Внутренняя поверхность этих стенок покрыта блестящим металлическим слоем, а из пространства между стенками выкачан воздух. Чтобы защитить стеклянный корпус термоса от повреждений, его помещают в картонный или металлический футляр 3. Сосуд закупоривают пробкой 2, а сверху футляра навинчивают колпачок 1. Вверху справа показан внешний вид бытового термоса.

Термос устроен таким образом, что теплообмен его содержимого с окружающей средой сведен до минимума. Отсутствие воздуха между его стенками препятствует переносу энергии путем конвекции и теплопроводности, а блестящий слой на внутренней поверхности



Рис. 4.2п. а) Сосуд Дьюара. б) Устройство бытового термоса. в) Лабораторный калориметр; общий вид. г) Устройство простейшего лабораторного калориметра.

термоса препятствует передаче энергии излучением.

5⁰. Более простой вариант теплоизолирующего сосуда, часто используемого в школьных физических лабораториях, представляет собой **калориметр** (*рис. 4.2п*). Он состоит из двух сосудов, разделенных воздушным промежутком: дно внутреннего сосуда отделено от внешнего сосуда специальной подставкой. Конечно, это не полностью исключает теплообмен между содержимым внутреннего сосуда и окружающей средой, но уменьшает его. Если проводить опыт достаточно быстро, количество теплоты, потерянное в процессе теплообмена с окружающей средой и стенками калориметра окажется незначительным.

ПРИЛОЖЕНИЕ №3

ТЕПЛОПЕРЕДАЧА И РАСТИТЕЛЬНЫЙ МИР.

1⁰. В природе и жизни человека растительный мир играет исключительно важную роль. В верхних слоях почвы и слое воздуха, прилегающего к Земле, происходит постоянно изменение температуры. Почва нагревается днем, так как поглощает энергию. Ночью, наоборот, она охлаждается – отдает энергию. На теплообмен между почвой и воздухом влияет наличие растительности, а также погода.

В пустынях велики суточные колебания температуры. Днем при отсутствии облаков поверхность сильно нагревается, но быстро остывает после захода солнца, *рис. 1.3п*. Песок при таких условиях днем очень сильно прогревается. Этому способствует еще и его малая теплопроводность, препятствующая уходу тепла из верхнего слоя в более глубокие слои. Ночью же верхний слой песка значительно охлаждается. Такие колебания температуры песка отражаются и на температуре приземного слоя воздуха.

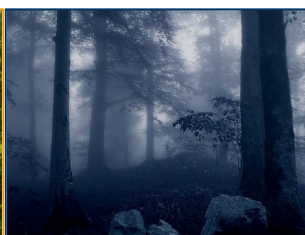
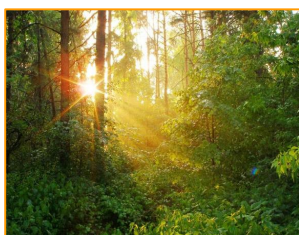
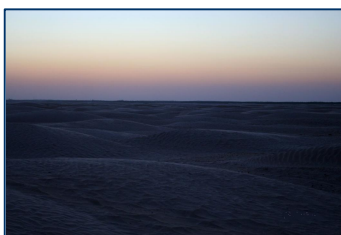


Рис. 1.3п. Пустыня вблизи экватора: днём температура превосходит 40 °С, а ночью – ниже 0 °С.

Рис. 2.3п. Густой лес днём плохо прогревается Солнцем, а ночью почти не остывает.

Почва, покрытая растительностью, плохо прогревается излучением и медленно охлаждается, *рис. 2.3п*.

Сильное охлаждение почвы, лишенной растительности, наблюдается в ясные, безоблачные ночи: излучение от почвы свободно уходит в пространство. Ранней весной в такие ночи по утрам наблюдаются заморозки, *рис. 3.3п*.

