

# А

Российская академия наук  
Российская академия образования  
Издательство «Просвещение»

Академический школьный учебник

Домоносов

**ФИЗИКА**



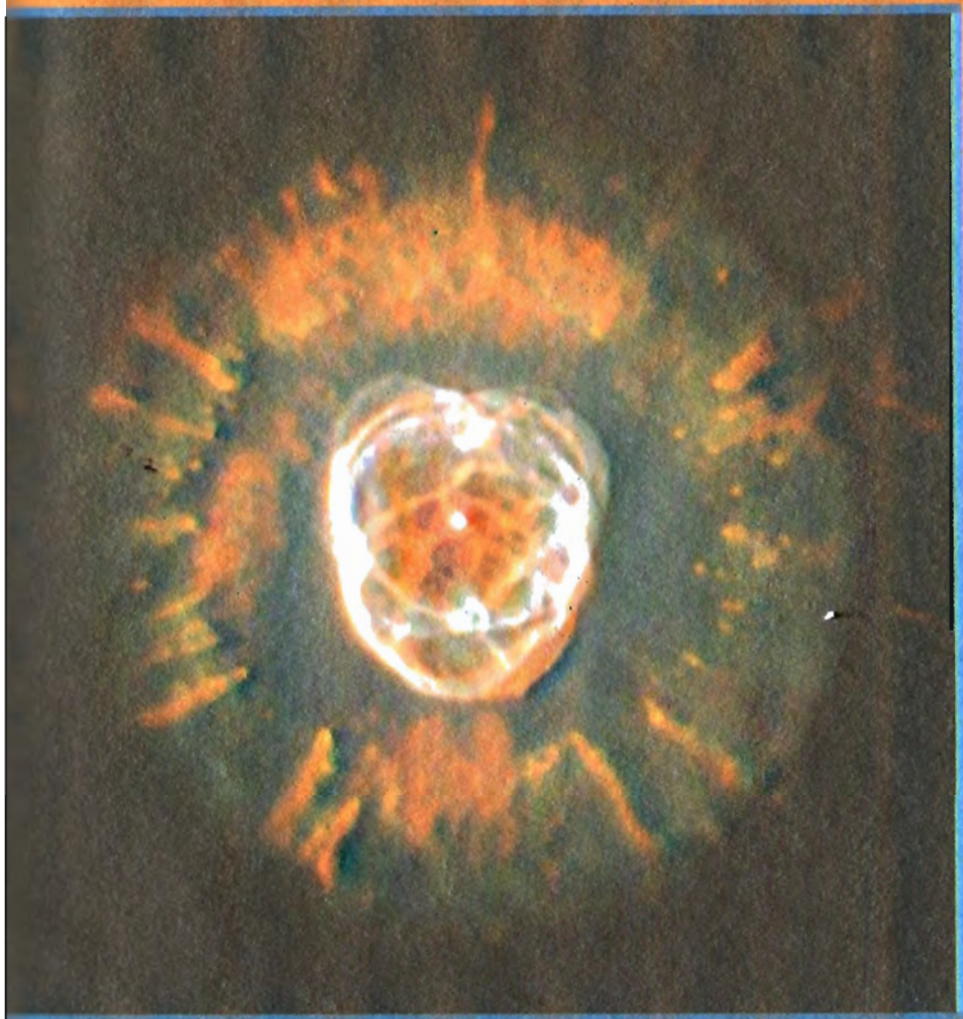
# ВЕЩЕСТВО

## Межзвездные газ и пыль.

На переднем плане  
и во врезке – темная  
газопылевая туманность  
«Конская голова».



# ВО ВСЕЛЕННОЙ



**Звезда, сбрасывающая  
газовые оболочки**  
(космический  
телескоп им. Хаббла,  
НАСА).

# АМОГОСОБ

17





*Дерзайте ныне ободренны  
Раченьем вашим показать,  
Что может собственных*

*Платонов*

*И быстрых разумом*

*Невтонов*

*Российская Земля рождать!*

А

Российская академия наук  
Российская академия образования  
Издательство «Просвещение»

Академический школьный учебник

А. А. Фадеева А. В. Засов Д. Ф. Киселев

# ФИЗИКА

# 7

**Молекулярная физика  
и термодинамика  
с основами  
общей астрономии**

**Учебник для 7 класса  
общеобразовательных  
учреждений**

Под редакцией А. А. Фадеевой

Допущено Министерством образования  
и науки Российской Федерации

2-е издание

Москва  
«ПРОСВЕЩЕНИЕ»  
2007

УДК 373.167.1:53  
ББК 22.3я72  
Ф15

Серия «Академический школьный учебник» основана в 2005 году.

Проект «Российская академия наук, Российская академия образования, издательство «Просвещение» — российской школе».

Руководители проекта: вице-президент РАН акад. **В. В. Козлов**, президент РАО акад. **Н. Д. Никандров**, генеральный директор издательства «Просвещение» чл.-корр. РАО **А. М. Кондаков**.

Научные редакторы серии: акад.-секретарь РАО, д-р пед. наук **А. А. Кузнецов**, акад. РАО, д-р пед. наук **М. В. Рыжаков**, д-р экон. наук **С. В. Сидоренко**.

Работая с учебником, обратите внимание на принятые условные обозначения:

❓ Вопросы, на которые надо ответить после изучения параграфа.

● Выполнить задание.

■ Решить задачу.

◆ Выполнить лабораторную работу или экспериментальное задание.

✳ Задания, вопросы или материал для любознательных.

! Обратить внимание.

! Запомнить.

Важные для осмысления и запоминания термины, понятия, определения выделены специальным шрифтом (*курсивом* и **полужирным** шрифтом), основные законы расположены на плашке, основные формулы заключены в рамку.

### **Фадеева А.А.**

Ф15 **Физика: молекулярная физика и термодинамика с основами общей астрономии: учеб. для 7 кл. общеобразоват. учреждений / А. А. Фадеева, А. В. Засов, Д. Ф. Киселев; под ред. А. А. Фадеевой; Рос. акад. наук, Рос. акад. образования, Изд-во «Просвещение». — 2-е изд. — М.: Просвещение, 2007. — 222 с.: ил. — (Академический школьный учебник). — ISBN 5-09-014491-5.**

Учебник знакомит учащихся с современными вопросами физики и астрономии, содержит много практических и лабораторных работ. Текст учебника сопровождается большим количеством иллюстраций и таблиц.

УДК 373.167.1:53  
ББК 22.3я72

ISBN 5-09-014491-5

© Издательство «Просвещение», 2007  
© Художественное оформление.  
Издательство «Просвещение», 2007  
Все права защищены

## НАШИ ЮНЫЕ ДРУЗЬЯ!

Вы приступаете к изучению нового учебного предмета «физика», который поможет понять простые и вместе с тем наиболее общие закономерности природных явлений, осознать свое место в мире. Слово «физика» происходит от греческого слова *phýsis* (фюзис), что означает «природа».

Изучая физику, вы узнаете, что объединяет тела живой и неживой природы; из чего состоят тела и вещества; почему и как движутся земные и космические тела; кто и как открыл законы мироздания; что такое явление, модель, гипотеза, закон, теория; каковы методы изучения природных явлений и как они используются; какие законы физики относятся к основным, какие из них применимы как к земным, так и к космическим телам; с какой целью совершаются космические полеты и создаются орбитальные станции.

Физика не изолированная наука, она тесно связана со многими областями знаний: химией, биологией, геологией. На стыке с другими науками возникли новые направления: биофизика, геофизика, физическая химия и др. Достижения в этих областях значимы для человечества. Они позволили создать сложные приборы и новые материалы, необходимые для медицины, космических исследований, развития промышленности и сельского хозяйства. Наиболее тесная связь физики и астрономии. Ведь законы физики справедливы не только на Земле, но и за ее пределами. Сама физика развивается на основе астрономических данных. Нет ни одной физической теории, которая не прошла бы или не проходила в настоящее время проверку астрономическими наблюдениями. Астрономия — это физика Вселенной.

Современная физика ознаменовалась открытием электрона, исследованием строения атома и атомного ядра, обнаружением радиоактивности, созданием ядерной энергетики. На ее основе возникла и развивалась техника, создавшая для экспериментальных исследований новые приборы: электронную аппаратуру, огромные ускорители элементарных частиц, приборы для изучения недр Земли, подводного мира, космического пространства.

Физика — наука экспериментальная: ее законы основываются на фактах, установленных опытным путем. Используя школьные физические приборы, вы научитесь наблюдать различные явления, планировать и выполнять эксперименты, пользоваться оборудованием, обрабатывать результаты измерений, выдвигать и доказывать (или опровергать) гипотезы, оформлять результаты экспериментов в виде таблиц, диаграмм и графиков.

Много физических приборов имеется у вас дома: термометр, барометр, часы, очки, лупа, фотоаппарат, телефон,



телевизор, холодильник, микроволновая печь, компьютер и многое другое. С устройством и принципом действия некоторых из этих приборов вы познакомитесь на уроках физики.

Изучение физики — это не легкое чтение, а серьезная работа, такое приложение человеческих сил и интересов, которое может увлечь любого: и мечтателя, и деятеля, и физика, и лирика.

В изучении природы и развитии науки физики было много достижений, но это не означает, что вам и будущим поколениям осталось только уточнять детали. Чем больше мы знаем, тем чаще соприкасаемся с неизвестным, так что число проблем, требующих решения, не уменьшается. Наиболее важной проблемой физики по-прежнему остается исследование природы на уровне элементарных частиц, атомного ядра, физики плазмы и многое другое. Серьезной научной задачей является также получение новых источников энергии. Известно, что окружающий нас мир состоит из 83 химических элементов. Самый легкий из них — водород, самый тяжелый — уран. Узнать, почему именно столько химических элементов и чем определяется их число, — одна из научных проблем в познании мира. Может быть, кому-нибудь из вас посчастливится это узнать!

В курсе «Физика» вы узнаете много нового и интересного. Авторы надеются, что этот учебный предмет позволит вам лучше понять окружающий мир и свое место в нем.

Терпения вам и удачи!

# ВВЕДЕНИЕ

## § 1. МИР ФИЗИКИ И АСТРОНОМИИ

Я не становлюсь богаче, сколько бы ни приобретал земель... а вот с помощью мысли я охватываю всю Вселенную.

*Б. Паскаль*

**Человек — часть Вселенной.** Практически все науки, все философские и религиозные системы стремятся осознать наше место во Вселенной и найти проявление ее законов в нас самих. Вот как выразил эту мысль немецкий философ Иммануил Кант (1724—1804): «Две вещи наполняют душу всегда новым и все более сильным удивлением и благоговением, чем чаще и продолжительнее мы размышляем о них, — это звездное небо надо мной и моральный закон во мне».

*Вселенная* (природа, космос) — это весь окружающий нас мир, т. е. вся среда нашего существования, все, что мы видим или можем ощутить вокруг себя, все, о чем мы знаем, и даже все то, что на сегодняшний день пока еще находится за пределами нашего познания. Понятие «Вселенная» включает в себя и нас самих как частицу природы.

Мы живем во Вселенной, являющейся средой нашего обитания. Само происхождение человека, особенности, которыми он обладает, связаны с изменениями окружающего мира и определяются физическими законами, действующими в нем.

*Человек — объект природы:* он состоит из химических элементов, встречающихся и в неживой природе; совершает перемещения, участвует в силовых взаимодействиях, подвергается влиянию гравитационного и электромагнитного полей.

*Человек — сложная система:* функционирование ее отдельных частей (систем, органов, клеток), взаимодействие с окружающей средой происходит в результате сложных физических процессов.

Человек, используя наблюдения, измерения, эксперименты, гипотезы, модели, теории, изучает и объясняет окружающий мир и себя в этом мире. В этом случае говорят: *человек — субъект познания* (от лат. *subjectus* — находящийся в основе).

*Человек — член сообщества себе подобных.* На благо себе он применяет достижения наук, в том числе физики и астрономии, видоизменяя и приспосабливая к своим потребностям окружающую среду. При этом человек должен стремиться не нарушать с ней гармонического единства.

**Общая картина Вселенной.** Вселенная (природа) состоит из множества различных тел. Тела, которые нас окружают на Земле, — *земные тела*. Тела, находящиеся вне пределов Земли, — *космические тела*. Среди земных тел различают живые (организмы) и неживые тела. То, из чего состоят тела, называют *веществом*. К космическим телам относятся: звезды, планеты, спутники планет, астероиды, кометы, метеориты и др. За много веков своего развития наука накопила огромный фактический материал, позволивший составить определенные представления о природе различных веществ и строения окружающего нас мира. Основу всех тел составляют мельчайшие носители их свойств — атомы, а сами атомы не являются неделимыми: они состоят из еще более мелких частиц. Их изучением занимается *физика элементарных частиц*. Вещество за пределами Земли изучает *астрономия*. Наблюдениям с планеты Земля доступны самые различные объекты, как близкие, так и очень далекие. Наиболее близкие к нам тела — *Луна, Солнце*, большие *планеты*, как правило, оказываются и самыми яркими небесными телами на нашем небе. Девять больших планет (Меркурий, Венера, Земля, Марс, Юпитер, Сатурн, Уран, Нептун и Плутон) с их спутниками, несколько десятков тысяч малых планет (или астероидов), бесчисленное множество комет и метеорных тел образуют нашу Солнечную систему. В ее центре находится Солнце, тяготение которого заставляет планеты двигаться вокруг него по орбитам, близким к круговым.

Солнце — самое массивное тело в нашей системе, ее главный источник света и тепла. Почти все наблюдаемое вещество во Вселенной сконцентрировано в подобных Солнцу гигантских самосветящихся газовых шарах — *звездах*. В большинстве из них постоянно происходит преобразование атомов одних химических элементов в другие, более массивные. Это один из важнейших процессов превращения вещества в природе: без него не возникла бы и живая природа, включая и нас самих. Для Вселенной в целом характерна структура, в которой более мелкие образования (планеты, звезды) входят в состав более крупных систем (планетные системы, скопления звезд). Известны скопления звезд, содержащие от нескольких десятков до сотен тысяч объектов. Они являются частью еще больших скоплений вещества. Огромные системы из десятков и сотен миллиардов звезд вместе с облаками межзвездного газа и пыли образуют звездные системы — *галактики* — важнейшие структурные элементы Вселенной. Наиболее яркую часть нашей Галактики, в которой мы живем, можно наблюдать в темную ясную ночь в виде широкой и клочковатой белесой полосы *Млечного Пути*, опоясывающей все небо. Практически все, что можно увидеть на небе невооруженным глазом, принадлежит нашей Галактике (это имя

собственное — его пишут с большой буквы!). Другие галактики, в свою очередь, образуют скопления и протяженные структуры, простирающиеся до самых удаленных областей, доступных наблюдениям (рис. 1).

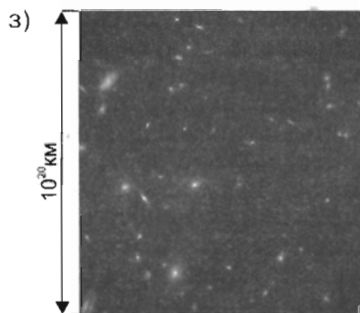
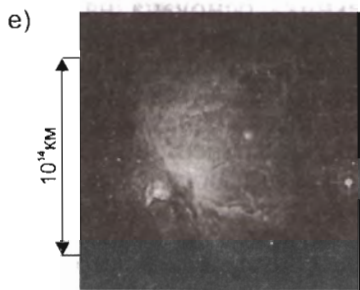
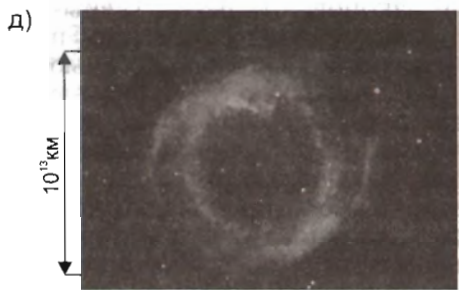
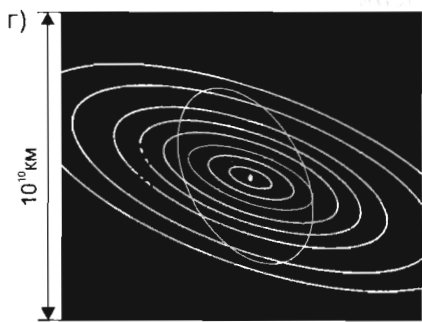
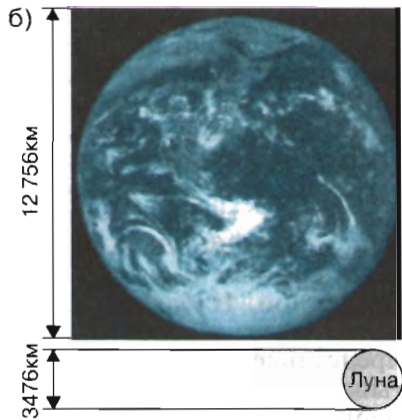
Современные методы астрономии позволяют изучать Вселенную на протяжении огромных расстояний, масштабы которых трудно себе представить. От наиболее удаленных объектов свет, распространяющийся со скоростью 300 000 км/с, идет к нам более десяти миллиардов лет. Это оказывается соизмеримым с возрастом наиболее старых звездных систем Вселенной. Наблюдая далекие галактики, мы можем как бы заглянуть в далекое прошлое нашей Вселенной и получить представление о ее *эволюции* (от лат. *evolutio* — развертывание: изменения в природе; их направленность, закономерности).

**Что изучают физика и астрономия.** Одна из главных задач физики и астрономии — *объяснить строение окружающего нас мира и происходящие в нем процессы, понять природу наблюдаемых явлений*. Другая важная задача этих наук — *выявить и познать законы, которым подчиняется окружающий мир*. Так, исходя из свойств элементарных частиц и законов их взаимодействия, ученые пытаются объяснить строение и свойства всех атомов, а из законов строения и взаимодействия атомов определить свойства веществ в природе.

Люди, познавая окружающий мир, используют законы природы для решения практических задач. Вся современная техника основана на применении законов, открытых учеными. Сложные процессы, происходящие в недрах Солнца и звезд, внутри атомов и их ядер, изучаются не только с целью понять их сущность, но и для того, чтобы получить новые источники энергии. В результате изучения свойств атомов созданы ранее неизвестные искусственные источники излучения. Они обладают рядом свойств, позволяющих разрешать многие проблемы связи, навигации, технологии и медицины.

Вместе с химиками физики создали много новых материалов, которые не встречаются в природе и обладают свойствами, отличающимися от известных на Земле.

**Физика и астрономия как фундаментальные науки о природе.** Наука возникла как попытка осмыслить окружающие явления, взаимосвязь природы и человека. Сначала она не разделялась на отдельные направления, как сейчас, а объединялась в одну общую науку — *философию* (от греч. *phileō* — люблю и *sophia* — мудрость, т. е. любознательность). После выделения науки о природе в самостоятельную дисциплину ее стали называть *натуральной философией*. Древнегреческий ученый и философ Аристотель в том же смысле назвал физикой одно из своих сочинений (от греч. *phýsis* — естество, природа). По мере накопления фактов



**Аристотель** (384—322 гг. до н. э.) — древнегреческий ученый и философ. Деятельность Аристотеля охватывала всю совокупность знаний того времени — о небе и Земле, о закономерностях движения тел, о животных и растениях. В своих трудах собрал и систематизировал все достижения древнегреческой науки. В трактатах «Физика», «О происхождении и уничтожении», «О метеорологических вопросах», «Механика» и др. изложил свои представления о природе и движении.



и совершенствования методов их анализа от натуральной философии стали отделяться такие самостоятельные науки, как биология — наука о живой природе, геология — наука о составе, строении и истории развития земной коры и Земли, химия — наука о превращении веществ, их составе и строении.

Физика изучает наиболее общие закономерности природы, строение и свойства материи. *Материей* в науке называется все, что реально существует в природе, все, что нас окружает, все, что мы можем ощущать непосредственно или с помощью специальных приборов.

Астрономия выделилась в отдельную дисциплину раньше физики и является наряду с математикой и механикой одной из древнейших наук. Современная астрономия также изучает наиболее общие закономерности природы, но в отличие от физики рассматривает их в связи с эволюцией нашего мира и входящих в него объектов. Можно сказать, что астрономия — это физика Вселенной в ее развитии.

Науки, которые рассматривают наиболее общие закономерности природы, необходимые для проведения других исследований, принято называть фундаментальными (от лат. *fundamentum* — основание).

◀ **Рис. 1. Пространственные масштабы Вселенной** (размеры объектов указаны слева в км): а) малая планета Эрос (диаметр 14 км) на фоне плана Москвы и Подмосковья; б) земной шар (экваториальный диаметр 12 756 км) и Луна (диаметр 3476 км); в) Солнце с солнечной короной в момент солнечного затмения (диаметр Солнца около 1,4 млн км); г) Солнечная система (показаны орбиты планет, комет, астероидов; расстояние от Солнца до самой далекой планеты Плутон около 6 млрд км); д) планетарная туманность — газовое облако, сброшенное звездой; е) туманность Ориона ( $1,5 \cdot 10^{14}$  км); ж) туманность Андромеды (диаметр около  $10^{18}$  км), внешне очень похожа на нашу Галактику, но в 1,5 раза крупнее; з) скопление галактик ( $1,5 \cdot 10^{20}$  км)

- ?** 1. Каковы основные задачи физики и астрономии?  
2. Почему физику и астрономию относят к фундаментальным наукам?

● 1. Пользуясь учебником физики (§ 1) и словарем, объясните смысл следующих слов: *Вселенная, материя, вещество, явление, эксперимент, метод, гипотеза, модель.*

2. Используя рисунок 1, б, сравните диаметры Земли и Луны. Во сколько раз они отличаются?

3. При наблюдении с поверхности Земли Луна и Солнце кажутся одинаковых размеров. Чем это можно объяснить?

## **§ 2. МЕТОДЫ ИЗУЧЕНИЯ ПРИРОДНЫХ ЯВЛЕНИЙ В ФИЗИКЕ И АСТРОНОМИИ**

**Методы познания природы.** Еще древние ученые и философы Фалес, Анаксагор, Демокрит, Гераклит, Аристарх, Архимед знали, что в основе наук лежат наблюдения явлений и объектов природы. Аристотель наиболее четко сформулировал логический метод познания законов природы, основанный на осмыслении наблюдений. Таким образом формируются наши представления о телах и явлениях. Эти представления должны приближать нас к познанию истинной их сути. Однако, если при анализе будут допущены какие-либо ошибки, результат может оказаться далеким от истины и привести к ложным выводам. Таких ошибок не избежал и Аристотель. Например, он считал, что при отсутствии сил не может быть движения. Только в эпоху Возрождения ученым стало ясно, что действие сил изменяет только скорость движения тел. В истории науки немало примеров, когда из-за неправильных предпосылок возникали целые наукообразные учения, например алхимия и астрология, которые в принципе не могли привести к объективному решению поставленных задач.

Одним из основоположников научного метода в естествознании был итальянский механик, физик и астроном Галилео Галилей, сочетавший наблюдения и их теоретический анализ.



**Галилэй Галилео** (1564—1642) — итальянский ученый, один из основателей точного естествознания. Впервые установил, что опыт — главный источник познания. Изготовил подзорную трубу и начал астрономические наблюдения. В трактате «Звездный вестник» (1610) описал сделанные им открытия: обнаружение гор на Луне, четырех спутников у Юпитера, темных пятен на Солнце; доказательство того, что Млечный Путь состоит из множества звезд.

*Основа научного метода познания* — наблюдение изучаемого явления или процесса, а также проведение эксперимента и последующий их теоретический анализ. Наблюдения (непосредственные или с помощью приборов) и эксперимент позволяют узнать основные характеристики данного явления. По ним можно сформулировать гипотезу или построить модель явления. Для этого часто требуются повторные или дополнительные наблюдения и эксперименты в иных условиях. Результаты наблюдений и экспериментов позволяют уточнить модель и получить новые, ранее неизвестные данные. Если дальнейшие наблюдения или эксперименты подтверждают эти теоретические выводы, то модель можно считать правильно объясняющей явление.

Таким образом, как и во всех естественных науках, в физике и астрономии сочетаются как теоретические, так и экспериментальные методы познания: эксперимент и теория в равной мере необходимы и взаимосвязаны.

Физика и астрономия едины. Они различаются лишь в характере используемого в них эксперимента: если основу физики составляет, как правило, активный, лабораторный эксперимент, являющийся как бы вопросом исследователя к Природе, то в астрономии активные эксперименты (типа лабораторного анализа метеоритов или космических экспериментов) весьма редки и чаще всего приходится ограничиваться пассивными наблюдениями. Говоря точнее, основу астрономии составляет качественный и количественный анализ различных видов излучения, приходящего на Землю из космоса. При этом особое значение приобретают методы математики и теоретической физики. Другая важная особенность астрономии — это огромные масштабы исследуемых объектов как в пространстве, так и во времени, что придает астрономии эволюционный характер: основная ее задача — изучать физический мир в его развитии.

**Язык физики и астрономии.** Во всех науках при построении и расчетах моделей, их анализе и обобщениях широко используются достижения математики. Математика — важнейший инструмент научного исследования. Основные физические и астрономические задачи формулируются в виде математических уравнений, решение которых нередко требует огромного труда или даже специальных разработок. Так, многие разделы математики развились благодаря решению задач в области физики и астрономии. Физика особенно помогает совершенствовать технику вычислительных операций. Современные компьютеры широко используются для решения физических и астрономических задач.

**Связь физики и астрономии с другими науками.** Границы, отделяющие физику от других наук, условны и изменяются с течением времени. Физика — основа естественных



наук. Проникновение физики в астрономию, биологию, геологию, химию столь велико, что на их стыке возникли новые самостоятельные науки: астрофизика, биофизика, геофизика, физическая химия и химическая физика. Уже сами эти названия свидетельствуют о том, что физика — основа многих астрономических, биологических и химических исследований.

Взаимосвязь между физикой и астрономией очень тесная: обе эти взаимопроникающие науки исследуют окружающий нас мир. Астрономия пользуется методами физики, а физика обогащается достижениями астрономии. Обе дисциплины в основном различаются лишь масштабами исследуемых явлений и местонахождением соответствующих объектов. Физика в первую очередь рассматривает явления, наблюдаемые в земных условиях или в специальных лабораториях. Однако основные (фундаментальные) законы физики были открыты или проверены при изучении небесных тел. В свою очередь, и астрономия широко использует достижения физики, математики и техники. Главная задача астрономии — изучение физической природы, происхождения, эволюции объектов за пределами земной атмосферы.

**Физика и техника.** Современная техника возникла и развивалась на основе физики. Так развивались, например, радиотехника, авиационная, атомная и космическая техника. Техника, в свою очередь, дарит физике новые приборы для экспериментальных исследований. Это и электронная аппаратура, и ЭВМ, и огромные ускорители элементарных частиц, и приборы для изучения недр Земли, подводного мира, космического пространства (см. вклейки II, III, IV).

**?** 1. Какие методы познания природы известны вам? 2. В чем особенности изучения природы в астрономии? 3. Приведите примеры, иллюстрирующие взаимосвязь физики, математики, астрономии, техники. 4. Обоснуйте справедливость утверждения: «Эксперимент и теория в равной мере необходимы и взаимосвязаны».

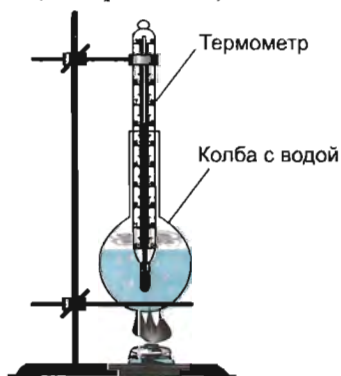


Рис. 2

● На рисунке 2 изображен опыт, иллюстрирующий кипение воды. Какие методы изучения явления кипения воды при этом используются? Ответ обоснуйте.

### § 3. ФИЗИЧЕСКИЕ И АСТРОНОМИЧЕСКИЕ ВЕЛИЧИНЫ

С давних пор люди сталкивались с необходимостью измерять расстояние, скорость, время, площадь, объем и многие другие величины. Значение измерений возрастало по мере развития науки и техники, расширения торговли.

**Масса тела. Эталон килограмма.** Одной из характеристик тел (земных и космических) служит *масса* (от лат. *massa* — глыба, ком, кусок). Для любого тела — карандаша, телевизора, станка, планеты, звезды и т. д. — она имеет свое значение. Масса наряду с расстоянием (длиной) между телами и временем является одной из основных измеряемых величин. Масса обозначается буквой латинского алфавита *m* (читается «эм»).

Физические величины задаются числовым значением и наименованием единицы. Нет никакого смысла в утверждении, что масса тела равна 35; весьма существенно, будет ли это 35 кг, 35 мг или 35 т.

Любое измерение в физике сводится к сравнению некоторой величины с другой, принятой за единицу. Для этого надо иметь эталон единиц физической величины (от франц. *étalon* — образец). Выбор единицы массы произволен, однако она должна быть удобной для практического применения. В 1889 г. на Международном конгрессе для сравнения масс тел условились использовать *эталон килограмма* — тщательно изготовленный образец в виде цилиндрической гири и эталонные весы. Массу этого образца условились считать за 1 кг (килограмм) (от греч. *chilioi* — тысяча и лат. *gramma* — мелкая мера массы). Эталон килограмма отлит из сплава двух металлов: платины (90%) и иридия (10%) (рис. 3).

Существует международный эталон килограмма, который хранится во Франции в пригороде Парижа — Севре в Международном бюро мер и весов. С международного эталона с высокой точностью изготовлены копии для других стран, в том числе и для нашей страны.

✳ На Руси древней единицей массы была *гривна* (1 гривна = 409,5 г). Для определения больших масс использовали *пуд* (1 пуд = 16,38 кг), а малых — *золотник* (1 золотник = 4,27 г). Для определения массы сыпучих веществ использовали *куль* (для ржи 1 куль = 151,3 кг, для овса 1 куль = 100,3 кг).

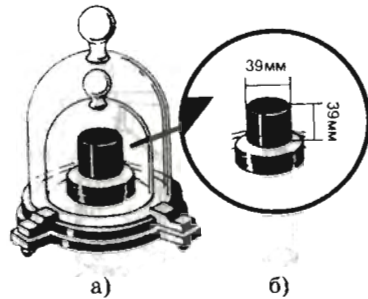


Рис. 3. Эталон килограмма



Рис. 4. Рычажные весы и набор гирь

Массу тела можно определить путем взвешивания на весах. На рисунке 4 изображен внешний вид лабораторных весов и набор гирь.