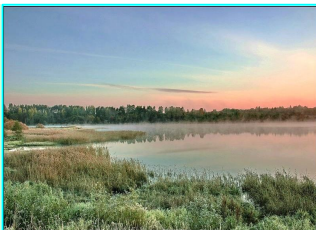
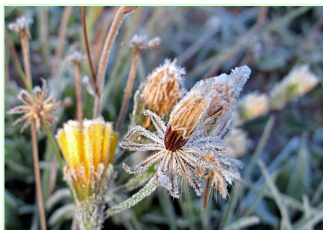


Рис. 3.3п. В ясные ночи и утром весной и в начале лета наблюдаются заморозки.

Рис. 4.3п. Во время облачности почва плохо теряет энергию путем излучения: облака служат экраном

Напротив, во время облачности почва плохо теряет энергию путем излучения. Облака служат экраном, *рис. 4.3п*.

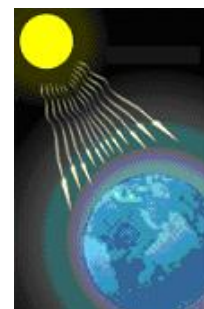
2⁰. Для повышения температуры почвы и предохранения посадок от заморозков используют теплицы, *рис. 1.2п, з*). Стекло или пленка хорошо пропускают солнечное излучение (видимое). Днем почва нагревается. Ночью невидимое излучение почвы стекло или пленка пропускают хуже. Почва не замерзает. Теплицы препятствуют также движению теплого воздуха вверх – конвекции.

Вследствие этого температура в теплицах выше, чем в окружающем пространстве.

ПРИЛОЖЕНИЕ №4

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЭНЕРГИИ СОЛНЦА НА ЗЕМЛЕ

1⁰. Источником большей части энергии, которой пользуется человек, является Солнце. За счет солнечной энергии поддерживается средняя годовая температура на Земле около 15 °С. Поток тепла и света, идущий от Солнца, обуславливает саму возможность жизни на нашей планете.



Мощность солнечного излучения, падающего на всю земную поверхность, так велика, что для ее замены понадобилось бы около 30 миллионов мощных электростанций.

Стоит только представить себе, что произошло бы на Земле, если бы Солнце каждый день не освещало Землю! Мы знаем такие места на Земле, которые слабо нагреваются Солнцем. Это Арктика и Антарктика. Там лютый холод, вечный лед и снег.

2⁰. Великий непрерывный круговорот воды на Земле совершается за счет энергии Солнца: вода морей, озер и рек испаряется, поднявшись вверх, пар сгущается в облака, переносится ветром в разные места Земли и выпадает в виде осадков. Эти осадки питают реки, которые снова текут в моря и океаны, *рис. 1.4п.*

Вследствие неравномерного нагрева поверхности Земли Солнцем возникают ветры (§5, п. 2⁰). Под действием ветров и приносимой ими влаги постепенно разрушаются огромные горные массивы. Энергия рек используется человеком для получения электроэнергии, передвижения судов, энергия ветра – в ветряных двигателях.

3⁰. Все, что происходит на Солнце, самым непосредственным образом сказывается на Земле. Вся жизнь на Земле – жизнь растений и животных – зависит от Солнца. Растениями осуществляется **фотосинтез**, *рис. 2.4п, а).*

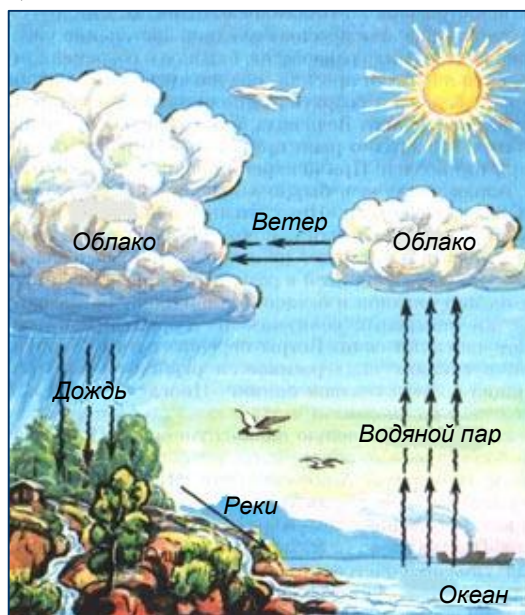


Рис. 1.4п. Великий непрерывный круговорот воды на Земле.