**Метрическая система мер. Эталон длины.** Вплоть до XVIII в. почти во всех странах применялись свои меры длины, массы и др. Одна и та же мера длины, например сажень (1 сажень = 213,4 см), в России, Польше, на Кавказе имела разное значение. С развитием торговых связей между народами в каждой стране наряду с ранее применявшимися мерами стали употреблять меры других стран. Росло число единиц измерения одной и той же величины. Поэтому назрела необходимость уточнить единицы и упорядочить систему мер. Предлагались различные системы. Наиболее удобной для расчетов оказалась *десятичная система мер*, в которой каждая единица в 10, 100, 1000 и т. д. раз больше или меньше других однородных единиц. Десятичная система мер была разработана во Франции в XVIII в. В ее основу были положены единица длины — *метр* и единица массы — *килограмм*. Эта система получила еще одно название — *метрическая система мер* (от франц. *mètre* — мера). В качестве единицы длины было предложено считать одну сорокामиллионную ( $1/40\,000\,000$ ) часть длины Парижского меридиана. В 1799 г. был изготовлен *эталон длины* — метр: 1 метр — это расстояние между двумя штрихами, нанесенными на стержне

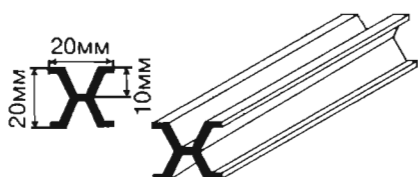


Рис. 5. Эталон длины — метр

особой формы, изготовленном из сплава платины и иридия (рис. 5). Более точные измерения показали, что этот эталон только приблизительно соответствует сорокामиллионной доле длины меридиана.

Эталон длины хранится в Международном бюро мер и весов во Франции. В других странах (в том числе и в нашей стране) имеются точные его копии. По ним и устанавливается длина линеек — метров.

Повышение требований к точности измерений, а также целесообразность перехода к естественному и неразрушаемому эталону длины привели к тому, что в 1960 г. было принято решение об отмене платино-иридиевого эталона длины — метра и о введении нового, «светового метра».

Очень важным является определение единиц измерения времени, организуемое совместными усилиями астрономов и физиков. Основная единица измерения времени — *секунда* — сначала была введена как  $1/86\,400$  доля суток, а затем из-за небольшого непостоянства их продолжительности — как определенная доля года. В настоящее время она связывается с частотой излучения атомов цезия. Другая, более крупная единица измерения времени — *тропический год* — составляет  $31\,556\,926$  с. Более подробно об этом вы узнаете в старших классах.

**Международная система единиц.** Системы единиц величин могут быть разными. Они зависят от того, какие физические величины выбраны в качестве основных, а также от выбора единиц их измерения. В настоящее время самой распространенной является Международная система единиц, которая получила сокращенное обозначение SI (в русской транскрипции СИ читается «эс и», что означает «система интернациональная»). Она строится на основе семи основных величин, в число которых входят: метр — единица длины, килограмм — единица массы, секунда — единица времени. В дальнейшем вы познакомитесь с другими основными и производными единицами Международной системы единиц.

**Астрономические единицы физических величин.** В астрономии приходится иметь дело с колоссальными масштабами пространства и времени, а также с необычайно большим диапазоном масс — от отдельных атомов до скоплений тысяч галактик, каждая из которых содержит многие миллиарды звезд. Вместе с тем единицы, используемые для измерения астрономических величин, должны строго соответствовать эталонам, определенным методами физики, т. е. должны быть выражены в метрах (м), килограммах (кг), секундах (с). Помимо этого, в астрономии используются внесистемные единицы.

Важной единицей расстояний в астрономии является *радиус Земли*. В результате специальных измерений размеров и формы Земли установлено, что экваториальный радиус Земли (он на 21 км больше полярного вследствие сжатия планеты) составляет  $(6378\,160 \pm 3)$  м, или округленно 6378 км:

$$R_{\oplus} \approx 6378 \text{ км.}$$

Основным эталоном расстояний в Солнечной системе является *астрономическая единица* (а. е.). За 1 а. е. принимают среднее расстояние между центрами Земли и Солнца. 1 а. е. равна  $(149\,597\,870 \pm 2)$  км, или примерно 150 млн км. Это одна из наиболее точно измеренных величин:  
 1 а. е.  $\approx$  150 млн км.

В астрономии (особенно в целях наглядности) в качестве единицы расстояния часто используют *световой год* (св. год). *Световой год* — это путь, который свет, распространяясь со скоростью 300 000 км/с, проходит за год:

$$1 \text{ св. год} \approx 63\,240 \text{ а. е.}$$

Для характеристики масс космических объектов используют более крупные единицы: *масса Земли* ( $6 \cdot 10^{24}$  кг) для тел Солнечной системы и *масса Солнца* ( $2 \cdot 10^{30}$  кг) для звезд и остальных объектов:

$$m_{\oplus} \approx 6 \cdot 10^{24} \text{ кг,}$$

$$m_{\odot} \approx 2 \cdot 10^{30} \text{ кг.}$$

**?** 1. Приведите примеры величин, характеризующих объекты неживой природы. 2. Что понимают под эталоном единиц величин? Приведите примеры эталонов величин в физике и астрономических единиц. 3. Какая величина вводится для характеристики тела? 4. Что принимается за эталон килограмма?

#### ◆ ИЗМЕРЕНИЕ МАССЫ ТЕЛА

*Приборы и материалы:* рычажные весы, набор гирь, цилиндр, брусок, тело неправильной формы.

**??** При взвешивании тела необходимо соблюдать следующие правила:

- 1) уравновесить весы до взвешивания;
- 2) добиться равновесия весов с телом на левой чаше и гирями на правой;
- 3) обращаться с весами осторожно.

1. Убедитесь, что весы находятся в равновесии. Если весы не в равновесии, то добейтесь равновесия.

2. Определите массу тела в граммах (г) и килограммах (кг). Результаты измерений масс тел запишите в таблицу.

Тело	Масса, $m$	
	г	кг
Цилиндр		
Брусок		
Тело неправильной формы		

## § 4. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ

Окружающая нас природа постоянно изменяется. Изменения, которые происходят в природе, называют *явлениями*. К физическим явлениям относятся тепловые, световые, звуковые, электрические, магнитные. Разнообразные явления, тела и вещества характеризуют физическими понятиями и величинами. Вы знаете, что одной из характеристик тел служит масса. Рассмотрим еще некоторые важные понятия и величины.

**Плотность вещества.** Для характеристики вещества вводится специальная величина — *плотность вещества*.

Плотностью вещества называется отношение массы тела из данного вещества к объему этого тела.

Плотность обозначается буквой греческого алфавита  $\rho$  (читается «ро»).

Формула расчета плотности:



$$\rho = \frac{m}{V},$$

где  $\rho$  — плотность вещества;  $m$  — масса тела;  $V$  — объем.

При этом предполагается, что тело является сплошным, без пустот и примеси другого вещества (т. е. вещество считается однородным).

В Международной системе единиц (СИ) плотность выражается в килограммах на кубический метр ( $\text{кг}/\text{м}^3$ ).  $1 \text{ кг}/\text{м}^3$  — это плотность однородного вещества, масса которого равна  $1 \text{ кг}$  при объеме  $1 \text{ м}^3$ .

Если масса измерена в граммах ( $\text{г}$ ), а объем — в кубических сантиметрах ( $\text{см}^3$ ), то плотность будет выражена в граммах на кубический сантиметр ( $\text{г}/\text{см}^3$ ):

$$1 \text{ г}/\text{см}^3 = 1000 \text{ кг}/\text{м}^3.$$

Плотности разных веществ определены, и их можно узнать из таблицы 1.

Таблица 1

**Плотность некоторых веществ**

Вещество	Плотность $\rho$ (при температуре $20^\circ\text{C}$ )	
	$\text{кг}/\text{м}^3$	$\text{г}/\text{см}^3$
<i>Твердые вещества</i>		
Алюминий	2700	2,7
Железо	7900	7,9
Медь	8900	8,9
Лед	900	0,9
Свинец	11 400	11,4

Вещество	Плотность $\rho$ (при температуре 20 °С)	
	кг/м <sup>3</sup>	г/см <sup>3</sup>
<i>Жидкости</i>		
Вода дистиллированная	1000	1
Вода морская	1030	1,03
Керосин	800	0,8
Нефть	900	0,9
Ртуть	13 500	13,5
<i>Газы</i>		
Воздух	1,29	0,00129
Кислород	1,43	0,00143
Углекислый газ	1,97	0,00197

Табличные данные показывают, что плотность дистиллированной воды  $\rho = 1000 \text{ кг/м}^3$ . Это означает, что масса 1 м<sup>3</sup> воды равна 1000 кг.

Живые тела состоят из различных веществ, поэтому значения плотностей таких тел в таблице нет.

**Взаимодействие тел. Сила.** В окружающем нас мире все находится в непрерывном движении и изменении. Тела движутся или изменяют свою форму и размеры под воздействием других тел. Представим такую ситуацию. На реке в двух лодках сидят спортсмены. Один из них толкает лодку другого, и обе лодки приходят в движение, но они будут двигаться в противоположные стороны. Если к пружине подвесить груз, то она растянется и груз опустится. Многие из вас любят играть в хоккей. Когда вы ударяете клюшкой по шайбе, шайба может удариться о борт игровой площадки. При этом шайба меняет направление своего движения, а борт приходит в колебательное движение. Влияние тел друг на друга называется *взаимодействием*.

Для характеристики взаимодействия тел в физике введена особая величина — *сила*. Сила обозначается буквой латинского алфавита  $F$  (читается «эф»). В Международной систе-



**Рис. 6.** Внешний вид лабораторного динамометра с подвешенным грузом

ме единиц (СИ) сила выражается в ньютонах (Н). Эта единица названа в честь английского ученого И. Ньютона.

Для измерения силы используется динамометр (силомер). На рисунке 6 изображен внешний вид лабораторного динамометра.

Земля притягивает все находящиеся на ней или вблизи нее тела с некоторой силой. Эта сила получила название *сила тяжести*. Условились считать, что на тело массой 102 г действует сила тяжести, равная одному ньютому (1 Н).

### Давление.

Величину, равную отношению силы, действующей перпендикулярно поверхности, к площади этой поверхности, называют давлением.

Обозначается давление буквой латинского алфавита  $p$  (читается «пэ»).

Формула расчета давления:



$$p = \frac{F}{S},$$

где  $p$  — давление;  $F$  — сила, действующая на тело;  $S$  — площадь опоры.

В Международной системе единиц давление выражается в паскалях (Па). Эта единица названа в честь французского ученого Блеза Паскаля.

Воздушная оболочка Земли (атмосфера) притягивается к Земле и оказывает давление на ее поверхность (на все тела) — *атмосферное давление*. Атмосферное давление считается нормальным, если оно примерно равно  $10^5$  Па (сто тысяч паскалей).

Нормальное атмосферное давление  $p \approx 10^5$  Па.

Более подробно о массе, разнообразии сил и их особенностях, а также давлении вы узнаете в курсе физики 8 класса и в старших классах.

**Работа.** В повседневной жизни под термином «работа» понимают всякий полезный труд — физический или умственный. Однако в физике понятие работы применяется только в том случае, если тело движется под действием приложенной к нему силы. Например, электровоз с некоторой силой тянет вагоны электропоезда, при этом состав передвигается на какое-то расстояние. Вы неоднократно наблюдали подъем грузов с помощью крана на какой-то этаж строящегося дома. В этих примерах речь идет о совершении работы.

Как можно рассчитать работу? Представим себе такую ситуацию: ваш одноклассник вышел на балкон дома и держит



в руках футбольный мяч массой 400 г. Случайно он обронил мяч, и мяч стал падать на землю. На мяч действует сила тяжести, примерно равная 4 Н. Балкон находится на высоте 6 м от поверхности земли. Работу силы тяжести можно рассчитать, если умножить силу тяжести, действующую на мяч, на расстояние, пройденное мячом. Работа обозначается буквой  $A$ .

Формула расчета работы:



$$A = F \cdot s,$$

где  $F$  — сила тяжести, действующая на мяч;  $s$  — расстояние, пройденное мячом.

Работа определяется произведением силы, действующей на тело, и расстояния, пройденного им в направлении действия силы.

За единицу работы в Международной системе единиц принимается джоуль: Дж = Н · м; названа в честь английского ученого Джеймса Джоуля (1818—1889). 1 Дж — это работа, совершаемая постоянной силой в 1 Н при перемещении тела на 1 м.

Для нашего случая работа силы тяжести

$$A = 4 \text{ Н} \cdot 6 \text{ м} = 24 \text{ Дж}.$$

Понятие «работа силы» используется во всех разделах физики и в технике. Более подробно с этим понятием мы познакомимся в 8 и 9 классах, а также в старшей школе.

**Энергия.** Если тело (или система тел) способно совершить работу, то принято считать, что оно обладает энергией (от греч. *enérgeia* — действие, деятельность). Чем большую работу способно совершить тело, тем большей энергией оно обладает.

Энергией называется величина, показывающая, какую работу способно совершить тело (или система тел).

Энергию обозначают буквой  $E$  и выражают в тех же единицах, что и работу, т. е. в джоулях (Дж).

Тело, поднятое над поверхностью Земли (например, поднятая плотина вода), обладает энергией. Падая с высоты, вода совершает работу, приводя в действие гидротурбины. Заведенная пружина механических часов, раскручиваясь, совершает работу, заставляя двигаться часовой механизм.

Энергия, обусловленная взаимным положением взаимодействующих тел (или частей одного и того же тела), называется *потенциальной энергией* (от лат. *potentia* — возможность). Обозначают потенциальную энергию так:  $E_p$ .

Система тел (например, поднятая вода и Земля) обладает потенциальной энергией. *Чем больше высота, на которую поднято тело, и чем больше его масса, тем больше потенциальная энергия тела.*

Энергией обладают и движущиеся тела. Энергия, которой обладают тела вследствие своего движения, называется *кинетической энергией* (от греч. kinetikos — приводящий в движение). Обозначают кинетическую энергию так:  $E_k$ .

Кинетическую энергию мы используем для совершения работы. Так, энергия движущегося молотка используется при вбивании гвоздя в стену, энергия ветра — для работы ветродвигателя.

*Чем больше масса тела и скорость, с которой оно движется, тем больше его кинетическая энергия.*

Тела могут обладать одновременно и потенциальной, и кинетической энергией. Например, летящий самолет обладает как кинетической энергией, так и потенциальной энергией относительно Земли.

Энергия может передаваться от одного тела к другому. Так, при стрельбе из лука потенциальная энергия натянутой тетивы переходит в кинетическую энергию летящей стрелы. Явления обычно сопровождаются превращением одного вида энергий в другой. Так, при движении стрелы в воздухе она нагревается.

Понятие «энергия» связывает воедино все явления природы. Более подробно с понятием «энергия» мы познакомимся в 8 и 9 классах, а также в старшей школе.

---

**\* Масштабы физических величин.** Окружающий нашу планету мир можно охарактеризовать множеством величин. Остановимся только на некоторых из них.

Радиус наблюдаемой части Вселенной примерно равен  $10^{26}$  м, а радиус ядра атома водорода (протона) примерно  $10^{-15}$  м (см. Приложения 1 и 2). Рост школьников вашего возраста равен примерно 1,5 м. Как мы уже видели из рисунка 1, расстояние от Солнца до самой далекой планеты Солнечной системы — Плутона равно 40 а. е. (т. е.  $6 \cdot 10^{12}$  м), а расстояние от Солнечной системы до ближайшей звезды (альфа Центавра) 270 000 а. е. (т. е.  $4 \cdot 10^{16}$  м).

По расчетам ученых, возраст наблюдаемой части Вселенной оценивается примерно в 14 млрд лет, а возникновение Солнечной системы и Земли как космического тела произошло 4—4,5 млрд лет тому назад. Человек разумный (*Homo sapiens*) появился не позднее 40 тыс. лет тому назад.

Диапазон масс объектов окружающего мира также велик. Масса наблюдаемой части Вселенной оценивается  $10^{53}$  кг, масса электрона равна  $9,1 \cdot 10^{-31}$  кг. Масса школьника ва-

шего возраста равна примерно 50 кг. Масса планеты Земля равна  $6 \cdot 10^{24}$  кг, масса гидросферы Земли —  $1,4 \cdot 10^{21}$  кг, атмосферы —  $5,2 \cdot 10^{18}$  кг.

Интервал плотностей разных видов вещества во Вселенной также очень велик: от плотности недр нейтронных звезд ( $10^{18}$  кг/м<sup>3</sup>) до плотности вещества в межгалактическом пространстве ( $10^{-30}$  кг/м<sup>3</sup>). Средняя плотность Земли равна 5518 кг/м<sup>3</sup>, а тканей тела человека — 1036 кг/м<sup>3</sup>.

Итак, мы видим, что числовые параметры (рост, масса, плотность) человека находятся где-то в середине огромного диапазона характеристик микро- и макромира, для которых человек и окружающие его предметы служат как бы связующим звеном.

---

**?** 1. Какая величина вводится для характеристик веществ? Каково ее наименование? 2. У каких веществ плотность больше: у газов, жидкостей или твердых тел? Ответ поясните. 3. Что такое взаимодействие тел? Какая величина характеризует взаимодействие? 4. Что такое давление? 5. Запишите формулу расчета давления. Поясните величины, входящие в эту формулу. 6. Каково наименование давления? 7. Чему равно нормальное атмосферное давление? 8. Запишите формулу расчета работы. Поясните величины, входящие в эту формулу. 9. Каково наименование работы? 10. Что понимают под энергией? Какие виды энергии вам известны? Приведите примеры.

---

■ 1. Образец из металла массой 175,5 г имеет объем 65 см<sup>3</sup>. Чему равна плотность вещества? Из какого вещества изготовлен образец?

2. Объем льдины 2 м<sup>3</sup>. Чему равна масса льдины?

3. Масса алюминиевой детали фигурного пресса равна 540 г. Чему равен объем детали?

## § 5. РОЛЬ ИЗМЕРЕНИЙ В ФИЗИКЕ И АСТРОНОМИИ

Наука начинается с тех пор, как начинают измерять.

*Д. И. Менделеев*

Измерения играют важную роль в физике и астрономии: без измерений нельзя провести сравнение величин, проверить правильность закона.

**Прямые и косвенные измерения.** При прямом измерении результат получается непосредственно из измерения самой величины. Примеры прямых измерений — измерения длины предмета при помощи линейки, штангенциркуля, мик-

рометра или измерительного микроскопа, проградуированных в единицах длины (метрах, сантиметрах, миллиметрах, микронах), определение массы тела с помощью рычажных весов и набора гирь, интервалов времени с помощью часов или секундомера, атмосферного давления с помощью барометра и др.

Однако прямые измерения не всегда возможны или недостаточно точны. В этих случаях используют косвенные измерения. *При косвенных измерениях значение искомой величины находят по известной зависимости между ней и непосредственно измеряемыми величинами.* Примеры косвенных измерений — измерение скорости движения тела по прямым измерениям пути и интервала времени, определение глубины моря по измерениям скорости звука в воде и интервала времени, за которое он проходит путь от корабля до дна моря и обратно, вычисление расстояний до звезд по их наблюдаемой яркости и др.

**Точность измерений.** При проведении измерений решающую роль играет точность измерения. Вся история физики и астрономии — история повышения точности измерений. Никакое измерение не может быть выполнено абсолютно точно. Его результат всегда содержит некоторую ошибку или погрешность. *Погрешность* — оценка отклонения результата измерения от истинного значения. Если мы говорим, что масса тела измерена с точностью до 1 г, то это значит, что измеренная масса отличается от истинной массы тела не более чем на 1 г.

Наиболее точные измерения получаются при непосредственных сравнениях измеряемых величин с эталонами. Проведение таких точных измерений сложно и дорого, так как требует специальных приборов и установок. В повседневной практике мы пользуемся более простыми измерительными приборами, которые с определенной точностью отградуированы по копиям эталонов (линейка, гири, часы и т. п.).

При каждом измерении прибором вносится некоторая погрешность, которая зависит от точности его градуировки и называется *приборной* или *инструментальной погрешностью*. Обычно

в качестве инструментальной погрешности принимается величина, равная половине самого мелкого деления на шкале прибора — его цены деления.

Покажем, как определяется точность измерений на примере измерения длины деревянного бруска (рис. 7).

Цена деления линейки 1 см. Инструментальная погрешность



Рис. 7

прибора  $1 \text{ см}/2 = 0,5 \text{ см}$ . Результат измерения можно записать так:  $l = 80,0 \text{ см} \pm 0,5 \text{ см} = (80,0 \pm 0,5) \text{ см}$ . Эта запись означает, что значение длины бруска может быть как  $80,0 \text{ см} + 0,5 \text{ см} = 80,5 \text{ см}$ , так и  $80,0 \text{ см} - 0,5 \text{ см} = 79,5 \text{ см}$ .

Иными словами, значение длины бруска находится в интервале от 79,5 до 80,5 см и может быть любым, оставаясь внутри этого интервала:

$$79,5 \text{ см} < l < 80,5 \text{ см}.$$

При проведении измерений важным является умение определить предел измерения, цену деления шкалы прибора и его инструментальную погрешность.

*Предел измерения* — это значение измеряемой величины, соответствующее последнему штриху прибора. *Верхний* предел измерения — самое большое значение величины, которое может измерить прибор. *Нижний* предел измерения — наименьшее значение величины, которое может измерить прибор.

*Цена деления* — это значение самого малого деления на шкале прибора.

Покажем, как определяются предел измерения, цена деления и инструментальная погрешность, на примере динамометра (см. рис. 6).

Предел измерения динамометра — это значение силы, соответствующее последнему штриху прибора. Верхний предел измерения — наибольшее значение силы, которое может измерить динамометр, — 4 Н. Нижний предел измерения — наименьшее показание динамометра — 0.

Для определения цены деления динамометра:

- выберите на шкале два деления, например 1 и 2 Н;
- найдите разность показаний:  $2 \text{ Н} - 1 \text{ Н} = 1 \text{ Н}$ ;
- подсчитайте, сколько малых делений между делениями 1 и 2 Н (в нашем случае 10 делений);
- разделите разность показаний на число делений:  $1 \text{ Н} : 10 = 0,1 \text{ Н}$ ; 0,1 Н — цена деления динамометра, изображенного на рисунке 6.

Инструментальная погрешность равна:  $\frac{0,1 \text{ Н}}{2} = 0,05 \text{ Н}$  (половина самого малого деления на шкале прибора).

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 1

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЦЕНЫ ДЕЛЕНИЯ И ИНСТРУМЕНТАЛЬНОЙ ПОГРЕШНОСТИ ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО ПРИБОРА

*Приборы и материалы:* измерительный цилиндр (мензурка), стакан с водой, динамометр, набор грузов, измерительная линейка.

- ◆ 1. Рассмотрите измерительные приборы, обратив внимание на: а) предел измерения прибора; б) цену деления; в) инструментальную погрешность.

Результаты изучения шкалы приборов запишите в таблицу:

Прибор	Предел измерения		Цена деления	Инструментальная погрешность	Показание прибора
	нижний	верхний			
Мензурка					
Динамометр					
Измерительная линейка					

2. Налейте в мензурку воды. Определите объем налитой воды. Запишите в таблицу значение объема налитой воды с учетом инструментальной погрешности мензурки. В каком интервале находится значение объема налитой воды в мензурке?

🔑 *Обратите внимание!* Объем обозначается буквой латинского алфавита  $V$  (читается «вэ»). Единицы объема  $1 \text{ см}^3$ ,  $1 \text{ дм}^3$ ,  $1 \text{ м}^3$ . Объем жидкостей и газов обычно измеряют в литрах (л). Один литр (1 л) — это один кубический дециметр:  $1 \text{ л} = 1 \text{ дм}^3$ . Одна тысячная часть литра называется миллилитром (мл):

$$0,001 \text{ л} = 1 \text{ мл}, \quad 1 \text{ л} = 1000 \text{ мл}, \quad 1 \text{ мл} = 1 \text{ см}^3.$$

3. Подвесьте к динамометру два груза. Запишите значение силы тяжести, действующей на грузы, с учетом инструментальной погрешности динамометра. В каком интервале находится значение силы тяжести, действующей на грузы?

4. Измерьте высоту стола. Запишите ее значение. В каком интервале находится значение высоты стола?

**Измерения в астрономии.** Как и физика, астрономия базируется на измерениях, только относятся эти измерения к далеким космическим телам. Измеряются расстояние до небесных тел, их масса, плотность, химический состав и скорость движения и многие другие параметры, без которых было бы невозможно понять природу наблюдаемых объектов и процессы, в них происходящие. В астрономии, помимо фи-

зических систем единиц, используются специальные астрономические единицы (например, единицы расстояния, размеров или масс небесных тел).

Специфика и сложность астрономических измерений состоят в том, что они в большинстве случаев осуществляются с Земли, т. е. с большого расстояния от изучаемого объекта. Звезду или планету не положишь на весы и не приложишь к ней измерительную линейку. Поэтому измерения, как правило, являются не прямыми, а косвенными, при которых значение искомой величины получают путем расчетов на основе данных наблюдений. Но некоторые астрономические измерения все же проводятся непосредственно. К ним относятся прежде всего измерения угловых размеров тел (или угловых расстояний между ними) и количества приходящей от них энергии.

Угловые расстояния выражаются не в метрических единицах (метр, километр), а в угловых градусах (угловые минуты и секунды). Угловые размеры дисков Луны и Солнца почти одинаковы и составляют около  $\frac{1}{2}$  градуса ( $0,5^\circ$ ). Однако их линейные размеры различны: диаметр Солнца больше диаметра Луны в 400 раз, примерно во столько же раз Солнце находится дальше от Земли, чем Луна. Или, например, несложно оценить максимальную высоту, на которую в данной местности может подниматься Солнце над горизонтом (на широте Москвы она составляет  $79^\circ$ ). Все эти оценки получены прямыми измерениями.

Исторически первые астрономические измерения, проводившиеся тысячи лет назад, были именно измерениями углов, например угловых расстояний между Солнцем и Луной или между какой-либо звездой и плоскостью горизонта. Создавались и веками совершенствовались приборы для угломерных измерений, возрастала их точность. Именно угломерные измерения положений Солнца, Луны и звезд позволили оценить продолжительность года и разработать календарную систему счета времени, научиться предсказывать затмения Луны и Солнца, дали возможность составить каталоги относительных положений звезд на небе, открыть законы движения планет в Солнечной системе. В настоящее время угломерные измерения позволили измерить медленные перемещения звезд на небе относительно друг друга, а также узнать скорости движения звезд и Солнца в пространстве. Наиболее точные угломерные измерения проводятся с помощью специализированных космических аппаратов.

Первый каталог, содержащий описание относительных положений 850 наиболее ярких звезд, составил один из мыслителей античного мира — Гиппарх, живший на острове Родос во II в. до н. э. Он же по измерениям угловых переме-

щений Солнца определил продолжительность года с ошибкой всего лишь в 6 минут (записывается так: 6'). Через 19 веков после Гиппарха английский астроном Эдмунд Галлэй (1656—1742) впервые обнаружил, что звезды движутся в пространстве, медленно перемещаясь относительно друг друга. Гиппарх провел первые грубые глазомерные количественные измерения видимой яркости звезд, разделив звезды по яркости на 6 групп звездных величин. Чем слабее звезда, тем больше ее звездная величина. Эта шкала яркости лежит в основе и современной шкалы звездных величин, только измерения стали многократно точнее. Современные приборы могут обнаружить изменение видимой яркости звезды, даже если яркость не превышает нескольких десятых долей процента. Такие измерения, так же как и угломерные, являются прямыми.

Одной из основных прикладных задач астрономии до середины XX в. было измерение точного времени по положениям звезд на небе, непрерывно меняющимся из-за суточного вращения Земли вокруг оси. Сигналы точного времени, передававшиеся по радио, контролировались по астрономическим наблюдениям. Однако благодаря успехам физики были созданы часы (атомные), идущие равномернее, чем вращающийся земной шар. Поэтому точное время сейчас определяется по атомным часам. По ним сверяются все часы мира. К атомному времени привязана и основная единица времени в физике — секунда.

---

**\* ?** Повышение точности измерений — это путь к новым открытиям. Так, более точные измерения плотности азота, выделенного из воздуха и полученного химическим путем, позволили Дж. Релею и У. Рамзаю в 1894 г. открыть новый инертный газ — аргон. Повышение точности измерений плотности воды привело в 1932 г. к открытию тяжелого изотопа водорода — дейтерия. А в астрономии повышение точности измерения положения ярких звезд на небе позволило в середине XIX в. впервые оценить расстояния до звезд и измерить скорости их перемещения в пространстве.

---

**? 1.** Что понимают под погрешностью измерений? **2.** Что понимают под инструментальной погрешностью? Чему она равна? **3.** Как принято записывать результат измерений? **4.** Какие измерения относятся к прямым? Приведите примеры. **5.** Какие измерения относятся к косвенным? Приведите примеры. **6.** Какова особенность измерений в астрономии? **7.** Кто первым составил каталог звезд? На сколько групп по яркости были разделены звезды, видимые невооруженным глазом?

---



1. Запишите соотношения между единицами длины:

$$1 \text{ дм} = ? \text{ м}; 1 \text{ см} = ? \text{ м}; 1 \text{ мм} = ? \text{ м};$$

$$1 \text{ м} = ? \text{ дм} = ? \text{ см} = ? \text{ мм};$$

$$0,1 \text{ м} = ? \text{ дм} = ? \text{ см} = ? \text{ мм};$$

$$0,5 \text{ м} = ? \text{ дм} = ? \text{ см} = ? \text{ мм};$$

$$0,01 \text{ м} = ? \text{ дм} = ? \text{ см} = ? \text{ мм};$$

$$1 \text{ км} = ? \text{ м} = ? \text{ см}; 1 \text{ а. е.} = ? \text{ км} = ? \text{ м}.$$

2. Используя измерительную линейку, измерьте высоту, ширину и толщину своего учебника. Запишите показания с учетом инструментальной погрешности линейки.

3. Запишите соотношения между единицами объема:

$$1 \text{ м}^3 = ? \text{ см}^3; 1 \text{ дм}^3 = ? \text{ см}^3; 1 \text{ см}^3 = ? \text{ мм}^3;$$

$$1 \text{ мм}^3 = ? \text{ м}^3; 1 \text{ см}^3 = ? \text{ м}^3; 0,2 \text{ м}^3 = ? \text{ см}^3;$$

$$5 \text{ м}^3 = ? \text{ см}^3; 0,01 \text{ м}^3 = ? \text{ л}; 0,5 \text{ л} = ? \text{ мл};$$

$$0,12 \text{ дм}^3 = ? \text{ см}^3; 9 \text{ м}^3 = ? \text{ дм}^3.$$

4. На рисунке 8 изображена мензурка. Используя рисунок, запишите нижний предел измерения объема, верхний предел измерения объема, цену деления мензурки и инструментальную погрешность прибора. Каков объем налитой жидкости? Запишите показание мензурки (в мл,  $\text{см}^3$  и  $\text{м}^3$ ).

5. На рисунке 9 изображен опыт по измерению температуры жидкости в мензурке. Используя рисунок, запишите нижний предел измерения температуры, верхний предел измерения температуры, цену деления и инструментальную погрешность термометра. Запишите показание термометра с учетом инструментальной погрешности прибора.