Фотосинтез — это превращение неорганических веществ в органические сложные вещества — углеводы (крахмал, сахара), органические кислоты, аминокислоты и т. д., которое может происходить в зеленых листьях растений при соответствующей температуре воздуха (28—30 °С) и достаточном поступлении в листья воды.

Обратимся к опыту.

Перевернутая воронка помещена в стакан с водой. В воронке находится лист растения, окруженный воздухом. Если растение освещать солнцем, то можно обнаружить, что из воронки будет выходить кислород, *рис. 2.4п, б).* Так растения пополняют атмосферу Земли кислородом, необходимым для дыхания всем животным и человеку. Как объяснить это явление?

В зеленый лист растения проникают молекулы CO_2 (оксида углерода (IV))¹, которые всегда находятся в воздухе.

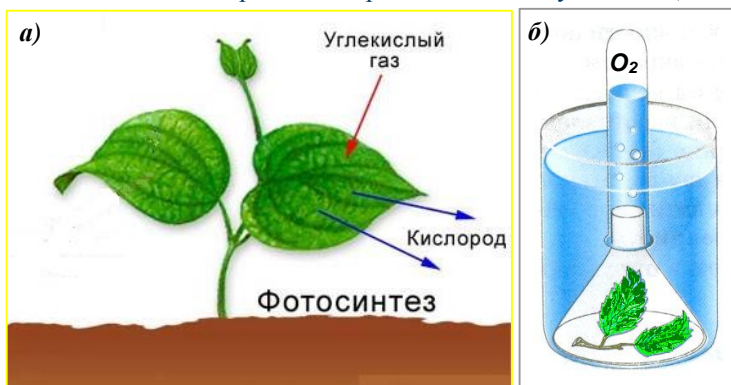


Рис. 2.4п. Если растение освещать солнцем, то можно обнаружить, что от него будет исходить кислород.

В результате химической реакции, в которой участвуют CO_2 и вода, содержащаяся в листе, образуются молекулы кислорода и органическое вещество. Кислород выделяется в окружающий воздух, а органическое вещество, содержащее углерод, остается в листе растения.

Мы знаем, что для разложения молекулы на атомы нужно затратить энергию (§11). Откуда берется эта энергия? Если описанный выше опыт производить, не освещая лист растения солнцем, то химической реакции не произойдет. Значит, разложение оксида углерода (IV) в зеленом листе растения происходит благодаря солнечной энергии.

4⁰. Каменный уголь, являющийся пока еще одним из основных наших источников энергии, представляет собой окаменевшие в земле остатки лесов, когда-то буйно росших на больших пространствах Земли. В болотах из отмирающих растений образуются пласты торфа, широко используемого как топливо.

¹ Другие названия CO_2 – углекислый газ, двуокись углерода,

Нефть, газ, асфальт, битум – тоже полезные ископаемые, в которых запасена энергия Солнца, *рис. 3.4п.*

Энергия животных, питающихся растениями, и энергия человека – все это преобразованная солнечная энергия.

Лишь недавно человечество научилось использовать дополнительный источник энергии на Земле – атомную энергию, непосредственно не связанную с Солнцем.