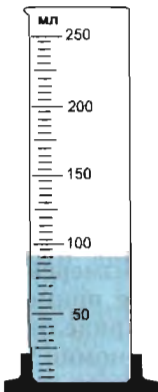


Рис. 8

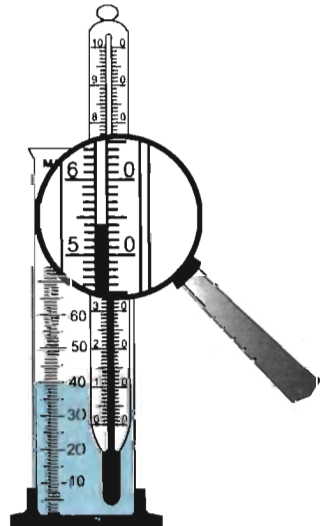


Рис. 9

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 2

### ИЗМЕРЕНИЕ ОБЪЕМОВ РАЗЛИЧНЫХ ТЕЛ

#### Вариант 1

##### ИЗМЕРЕНИЕ ОБЪЕМА ТЕЛА ПРЯМЫМ СПОСОБОМ

*Приборы и материалы:* измерительный цилиндр (мензурка), тело (металлический шарик или цилиндр, фарфоровый ролик, кусок металла и др.), нить.

◆ 1. Определите цену деления и инструментальную погрешность мензурки (рис. 10, а).

2. Налейте в мензурку воду и определите начальный объем жидкости в мензурке  $V_1$ . Запишите в таблицу значение объема налитой воды с учетом инструментальной погрешности мензурки.

3. Опустите тело, объем которого надо измерить, в воду, удерживая его за нить (рис. 10, б). Измерьте объем жидкости и тела  $V_2$ . Запишите в таблицу значение объема с учетом инструментальной погрешности мензурки.

4. Рассчитайте объем тела:  $V = V_2 - V_1$ .

5. Результаты измерений и вычислений запишите в таблицу. Значение объема тела запишите с учетом инструментальной погрешности мензурки.

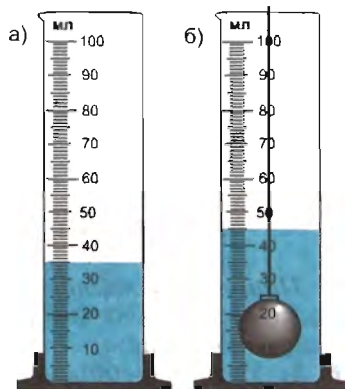


Рис. 10

Название тела	$V_1, \text{ см}^3$	$V_2, \text{ см}^3$	$V, \text{ см}^3$

6. В каком интервале находится значение объема тела?

#### Вариант 2

##### ИЗМЕРЕНИЕ ОБЪЕМА ТЕЛА КОСВЕННЫМ СПОСОБОМ

*Приборы и материалы:* брусок в виде параллелепипеда (металлический, пластмассовый или деревянный), измерительная линейка.

◆ 1. Определите цену деления и инструментальную погрешность измерительной линейки.

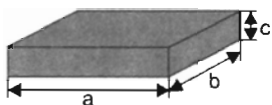


Рис. 11

2. Измерьте длину  $a$ , ширину  $b$  и высоту  $c$  бруска (рис. 11).

3. Рассчитайте объем бруска, используя формулу  $V = abc$ .

4. Результаты измерений и вычислений запишите в таблицу.

Название тела	$a$ , см	$b$ , см	$c$ , см	$V$ , см <sup>3</sup>

\* 5. В каком интервале находится значение объема тела?

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 3

### ИЗМЕРЕНИЕ ПЛОТНОСТИ ТВЕРДОГО ТЕЛА

*Приборы и материалы:* измерительный цилиндр (мензурка), твердое тело (цилиндр, брусок и др.), нить, рычажные весы, набор гирь.

◆ 1. Измерьте объем тела с помощью мензурки (см. лабораторную работу 2, вариант 1). Какова инструментальная погрешность мензурки?

2. Измерьте массу тела на рычажных весах. (Инструментальная погрешность весов  $\pm 0,01$  г.)

3. Рассчитайте плотность данного тела по формуле

4. Результаты измерений и вычислений запишите в таблицу.

$V$ , см <sup>3</sup>	$m$ , г	$\rho$		Название вещества
		г/см <sup>3</sup>	кг/м <sup>3</sup>	

Название вещества вы можете найти в справочнике по физике.

● 1. Для характеристики объектов природы используют разнообразные величины. Каждая величина отражает какое-то свойство объекта, имеет наименование (за редким исключением) и ее можно измерить с помощью какого-либо прибо-

ра. В первой графе таблицы указаны некоторые величины. Заполните другие графы таблицы.

Величина	Обозначение	Единица величины (наименование)	Прибор для измерения
Длина			
Время			
Объем			
Масса			
Сила			

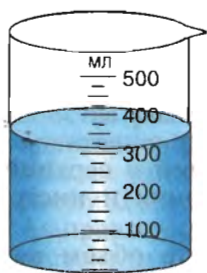


Рис. 12

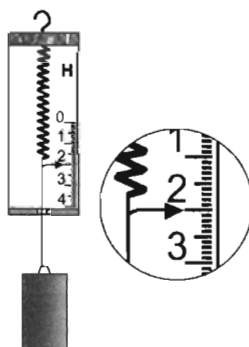


Рис. 13

2. На рисунке 12 изображен мерный стакан. Используя рисунок, запишите: нижний предел измерения объема, верхний предел измерения, цену деления мерного стакана. Чему равен объем налитой жидкости? Значение объема запишите с учетом инструментальной погрешности мерного стакана.

3. Используя рисунок 13, ответьте на вопросы: 1) Какой измерительный прибор изображен на рисунке? 2) Каков нижний предел измерения? 3) Какова цена деления прибора? 4) Какова инструментальная погрешность измерительного прибора? Запишите показание прибора с учетом его инструментальной погрешности.

◆ \* 1. Используя комнатный или уличный термометр, определите:

- 1) нижний и верхний предел измерения прибора;
- 2) цену деления и инструментальную погрешность.

Запишите показание термометра с учетом инструментальной погрешности. Прямые или косвенные измерения вы проводили?

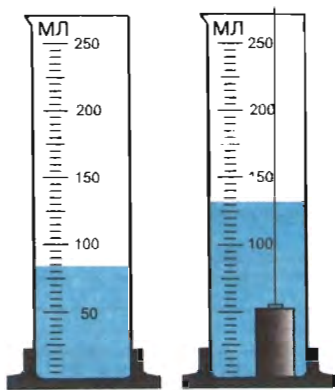


Рис. 14

\* 2. На рисунке 14 показан один из способов определения плотности вещества. Возьмите мензурку, цилиндр, рычажные весы, набор гирь. Используя расчетную формулу плотности, найдите плотность вещества, из которого сделан цилиндр. Сопоставьте ваше значение с табличным. (Табличные данные вы найдете в справочнике по физике.) Какой вывод вы можете сделать? Прямые или косвенные измерения вы проводили?

\* 3. Возьмите у учителя медицинский шприц.

1) Изучите шкалу прибора. Каков нижний и верхний предел измерения прибора? Какова цена деления и инструментальная погрешность?

2) Наберите в шприц воды. Запишите объем набранной воды с учетом инструментальной погрешности шприца. Прямые или косвенные измерения вы проводили?

\* 4. Возьмите у учителя мерную пробирку.

1) Изучите шкалу прибора. Каков нижний и верхний предел измерения прибора? Какова цена деления и инструментальная погрешность прибора?

2) Налейте в пробирку воды. Запишите объем налитой воды с учетом инструментальной погрешности пробирки. Прямые или косвенные измерения вы проводили?

\* 5. Возьмите у учителя лабораторный (или демонстрационный) динамометр.

1) Изучите шкалу прибора. Каков нижний и верхний предел измерения прибора? Какова цена деления и инструментальная погрешность прибора?

2) Подвесьте груз к динамометру. Запишите значение силы тяжести, действующей на груз, с учетом инструментальной погрешности прибора. Прямые или косвенные измерения вы проводили?

Природа окружает нас загадками,  
и попытка их решения принадлежит  
к великим радостям жизни.

У. Рамзай

## Глава 1. ТЕПЛОВОЕ ДВИЖЕНИЕ. СТРОЕНИЕ И СВОЙСТВА ТЕЛ

### § 6. ЧТО ИЗУЧАЕТ МОЛЕКУЛЯРНАЯ ФИЗИКА

Одна из основных задач данного раздела курса — познакомиться со строением вещества и объяснить различные его состояния. Почему одни вещества наблюдаются в природе в газообразном состоянии, а другие — в жидком или твердом? Почему одно и то же вещество — вода при одной и той же температуре  $0^\circ\text{C}$  — может быть как в твердом, так и в жидком или газообразном состоянии? От чего зависят физические свойства разных веществ? Чтобы ответить на эти вопросы, выдвигались различные *гипотезы строения веществ*.

Наиболее интересная из них принадлежит древнегреческому ученому Демокриту, положившему начало атомистическому<sup>1</sup> направлению в науке. Он предположил, что все вещества состоят из мельчайших неделимых частиц — **атомов** (от греч. *átomos* — неделимый).

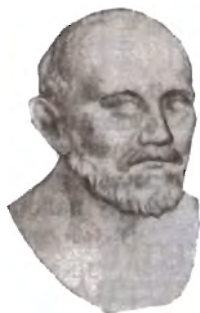
Атом — мельчайшая частица вещества, сохраняющая его свойства.

«Различия всех предметов зависят от различия их атомов в числе, величине, форме и порядке», — считал Демокрит.

Его идеи о дискретном (от лат. *discretus* — разделенный, прерывистый) строении вещества были развиты учеными XVII—XVIII вв. В 1647 г. французский ученый Пьер Гассенди высказал предположение о том, что атомы объединяются в устойчивые группы, которые он назвал **молекулами** (от лат. *moles* — масса).

Молекула — наименьшая частица вещества, обладающая всеми его основными химическими свойствами и состоящая из атомов. Число атомов в молекуле может составлять от двух до сотен тысяч.

<sup>1</sup> Атомизм (атомное учение, атомистика) — учение о прерывистом (зернистом), дискретном строении материи, состоящей из отдельных чрезвычайно малых частиц.



**Демокрит** (ок. 460—370 гг. до н. э.) — древнегреческий ученый и философ. Считал, что материя состоит из неделимых частиц — атомов, образующих безграничное разнообразие вещей в природе; во Вселенной существует бесчисленное множество миров, которые возникают, развиваются и гибнут.



**Гассенди Пьер** (1592—1655) — французский ученый и философ. Исследования относятся к атомистике, молекулярной физике, акустике, оптике и механике. Считал, что пространство бесконечно, несотворимо и неуничтожимо. Первым определил скорость звука в воздухе.

---

Оказалось, что уже в рамках такой простой атомно-молекулярной модели строения вещества можно объяснить разнообразные физические явления, происходящие с веществом при воздействии на него разных внешних факторов, прежде всего температуры. Например, удалось объяснить такие явления, как тепловое расширение тел, переход вещества в различные агрегатные состояния (плавление, кристаллизация, испарение, конденсация) и многие другие.

Раздел физики, в котором изучаются свойства тел в различных агрегатных состояниях с точки зрения атомно-молекулярной модели строения вещества, получил название **молекулярной физики**.

Конечно, рассмотренная модель строения вещества упрощенная. В дальнейшем вы узнаете, что атомы не являются, как считал Демокрит, мельчайшими неделимыми частицами вещества. Они представляют собой сложные структуры, состоящие из более мелких, постоянно взаимодействующих между собой электрически заряженных и нейтральных частиц (элементарных частиц). Наиболее устойчивые из них — отрицательно заряженный электрон, положительно заряженный протон и нейтральная частица — нейтрон.

Развитие молекулярной физики привело к выделению из нее новых самостоятельных направлений: молекулярной биологии, молекулярной электроники, геномной и молекулярной инженерии и др. Достижения в этих областях очень значимы для человечества. Они позволили разработать новые лекарства

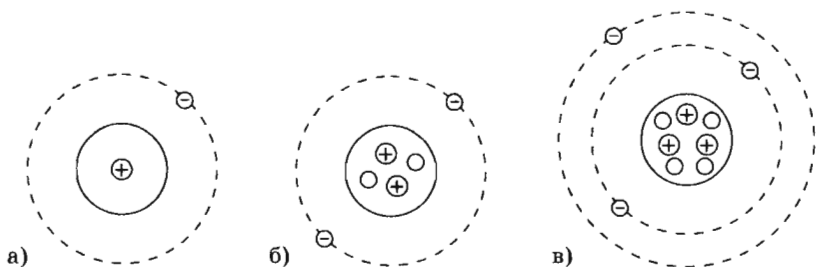
от тяжелых болезней, создать как сложные компьютерные системы и приборы, так и новые материалы с необычными свойствами, необходимые для космических исследований, развития промышленности и сельского хозяйства.

**?** 1. Какую гипотезу строения вещества выдвигал Демокрит? 2. Что понимают под молекулой? Кто первым ввел это понятие? 3. Какая модель строения вещества используется в разделе «Молекулярная физика»? 4. Какие явления можно объяснить, используя атомно-молекулярную модель?

## § 7. АТОМЫ И МОЛЕКУЛЫ

**Строение атома.** В 1911 г. под руководством английского физика Эрнеста Резерфорда (1871—1937) были проведены эксперименты, на основании которых им была предложена следующая модель атома: атом состоит из *ядра*, обладающего положительным электрическим зарядом, и окружающих его легких частиц — *электронов* (от греч. *élektron* — янтарь). Электрон, имеющий наименьший отрицательный заряд в природе, был открыт в 1897 г. английским физиком Джозефом Томсоном (1856—1940). Электроны образуют электронные оболочки атомов. В состав атомного ядра входят *протоны* (от греч. *protos* — первый), имеющие положительный заряд, и *нейтроны* (от лат. *neuter* — ни тот ни другой) — электрически нейтральные частицы. Заряд протона равен заряду электрона. Заряд ядра равен заряду электронов в атоме, поэтому атом электрически нейтрален. Размеры атома определяются размерами его электронной оболочки и велики по сравнению с размерами атомного ядра. Радиус атома примерно равен  $10^{-10}$  м, а атомного ядра —  $10^{-15}$  м. Более подробно о строении атома вы узнаете в курсе физики 9 класса и в старших классах.

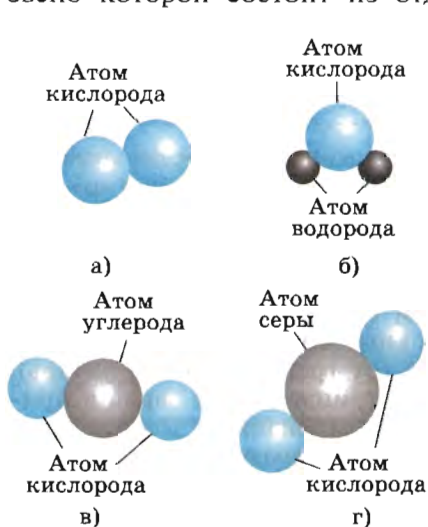
На рисунке 15 приведены схемы атомов некоторых веществ.



**Рис. 15.** Схема атома по Резерфорду: а) модель атома водорода; б) модель атома гелия; в) модель атома лития (⊖ — электрон, ⊕ — протон, ○ — нейтрон)



**Размеры молекул.** Нас окружает огромный мир молекул. Сколько в природе существует различных веществ, столько существует и разных молекул. Молекулы могут существенно отличаться друг от друга по своей форме, размерам, массе. Одни молекулы по форме близки к шару, другие похожи на диск, третьи имеют форму палочки или длинной цепочки, каждое звено которой состоит из отдельных атомов или их групп.



**Рис. 16.** Модели молекул разных веществ

Молекулы состоят из атомов. Модели молекул некоторых веществ изображены на рисунке 16. Одна молекула кислорода состоит из двух атомов кислорода (рис. 16, а), одна молекула воды — из двух атомов водорода и одного атома кислорода (рис. 16, б), одна молекула углекислого газа — из одного атома углерода и двух атомов кислорода (рис. 16, в), одна молекула сернистого газа — из одного атома серы и двух атомов кислорода (рис. 16, г).

В зависимости от состава молекул свойства веществ могут сильно различаться. Так, кислород и озон различаются числом атомов кислорода:

молекула кислорода состоит из двух атомов кислорода, молекула озона — из трех атомов кислорода. Кислород не имеет запаха, он необходим для дыхания; озон имеет своеобразный запах, в большом количестве он яд. Слой озона в верхних слоях атмосферы — озоновый слой — предохраняет все живое на Земле от вредного излучения из космоса.

Существуют различные методы, с помощью которых можно достаточно точно определить размеры молекул. Эти методы, как правило, сложны. Однако есть способ приблизительной оценки (т. е. оценки «по порядку величины») размеров некоторых молекул. Для простоты будем рассматривать их в форме шара. В этом случае размер молекулы будет характеризоваться одной величиной  $d_0$ , равной ее диаметру. Этот способ основан на свойстве маслянистых веществ растекаться по поверхности воды (рис. 17). Растекаясь по ее поверхности, они образуют тонкую пленку, т. е. **мономолекулярный слой** (от греч. *μόνος* — один, единственный), толщина которой приблизительно равна диаметру молекулы маслянистого вещества.

Результаты эксперимента позволяют рассчитать диаметр молекулы маслянистого вещества. Для 5%-ного раствора олеиновой кислоты в спирте диаметр молекулы равен  $3 \cdot 10^{-9}$  м (три миллионных доли миллиметра).

Размеры молекул разных веществ чрезвычайно малы, их диаметры имеют значения в пределах  $10^{-10} - 10^{-7}$  м.

Для размеров молекул необходимо выбрать подходящие единицы, иначе пришлось бы записывать полученный диаметр молекулы олеиновой кислоты как 0,000000003 м. Для атомных или молекулярных размеров используют очень малую единицу — **ангстрем** (обозначается Å):

$$1 \text{ \AA} = 1 \cdot 10^{-10} \text{ м} = 1 \cdot 10^{-8} \text{ см}$$

(одна стомиллионная доля сантиметра). Ангстрем — внесистемная единица длины, введена шведским физиком Андерсом Ангстремом в 1868 г. В этих единицах найденный диаметр молекулы олеиновой кислоты будет равен 30 Å. Это молекула средних размеров.

Размеры молекул увеличиваются с ростом числа атомов в них. Молекулы, состоящие из меньшего числа атомов, имеют меньшие размеры, а состоящие из большего числа атомов — большие размеры. Существуют сложные белковые молекулы, состоящие из многих тысяч атомов, и их размеры могут достигать тысяч и даже десятков тысяч ангстрем. У некоторых полимеров молекула представляет собой длинные вытянутые или свернутые в клубок цепочки, включающие в себя десятки тысяч отдельных звеньев. Их длина может достигать десятков тысяч ангстрем. В этом случае удобнее пользоваться другой единицей — **микрометром** (дольной единицей длины в СИ). Микрометр (микрон) обозначается мкм:

$$1 \text{ мкм} = 1 \cdot 10^{-6} \text{ м} = 1 \cdot 10^{-4} \text{ см} = 10^4 \text{ \AA}$$

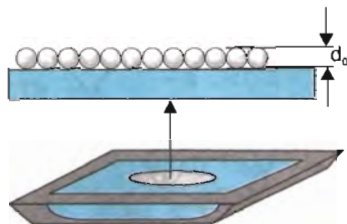


**Запомните!** Обозначения, названия и соотношения между единицами для измерения малых длин (расстояний):

$$1 \text{ микрометр (1 мкм)} = 10^{-6} \text{ м}$$

$$1 \text{ нанометр (1 нм)} = 10^{-9} \text{ м}$$

$$1 \text{ ангстрем (1 \AA)} = 10^{-10} \text{ м}$$



**Рис. 17.** Образование тонкой пленки маслянистого пятна

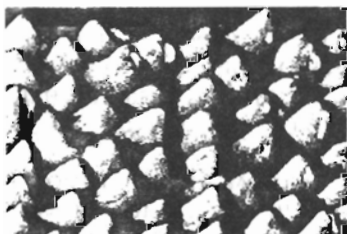
**Можно ли увидеть атомы или молекулы?** Очень большие молекулы (белки, полимеры) можно увидеть в сильный оптический микроскоп. Молекулы же малых размеров и да-



**Рис. 18.** Фотография молекулы нуклеиновой кислоты. Общая длина этой нитевидной молекулы 34 мкм



**Рис. 19.** Одна из первых фотографий атомов тория, полученная с помощью электронного микроскопа



**Рис. 20.** Изображение рельефа кристалла кремния, отражающее атомную структуру вещества

же положение атомов некоторых веществ можно увидеть только с помощью специальных сложных электронных и туннельных микроскопов, дающих увеличение до 100 миллионов раз. На рисунке 18 приведена фотография молекулы нуклеиновой кислоты, на рисунке 19 — атомов тория, а на рисунке 20 дано изображение рельефа поверхности кристалла кремния, полученное в 1981 г. с помощью туннельного микроскопа. Светлые бугорки отражают атомную структуру кремния (максимальный перепад высот 2 Å). С помощью таких микроскопов, а также другими методами были определены диаметры атомов (табл. 2) и расстояния между атомами в различных молекулах (табл. 3).

Таблица 2

### Диаметры молекул некоторых веществ

Вещество	Диаметр молекулы $d, 10^{-10}$ м
Азот	3,7
Вода	3,0
Водород	2,8
Водяной пар	4,7
Кислород	3,6
Хлор	3,7

### Расстояния между атомами в двухатомных молекулах различных веществ

Вещество	Расстояние между атомами в молекуле $R$ , $10^{-9}$ м
Азот	0,109
Водород	0,074
Калий	0,392
Кислород	0,121
Сера (пары)	0,189
Углерод	0,131
Хлор	0,199

Межатомные расстояния, как вы видите, очень малы (примерно от 1 до 4 Å). Эти размеры так малы, что их невозможно даже себе представить. В таких случаях прибегают к помощи сравнений. Вот одно из них. Если опоясать земной шар веревкой по экватору, то длина пояса во столько же раз будет больше ширины вашей ладони, во сколько раз ширина ладони больше расстояния между атомами в молекуле.

**Масса атомов и молекул.** Масса молекулы — ее важная характеристика. Она складывается из массы атомов, из которых состоит молекула.

В таблице 4 приведены значения масс атомов и молекул некоторых веществ.

Таблица 4

### Массы атомов и молекул некоторых веществ

Вещество	Масса $m_0$ , $10^{-27}$ кг
<i>Атомы</i>	
Азот	23,2
Алюминий	44,8
Водород	1,67
Железо	92,8
Кислород	26,6
Медь	105,0
Углерод	19,9
Хлор	58,9
<i>Молекулы</i>	
Азот	46,5
Водород	3,3
Кислород	53,2
Хлорид натрия (поваренная соль)	97,0
Нафталин	216,0

- ? 1. Назовите величины, характеризующие атомы и молекулы. 2. Какие предположения о форме молекулы мы использовали при расчете ее размеров? 3. Каков порядок величины атомного ядра? 4. Каков порядок диаметра молекул разных веществ? 5. Каков порядок массы атомов и молекул веществ?

● Используя рисунок 15, определите:

- а) сколько электронов в электронной оболочке атома водорода, сколько протонов в его атомном ядре;  
б) сколько электронов в электронной оболочке атома гелия, сколько протонов и нейтронов в его атомном ядре;  
в) сколько электронов в электронной оболочке атома лития, сколько протонов и нейтронов в его атомном ядре.

## § 8. ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ЧАСТИЦ ВЕЩЕСТВА

Все тела состоят из частиц: атомов и молекул. Почему же, например, твердые тела не распадаются на отдельные атомы или молекулы? Более того, вы знаете, что твердое тело трудно растянуть или сжать.

Проведем опыты.

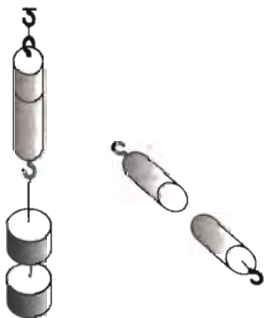


Рис. 21. Сцепление свинцовых цилиндров

*притягиваются* друг к другу. Притяжение между атомами свинца оказывается достаточным, чтобы предотвратить разрыв цилиндров.

Существует целый ряд явлений, которые нельзя объяснить притяжением частиц вещества. Попробуйте сжать резиновый ластик. Вы почувствуете сопротивление. Как можно объяснить этот факт? Сжатию препятствует *отталкивание* частиц вещества.

Атомы и молекулы взаимодействуют друг с другом: притягиваются и отталкиваются.

◆ 1. Возьмем два свинцовых цилиндра и с помощью специального ножа очистим торцы цилиндров. Затем цилиндры плотно прижмем торцовыми поверхностями друг к другу свежими срезами (рис. 21). Как можно объяснить сцепление цилиндров?

2. Снизу к цилиндрам прикрепим грузы так, как показано на рисунке 21. Сколько грузов выдержали сцепленные цилиндры?

Представления о существенной роли межатомного (межмолекулярного) взаимодействия для описания свойств газов и жидкостей впервые ввел нидерландский физик Иоханнес Ван-дер-Ваальс (1837—1923). Он предположил, что на малых расстояниях между молекулами действуют *силы отталкивания*, которые с увеличением расстояния сменяются *силами притяжения*. Силы притяжения сравнительно медленно убывают при дальнейшем увеличении расстояния.

Молекула может состоять из двух и более одинаковых или разных атомов. Молекулы — устойчивые образования. Причина этого в том, что между атомами в молекуле действуют силы, удерживающие их вблизи друг друга.

Рассмотрим взаимодействие двух атомов в молекуле. Вы знаете, что атомы — сложные системы. Они состоят из атомных ядер (протонов и нейтронов) и электронов, вращающихся вокруг ядра и образующих электронное облако. Когда атомы находятся на расстоянии, много большем их размеров, то они практически не действуют друг на друга. Иная картина возникает, когда в результате своего движения атомы сближаются на расстояние, когда приходят в соприкосновение электронные оболочки атомов. В этом случае между атомами начинают действовать **силы взаимодействия**. Расстояние между центрами атомов будем считать равным диаметру атома ( $R = d_0$ ); это расстояние называют *равновесным межатомным расстоянием*. На этом расстоянии сила притяжения равна силе отталкивания. При сближении атомов на расстояние, меньшее равновесного ( $R < d_0$ ), силы отталкивания возрастают быстрее, чем силы притяжения, препятствуя дальнейшему сближению атомов. При удалении атомов на расстояние, большее равновесного ( $R > d_0$ ), силы отталкивания уменьшаются быстрее сил притяжения, препятствуя дальнейшему удалению атомов. Таким образом, при любом отклонении от равновесного расстояния между атомами возникают силы, возвращающие их к устойчивому состоянию. Этим и обусловлена возможность существования молекул, их устойчивость.

Если атомы находятся на расстояниях, превышающих их размеры в несколько раз, то силы взаимодействия практически не сказываются. Поэтому говорят, что силы взаимодействия между частицами **короткодействующие**.

---

**?** 1. Почему, разломав карандаш, линейку или кусок мела, мы не можем соединить их части так, чтобы вновь они стали целыми? 2. Чтобы «сварить» (соединить) два куска металла, их нагревают до определенной температуры, накладывают друг на друга и ударяют по ним молотом. Как вы думаете, зачем?

---

**●** 1. Используя текст § 7 и 8, объясните смысл утверждения: «Атом электрически нейтрален».

2. Укажите особенности взаимодействия частиц вещества. Обратите внимание на зависимость действия сил от расстояния между частицами.

◆ 1. Приведите в соприкосновение две парафиновые свечи. Соединились ли они? Почему? Оплавьте конец одной свечи в пламени спиртовки. Соедините свечи. Объясните наблюдаемое явление.

2. Возьмите две одинаковые стеклянные пластинки. Положите одну на поверхность другой. Легко ли их разъединить? С помощью пипетки смочите водой поверхность одной из пластинок и опять прижмите их друг к другу. Легко ли в этом случае разъединить пластинки? Ответ обоснуйте.

3. Возьмите два кусочка пластилина и прижмите их друг к другу. Что вы наблюдаете? Объясните причину наблюдаемого явления.

## § 9. ДИФФУЗИЯ

**Движение частиц, из которых состоит вещество.** Чтобы доказать, что частицы вещества движутся, проведем опыт и сопоставим несколько фактов.

Вдоль стенки внутрь высокого цилиндрического сосуда опустим узкую полоску фильтровальной бумаги, пропитанную влажным крахмальным клейстером. На дно сосуда поместим кристаллы иода. Сосуд плотно закроем крышкой (рис. 22). Полоска бумаги постепенно начнет окрашиваться в синий цвет. По распространению по полоске бумаги синей краски можно судить о движении молекул иода.

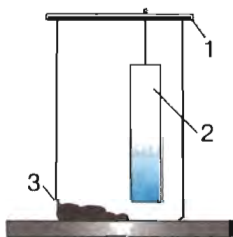


Рис. 22. Распространение по фильтровальной бумаге синей краски (1 — крышка, 2 — фильтровальная бумага, 3 — кристаллы иода)

Если на классную доску выплеснуть немного одеколона, то через некоторое время следы одеколона с доски исчезнут, а запах жидкости будет ощущаться во всем помещении. Что доказывает распространение запаха?

Молекулы пахучего вещества (например, одеколона) заполнили все помещение. Как это могло произойти? Молекулы пахучего вещества движутся. Сталкиваясь с молекулами воздуха, они много раз меняют направление своего движения. Молекулы, беспорядочно перемещаясь, распространяются по всему помещению и перемешиваются с молекулами воздуха.

Опустим в стакан с холодной водой кусок сахара (сахар — бытовое название сахарозы). Сахар растает, и образуется густой сироп на дне стакана. Сироп хорошо виден, если по-

смотреть сквозь стакан на свет. Через несколько часов сироп постепенно растворится в воде. Распространение сахара по объему стакана произошло самопроизвольно, поскольку воду не размешивали. Молекулы сахарозы движутся в воде в разные стороны между молекулами воды, и, таким образом, сахар распространяется по всему стакану, заполненному водой.

Взаимное проникновение соприкасающихся веществ друг в друга, происходящее вследствие беспорядочного движения частиц вещества (атомов и молекул), называется диффузией (от лат. *diffusio* — распространение, растекание).

*Диффузия является одним из основных доказательств движения частиц вещества* (атомов и молекул). Невидимое движение частиц вещества носит непрерывный и беспорядочный характер (разные молекулы движутся в самых разнообразных направлениях). Движение молекул никогда не прекращается. Молекулы движутся, тело при этом может находиться в покое.

Вещества, окружающие нас, встречаются в трех *агрегатных состояниях* (от лат. *aggrego* — присоединяю, связываю): твердом, жидком, газообразном. Диффузия происходит в газах, жидкостях и твердых телах. Наиболее быстро диффузия протекает в газах, медленнее — в жидкостях, еще медленнее — в твердых телах. По этой причине изучением диффузии в твердых телах ученые стали заниматься позднее. Как и во всех областях человеческой деятельности, умение предшествовало знанию. Столетиями люди сваривали металлы и получали сталь, нагревая твердое железо в атмосфере углерода. При этом они не имели ни малейшего представления о происходящих диффузионных процессах. Только в 1896 г. началось изучение этих процессов.

Диффузия в твердых телах обеспечивает соединение металлов при сварке, пайке, позволяет повышать твердость металлов, их прочность и жаростойкость. Один из способов сварки металлических деталей так и называется — диффузионная сварка. Поверхности деталей при этом тщательно зачищают и соединяют одну с другой. Детали помещают в закрытую камеру, из которой откачивают воздух, сильно сдавливают и нагревают (без расплавления материалов). Происходит диффузия частиц металлов в месте соединения, и детали прочно соединяются одна с другой.