5⁰. Все шире используется непосредственное преобразование энергии солнечного

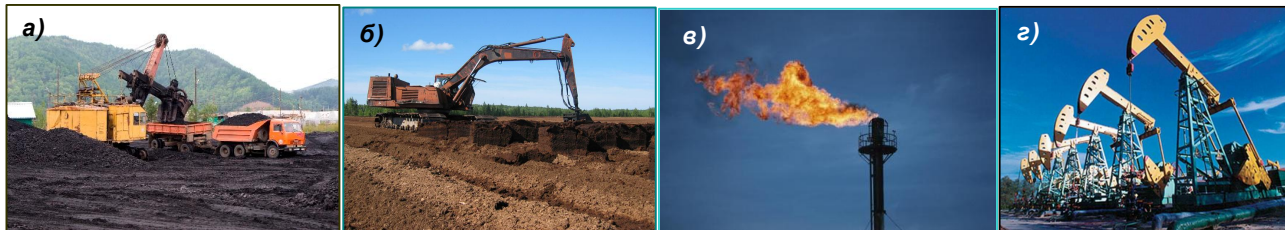


Рис. 3.4п. а) добыча каменного угля; б) торфа; в) природного газа; г) нефти.

излучения в электроэнергию, *рис. 4.4п.* На поверхности космических кораблей устанавливают солнечные батареи, которые улавливают солнечную энергию и при помощи фотоэлектрических преобразователей превращают ее в электроэнергию, которая поступает в единую систему электропитания корабля. Общая полезная площадь солнечной батареи

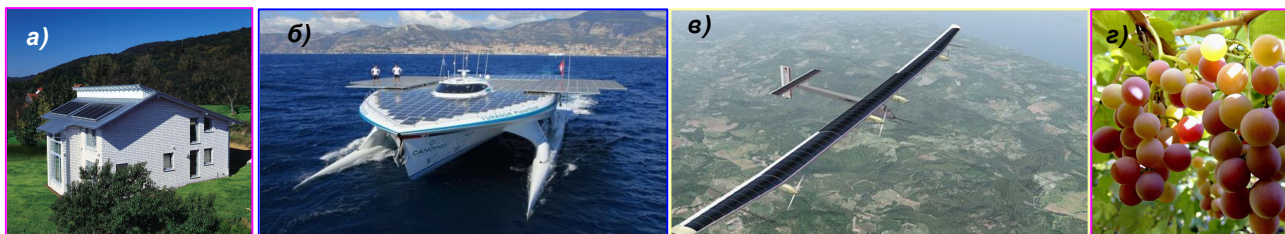


Рис. 4.4п. Использование энергии Солнца. а) дом с солнечными батареями; б) океанский катамаран на солнечных батареях; в) самолёт на солнечных батареях; г) виноград – вырос благодаря энергии Солнца.

достигает нескольких десятков квадратных метров.

В областях нашей страны, где велико число ясных солнечных дней в году, солнечное излучение используют непосредственно для нагревания воды, получения водяного пара. В некоторых жарких странах уже используют электромобили – автомобили, движущиеся за счет солнечной энергии, *рис. 5.4п.*



Рис. 5.4п. а) солнечный подогреватель воды; б) Автомобиль на солнечной энергии

6⁰. Важно понимать, что Земля получает от Солнца столько же энергии, сколько излучает в космическое пространство, *рис. 6.4п.* Малейшее нарушение этого баланса приводит к недопустимому перегреву или переохлаждению, способному уничтожить всё живое.

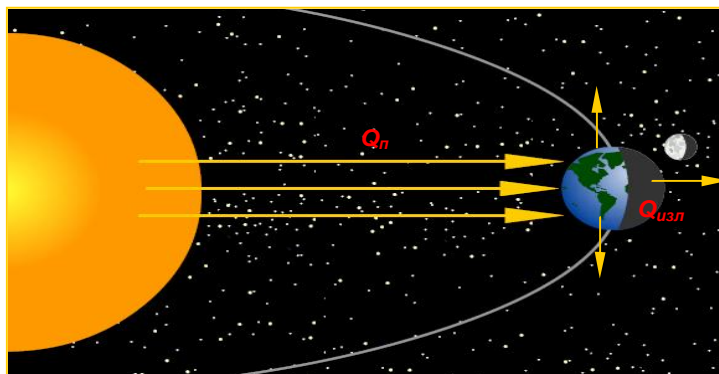


Рис. 6.4п. Земля излучает в космическое пространство столько же тепла, сколько получает от Солнца:

$$Q_{п} = Q_{изл}$$