---

\* **Осмось.** Задумывались ли вы над тем, что происходит при засолке огурцов, помидоров и других овощей?



Например, при засолке огурцов происходит диффузия соли через кожицу огурцов — проникновение молекул соли через тонкую перегородку, или мембрану (от лат. *membrana* — перегородка).

Существуют перегородки, проницаемые для одних молекул и не проницаемые для других. Такие перегородки называют полупроницаемыми. К ним относят мембраны растительных и животных клеток.

Диффузию вещества через полупроницаемую перегородку называют осмосом (от греч. *ōsmós* — толчок, давление).

Осмоз играет важную роль в жизнедеятельности человека, животных и растений. Обмен веществ в организме осуществляется посредством растворов различных органических и неорганических веществ, омывающих полупроницаемые мембраны клеток.

Всасывание воды корнями растений, проникновение питательных веществ в клетки и удаление из них продуктов жизнедеятельности осуществляются в значительной степени благодаря осмосу.

#### ◆ НАБЛЮДЕНИЕ ДИФФУЗИИ В ЖИДКОСТЯХ И ГАЗАХ

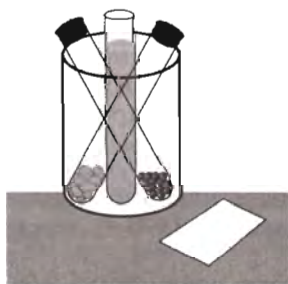


Рис. 23

*Приборы и материалы:* три пробирки (одна с ватой, смоченной одеколоном, другая с кристалликами перманганата калия (марганцовки), третья с водой), лист бумаги (рис. 23).

1. Откройте на короткое время пробирку с ватой, смоченной одеколоном. Что вы почувствовали? Как можно объяснить распространение запаха одеколона?

2. Смочите часть листа бумаги водой, положите на увлажненное место кристаллик перманганата калия. Что вы наблюдаете вокруг него?

Где быстрее происходит диффузия: в жидкостях или газах?

3. Налейте в стакан холодную воду и опустите в нее кристаллик перманганата калия. Не перемешивая воду, заметьте, через какое время молекулы перманганата калия попадут в верхний слой воды. Объясните наблюдаемое явление.

? 1. Что такое диффузия? 2. Что доказывает явление диффузии? 3. В каких агрегатных состояниях наблюдается диффузия? 4. Почему аромат цветов мы чувствуем на расстоянии?

5. Морское животное кальмар при нападении на него выбрасывает темно-синюю защитную жидкость. Почему пространство, заполненное этой жидкостью, даже в спокойной воде через некоторое время становится прозрачным? 6. Почему мокрую ткань, окрашенную в темный цвет, не рекомендуется оставлять на длительное время в соприкосновении с белой тканью? Ответ обоснуйте. \* 7. Какую роль играет явление диффузии в очистке воздуха от газов дымовых труб, отработанных газов транспортных средств и других вредных для здоровья человека газовых примесей в воздухе?

---

## § 10. БРОУНОВСКОЕ ДВИЖЕНИЕ

В 1827 г. английский ботаник Роберт Броун (1773—1858) наблюдал под микроскопом мельчайшие частицы пыльцы растений, взвешенные в капле воды. При этом он обнаружил, что различные частицы пыльцы находятся в непрерывном беспорядочном движении, причем движение каждой не зависит от движения всех остальных. Длительные наблюдения убедили его, что движение частиц вызвано не «подводными течениями» в капле жидкости и не легкими колебаниями микроскопа. В своем дневнике Броун записал: «При работе с частицами или зернами чрезвычайно малой величины, размером от одной четырехтысячной до одной пятидесятичной доли дюйма (1 дюйм = 25,4 мм) в длину, погруженными в воду, я наблюдал многие из них в явном движении. Эти движения были таковы, что после многих повторных наблюдений я убедился в том, что они не возникают от потоков жидкости и не от ее постоянного испарения, а принадлежат самим частицам». В дальнейшем многие ученые повторяли опыт Броуна и также наблюдали движение различных мелких частиц, как взвешенных в различных жидкостях, так и плавающих на их поверхности. Чем же объясняется движение малых частиц на поверхности или внутри жидкости?

Ответ на этот вопрос можно получить, если предположить, что все молекулы жидкости, окружающие частицу, находятся в непрерывном беспорядочном движении. Молекулы жидкости, имея разные по значению и направлению скорости, сталкиваясь с частицей, оказывают на нее неодинаковое силовое воздействие (рис. 24, *а*). В какой-то момент времени силовое воздействие справа может оказаться большим, и частица сместится влево (рис. 24, *б*). В другой момент времени силовое воздействие снизу может оказаться сильнее, и частица сместится вверх (рис. 24, *в*). Таким образом, под влиянием ударов молекул окружающей среды частица совершает беспорядочное, непрерывное во времени движение. Это

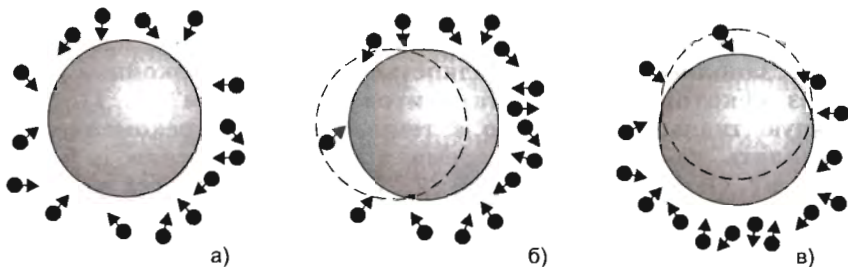


Рис. 24. Положение броуновской частицы и ближайших к ней молекул

хаотическое движение мелких частиц под действием молекул окружающей среды получило название броуновского движения.

*Броуновское движение — доказательство существования частиц вещества и их непрерывного хаотического движения.*

Количественная теория броуновского движения была создана в 1905—1906 гг. Альбертом Эйнштейном (1879—1955) и Марианом Смолуховским (1872—1917). Ее экспериментальная проверка была предпринята Жаном Перреном. Он отмечал через равные промежутки времени ( $t = 30$  с) последовательные положения одной какой-нибудь броуновской частицы в поле зрения микроскопа и соединял эти положения прямолинейными отрезками. Мы воспроизводим один из оригинальных рисунков Перрена (рис. 25). На нем зафиксированы пути трех броуновских частиц (а, б, в). Приведенный рисунок дает только отдаленное представление о причудливых изломах действительной траектории частицы. Если зафиксировать положение частицы, например, через секунду, то каждый прямолинейный отрезок  $AB$  (рис. 25, а) заменился бы со-

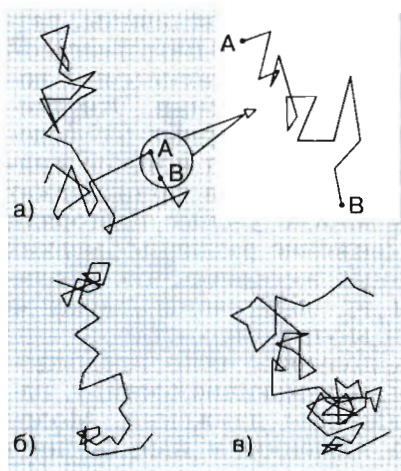


Рис. 25. Броуновское движение трех различных частиц гуммигута в воде (воспроизведен один из оригинальных рисунков Перрена; точками отмечены положения частиц через каждые 30 с; радиус частицы  $0,5 \cdot 10^{-6}$  м, расстояние между делениями сетки  $3,4 \cdot 10^{-6}$  м)

Если зафиксировать положение частицы, например, через секунду, то каждый прямолинейный отрезок  $AB$  (рис. 25, а) заменился бы со-

**Перрэн Жан Батист** (1870—1942) — французский ученый. Осуществил серию экспериментальных исследований броуновского движения. Основные научные работы посвящены исследованию рентгеновского излучения, проводимости газов, радиоактивности, атомной физике. Разработал (1901) планетарную модель атома (модель Перрена). Лауреат Нобелевской премии 1926 г.

---



ответствующей зигзагообразной ломаной, которая была бы столь же сложной, как и весь рисунок.

Экспериментальные исследования Перрена подтвердили реальность существования самих молекул.

---

✦ Ж. Перрен изучал движение микроскопических частиц в специально приготовленной эмульсии. Серию таких экспериментов он с сотрудниками начал в 1906 г. Главная трудность заключалась в приготовлении эмульсии с частицами одинакового размера. После ряда неудач Перрену удалось получить такие частицы из гуммигута — смолистого вещества, добываемого из млечного сока некоторых деревьев, и мастики — одной из разновидностей смол. Частицы были взвешены в глицерине с добавкой 12%-ного раствора воды для достижения необходимой плотности эмульсии. Опыты заключались в следующем. Капельку эмульсии помещали в плоскую кювету глубиной 0,1 мм, плотно закрывающуюся покровным стеклом. Положение частиц эмульсии через определенные промежутки времени наблюдали при помощи специального микроскопа.

---

В одной и той же жидкости броуновское движение происходит тем «оживленнее», чем меньше размеры броуновской частицы. Интенсивность («оживленность») движения увеличивается с повышением температуры среды. Броуновское движение тем «оживленнее», чем меньше плотность среды: его едва удастся заметить в глицерине, а в газах оно чрезвычайно интенсивно.

---

● Прочитайте § 10 и обратите внимание на: а) внешние признаки броуновского движения; б) условия, при которых протекает это явление; в) то, как можно воспроизвести и наблюдать данное явление в лабораторных условиях; г) причину (сущность) броуновского движения.

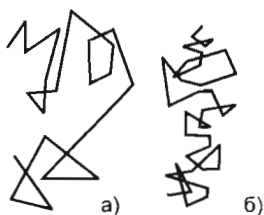


Рис. 26. Положения двух броуновских частиц через равные промежутки времени

**?** 1. Наблюдая движение двух броуновских частиц, отмечали точками их положения через равные промежутки времени. Затем эти точки соединили прямыми линиями (рис. 26). Используя рисунок, ответьте на следующие вопросы: 1) Является ли ломаная линия траекторией? (Траектория — линия, по которой движется частица.) 2) Какой из рисунков — *а* или *б* — характеризует движение более крупной частицы? Ответ обоснуйте.

2. Вы знаете, что диффузия является доказательством непрерывного хаотического движения частиц вещества. Каково же различие между броуновским движением и диффузией?

## § 11. СКОРОСТЬ ТЕПЛОвого ДВИЖЕНИЯ ЧАСТИЦ

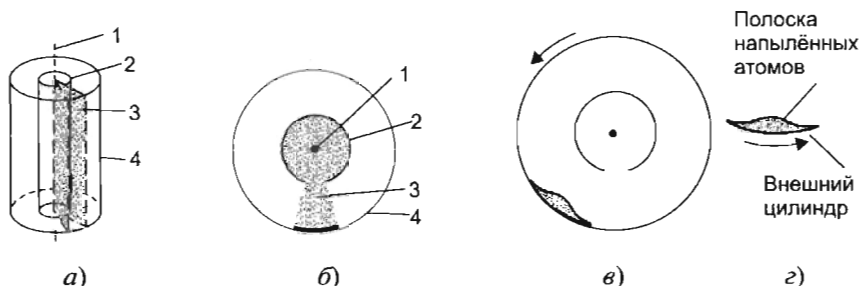
**Тепловое движение частиц.** Броуновское движение мелких частиц подтвердило, что все молекулы, окружающие частицу, беспорядочно движутся с различными скоростями.

Беспорядочное движение большой совокупности частиц (атомов, молекул и др.), из которых состоит тела, представляет собой тепловое движение.

Сила, с которой на броуновскую частицу действует молекула при соударении, зависит от массы молекулы и ее скорости. Поэтому важно определить значения скоростей, с которыми движутся молекулы при тепловом движении. Однако определить их достаточно сложно, поскольку в любом объеме вещества содержится очень большое число молекул. Так, в  $1 \text{ мм}^3$  воздуха при температуре  $0^\circ\text{C}$  и давлении  $10^5 \text{ Па}$  (т.е. при нормальных условиях) содержится примерно  $2,7 \cdot 10^{16}$  молекул. Это огромное число. Если все эти молекулы раздать поровну всему населению земного шара, то каждый, включая новорожденных, получит около 5 миллионов молекул. Для того чтобы определить скорость молекулы, надо знать расстояние, которое она пролетит за известный промежуток времени. Так как молекул в единице объема огромное число и они непрерывно сталкиваются друг с другом, то в результате их скорости все время меняются. Какая-то часть молекул имеет очень малые скорости, другая — средние, а остальные — большие и очень большие. В этом случае говорят, что молекулы распределены по скоростям. Как же определить эти скорости?

**Экспериментальное определение скорости теплового движения частиц газа.** Впервые прямое измерение скоростей теплового движения атомов было осуществлено немецким физиком Отто Штерном в 1920 г. Опыт Штерна заложил основы нового экспериментального метода в физике — *метода молекулярных (атомных) пучков*.

Рассмотрим его упрощенную схему (рис. 27, а). Прибор Штерна состоит из двух коаксиальных цилиндров (от лат. со — совместно и axis — ось) 2 и 4, жестко связанных друг с другом. Цилиндры могут вращаться с постоянной скоростью. Вдоль оси внутреннего цилиндра 2 натянута тонкая платиновая проволока 1, покрытая снаружи тонким слоем серебра. В стенке внутреннего цилиндра 2 имеется узкая щель. Воздух из цилиндров откачивается непрерывно работающим насосом до давления порядка  $1,3 \cdot 10^{-3}$ — $1,3 \cdot 10^{-4}$  Па. При пропускании электрического тока через платиновую проволоку она разогревается до температуры выше температуры плавления серебра ( $961,9^\circ\text{C}$ ). Серебро интенсивно испаряется, и внутренний цилиндр заполняется газом из атомов серебра благодаря тому, что молекулы воздуха откачаны. Атомы серебра движутся прямолинейно и равномерно от проволоки во все стороны. Большинство оседает на внутренней поверхности внутреннего цилиндра. Некоторые из них пролетают через щель, образуя пучок атомов. Когда прибор неподвижен, атомы серебра, пройдя через щель, осаждаются на внутренней поверхности внешнего цилиндра (рис. 27, б). В результате прямо против щели образуется узкая полоска серебра одинаковой толщины. После того как прибор приводится в быстрое вращение с постоянной скоростью, опыт повторяется. При вращении прибора атомы серебра попадают на внутреннюю поверхность не прямо против щели, а полоска серебра смещается на некоторое расстояние (рис. 27, в).



**Рис. 27.** Схема опыта Штерна: а) объемная схема; б), в) вид установки в разрезе; г) вертикальная развертка напыленной полоски; 1 — платиновая проволока с нанесенным на нее тонким слоем серебра; 2 — внутренний цилиндр с узкой щелью; 3 — пучок атомов серебра, вылетающих из щели внутреннего цилиндра; 4 — внешний цилиндр

Причем полоска серебра размыта по краям и неоднородна по толщине. В чем причина? Атомы серебра в пучке имеют различные скорости. Так как атомам необходимо время, чтобы пролететь пространство между цилиндрами, то при вращении прибора атомы серебра, движущиеся с большей скоростью, оседают на внутренней поверхности цилиндра ближе к щели, а атомы, движущиеся с меньшей скоростью, оседают дальше от щели. Поэтому полоска серебра смещается на некоторое расстояние. При максимальной температуре платиновой проволоки около  $2000\text{ }^{\circ}\text{C}$  скорость атомов серебра в пучке составляла от 560 до 640 м/с.

Скорости молекул газа достаточно велики. В таблице 5 приведены средние скорости движения молекул различных газов. При температуре  $900\text{ }^{\circ}\text{C}$  средняя скорость атомов серебра составляет 600 м/с. Для сравнения приведем значения скоростей, встречающихся в военной технике: скорость пули при вылете из пистолета Макарова равна 315 м/с, из автомата Калашникова 715 м/с.

Таблица 5

**Средние скорости движения молекул различных газов**  
(при температуре  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$  и давлении  $10^5\text{ Па}$ )

Газ	Скорость, м/с	Газ	Скорость, м/с
Азот	454	Гелий	1201
Аммиак	583	Кислород	425
Аргон	381	Метан	601
Водород	1693	Неон	535

Хотя скорости молекул газа велики, но перемещаются они довольно медленно. Объясняется это тем, что молекулы газа движутся не по прямой, а по сложной траектории. Причина этого — столкновение с молекулами воздуха.

**Основные положения атомно-молекулярного учения о строении вещества.** Атомно-молекулярное учение о строении вещества объясняет свойства вещества исходя из представлений о его атомно-молекулярном строении, непрерывном движении и взаимодействии частиц.

В основе *атомно-молекулярного учения о строении вещества* лежат три положения.

1. Все вещества в любом агрегатном состоянии имеют дискретное строение, т.е. состоят из отдельных обособленных частиц (атомов, молекул и др.).
2. Частицы вещества находятся в состоянии непрерывного хаотического движения.

3. Между частицами одновременно действуют силы взаимного притяжения и отталкивания, зависящие от расстояния между ними.

? 1. Сформулируйте основные положения атомно-молекулярного учения о строении вещества. 2. Приведите примеры опытов или явлений, подтверждающих каждое из основных положений атомно-молекулярного учения о строении вещества. 3. Почему в опыте Штерна производилась откачка воздуха из цилиндра? 4. Можно ли в опыте Штерна измерить скорость одного атома? \* 5. Современники Штерна с недоверием приняли результаты его опытов. Так, скорость диффузии в газе, ранее экспериментально измеренная, была намного меньше полученной им скорости газовых молекул. Как согласовать результаты этих опытов?

● 1. Используя рисунок 27 и материал § 11, опишите опыт Штерна по следующему плану: а) Цель. б) Схема опыта. в) Условия, при которых проводился опыт. г) Ход опыта, его краткое описание.

2. Объясните, почему в опыте Штерна полоска серебра: 1) смещена при вращении цилиндров; 2) размыта по краям; 3) неоднородна по толщине.

## § 12. ТЕМПЕРАТУРА. ИЗМЕРЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ

Гораздо легче производить измерения, чем точно знать, что измеряется.

Л. Тейлор

**Энергия частиц вещества.** Согласно второму и третьему положениям атомно-молекулярного учения о строении вещества частицы вещества непрерывно и хаотически движутся, частицы вещества взаимодействуют. Количественной мерой движения и взаимодействия частиц вещества служит *энергия* (от греч. *enérgeia* — действие, деятельность). Энергия хаотического движения частиц (атомов и молекул) вещества называется *кинетической энергией*. Энергия взаимодействия частиц (атомов и молекул) друг с другом называется *потенциальной энергией*.

Сумма энергии хаотического (теплового) движения всех частиц вещества и энергии взаимодействия этих частиц называется *внутренней энергией*.



**Температура.** Внутри сосуда, заполненного газом, содержится громадное число молекул, их положения и скорости все время меняются. Вследствие частых столкновений каждая отдельная молекула движется то быстрее, то медленнее, и в течение некоторого времени (например, одной секунды) ее скорость принимает различные значения. Чем быстрее (интенсивнее) движутся молекулы, тем больше их средняя скорость теплового движения.

Для характеристики состояния вещества вводится величина, называемая *температурой* (от лат. *temperatura* — нормальное состояние). Температура обозначается буквой латинского алфавита *t* (читается «тэ»). Чем больше средняя скорость теплового движения молекул, а значит, и их кинетическая энергия хаотического движения, тем выше температура, и наоборот. Это справедливо для газов, жидкостей и твердых тел.

**Тепловое равновесие.** Проведем наблюдение: опустим в стакан с водой комнатной температуры кусочек льда и закроем стакан плотной крышкой. Лед начнет плавиться, а вода — охлаждаться. После того как лед растает (лед из твердого состояния переходит в жидкое), вода нагреется и примет температуру окружающего воздуха.

Из наблюдения можно сделать выводы: если температуры тел различны, то при установлении контакта будет происходить обмен внутренней энергией (теплообмен). При этом тело с более высокой температурой (вода комнатной температуры) передает энергию телу с более низкой температурой (кусочку льда). Разность температур тел указывает направление обмена энергией. Когда же температуры тел уравниваются, обмен энергией прекращается и наступает так называемое *тепловое равновесие*.

Во всех частях системы (тела), находящейся в состоянии теплового равновесия, температура имеет одно и то же значение, т. е. *температура характеризует состояние теплового равновесия системы (тела)*.

**Термометры.** Приборы для измерения температуры посредством контакта с исследуемой средой (телом) называются *термометрами* (от греч. *thérme* — тепло, *metréo* — измеряю).

Первые термометры появились в конце XVI — начале XVII в. (термоскоп Галилея, 1597 г.; спиртовые флорентийские термометры и др.). Впервые слово «термометр» появилось в 1636 г.

Действие термометра основано на различных физических явлениях, зависящих от температуры: на тепловом расширении жидкостей, газов и твердых тел, на изменении электрического сопротивления и др. Наиболее распространены в быту жидкостные, биметаллические термометры и термометры с цифровыми индикаторами температуры. С принципом действия термометров вы познакомитесь в старших классах.

Чаще всего вы пользуетесь жидкостными термометрами (спиртовыми или ртутными) (рис. 28).

В простейшем случае при градуировке термометра за начало отсчета ( $0^{\circ}$ ) принимают температуру таяния льда, другой постоянной точкой ( $100^{\circ}$ ) считают температуру кипения воды при нормальном атмосферном давлении (шкала Цельсия). Шкалу между точками 0 и 100 делят на 100 равных частей, называемых *градусами* ( $1^{\circ}\text{C}$  — читается «один градус Цельсия»). Буква «С» указывает на имя шведского ученого А. Цельсия, предложившего такой способ деления шкалы (термометр Цельсия, или стоградусный). Перемещение столбика жидкости на одно деление соответствует изменению температуры на  $1^{\circ}\text{C}$ .

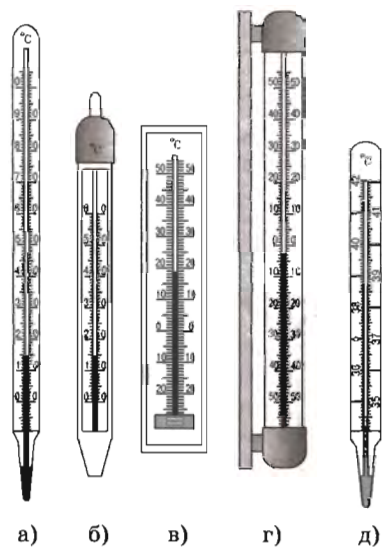


Рис. 28. Термометры: а) лабораторный; б) водяной; в) комнатный; г) уличный; д) медицинский

❄️ Андерс Цёльсий в 1742 г. предложил стоградусную шкалу температур, в которой за  $0^{\circ}$  принял температуру кипения воды при нормальном атмосферном давлении, а за  $100^{\circ}$  — температуру таяния льда. Позже переменяли местами  $0^{\circ}$  и  $100^{\circ}$ , и шкала Цельсия приняла современный вид.

Немецкий ученый Даниэль Габриэль Фáренгейт предложил температурную шкалу, в которой температурный интервал между точками разделен на 180 частей — градусов ( $^{\circ}\text{F}$ ). Точке таяния льда соответствовала температура  $32^{\circ}\text{F}$ , а точке кипения воды —  $212^{\circ}\text{F}$ ;  $1^{\circ}\text{F} = 5/9^{\circ}\text{C}$ . В Великобритании и США до сих пор пользуются шкалой Фаренгейта.

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 4

### ИЗМЕРЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ

*Приборы и материалы:* лабораторный термометр, стакан с холодной водой, стакан с горячей водой.

◆ 1. Определите нижний и верхний пределы измерения термометра.



Рис. 29. Определение цены деления термометра

2. Определите цену деления и инструментальную погрешность термометра:

1) Выберите на шкале два деления, рядом с которыми стоят два числа (например, 50 и 60 °С) (рис. 29).

2) Найдите разность температур (60 °С – 50 °С = 10 °С).

3) Подсчитайте, сколько делений между выбранными числами (10 делений).

4) Разделите разность чисел на число делений (10 °С : 10 = 1 °С). 1 °С — цена одного деления термометра, изображенного на рисунке 29.

Значения цены деления и инструментальной погрешности термометра запишите в таблицу.

Предел измерения		Цена деления	Инструментальная погрешность
нижний	верхний		

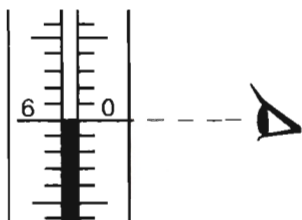


Рис. 30. Положение глаз при измерении температуры термометром

3. Измерьте температуру воздуха в помещении, держа термометр за верхний конец. Запишите в таблицу показание термометра с учетом его инструментальной погрешности (рис. 30).

4. Опустите термометр в стакан с холодной водой. Дождитесь момента, когда столбик воды перестанет перемещаться. Запишите в таблицу показание термометра с учетом его инструментальной погрешности.



При измерении температуры жидкости термометр из нее вынимать нельзя.

5. Долейте осторожно в стакан с холодной водой горячую воду, не перемешивая ее. Измерьте температуру у дна стакана, в середине, у поверхности. Запишите в таблицу показания термометра с учетом его инструментальной погрешности.

Температура	Показания прибора		
Воздуха			
Холодной воды			
Воды при добавлении горячей воды	у дна	в середине	у поверхности

**? 1.** Что понимают под кинетической энергией частиц? **2.** Что понимают под потенциальной энергией частиц? **3.** Что такое внутренняя энергия тела? **4.** Что понимают под состоянием теплового равновесия тела или системы тел? **5.** Почему можно считать, что температура характеризует состояние теплового равновесия? **6.** В каком случае тела обмениваются энергией? **7.** С помощью какого прибора измеряют температуру среды или тела? **8.** Какой способ градуировки температурной шкалы предложил Цельсий? **9.** В каких единицах выражают температуру по шкале Цельсия? **10.** Почему при измерении температуры рекомендуется некоторое время подождать, прежде чем записывать показания прибора?

**● 1.** Объясните, находятся ли в тепловом равновесии следующие тела:

- 1) лед и вода, имеющие температуру  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;
- 2) лед, опущенный в воду при комнатной температуре;
- 3) холодная и горячая вода: сначала после того, как их слили вместе; затем после того, как установилась одинаковая температура в разных частях смеси.

**2.** На рисунке 28 изображены различные термометры. Заполните таблицу, указав назначение каждого из термометров.

Термометр	Назначение
Лабораторный	
Водяной	
Комнатный	
Уличный	
Медицинский	

**3.** Выясните, какой (какие) термометр (термометры) есть у вас дома. Запишите верхний и нижний пределы измерения, цену деления, инструментальную погрешность, показания прибора с учетом его инструментальной погрешности.

**\*4.** Температура воздуха в помещении  $t = 18\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Какая температура соответствует ей по шкале Фаренгейта?

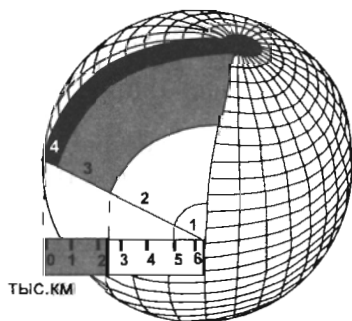
## § 13. ВЕЩЕСТВО ВО ВСЕЛЕННОЙ

**Состояние вещества.** Одно и то же вещество (например, вода, воздух, металлы) может с изменением температуры менять и агрегатное состояние. Известно, что вода может находиться в трех состояниях. При комнатной температуре вода — жидкость, при нормальном атмосферном давлении ( $p = 10^5$  Па) и температуре около  $0^\circ\text{C}$  она замерзает и превращается в лед (твердое состояние), а при температуре, близкой к  $100^\circ\text{C}$ , кипит, становясь газообразной (водяным паром). Многие вещества ведут себя подобным образом при значительном изменении температуры. Например, мы обычно считаем, что железо — твердое тело, но при температуре  $1539^\circ\text{C}$  оно будет плавиться (превращаться в жидкое состояние), а при температуре  $2750^\circ\text{C}$  будет кипеть. Кислород при обычных условиях — газ, но при сильном понижении температуры он будет сначала сжиматься (переходить в жидкое состояние), а затем затвердевать.

### Агрегатные состояния вещества на Земле и планетах.

На нашей планете распространены вещества в разных агрегатных состояниях (см. вклейку I). Земля в основном является твердым телом, но ее строение достаточно сложно.

Схема внутреннего строения Земли показана на рисунке 31. В центре Земли располагается плотное *ядро*, которое состоит



**Рис. 31.** Модель внутреннего строения Земли: 1 — внутреннее ядро; 2 — внешнее ядро; 3 — мантия; 4 — кора

из двух частей — *внутреннего* и *внешнего* ядер. Внутреннее ядро радиусом около 1250 км находится в твердом состоянии (или частично в расплавленном), внешнее ядро радиусом около 3500 км — в жидком состоянии (расплавленные породы). За внешним ядром располагается *мантия*. Вещество мантии находится в особом пластическом состоянии, близком к расплавленному. Самая верхняя оболочка — *земная кора* — в твердом состоянии. Кора вместе с верхней мантией, подстилающей кору, образует твердую оболочку Земли — *литосферу*.

Вода — одно из самых распространенных веществ на Земле; она образует *гидросферу* планеты. Земля — единственная планета, обладающая гидросферой. На других планетах Солнечной системы нет заполненных водой океанов, морей или озер. Но наша планетная система не единственная в природе, и гидросфера, возможно, существует на плане-

тах, похожих по свойствам на Землю, но обращающихся вокруг других звезд.

Хотя отдельные области на Луне или Марсе и называются морями, но это дань истории (см. вклейку IV). Жидкой воды на них нет. Вода если и встречается (например, на Марсе, на некоторых спутниках далеких планет, в ядрах комет), то в твердом состоянии, в виде льда (см. задний форзац). Более близкие к Солнцу планеты (Меркурий, Венера), как и Луна, имеют твердую каменистую поверхность при полном отсутствии водоемов или льда. Далекие от Солнца планеты — Юпитер, Сатурн, Уран, Нептун — это газовые шары, хотя в центральной части они могут содержать горячие расплавленные породы. Самая далекая от Солнца планета — Плутон — имеет твердую поверхность.

Твердое состояние вещества в космическом пространстве встречается редко. В первую очередь оно представлено планетами такого же типа, как Земля, и более мелкими телами, какие обращаются вокруг Солнца. Вблизи многих звезд, как и вблизи Солнца, можно ожидать существование не только планет (они уже обнаружены), но и маленьких твердых тел различных размеров — от сотен километров до мелких пылинок.

Микроскопические твердые пылинки присутствуют в большом количестве как в планетных системах, так и в межзвездном пространстве.

Самое распространенное агрегатное состояние вещества во Вселенной не твердое или жидкое, а газообразное.

**Газ — основное состояние вещества во Вселенной.** Планета Земля окружена газовой оболочкой, называемой *атмосферой*. Атмосферой, простирающейся над твердой поверхностью, обладают, помимо Земли, еще Венера и Марс, а также некоторые спутники (спутник Юпитера Ио и спутник Сатурна Титан). Химический состав атмосфер планет различен. Воздух, составляющий атмосферу Земли, состоит из смеси газов, в основном из азота и кислорода. На Венере и Марсе атмосферы образованы главным образом углекислым газом, на Титане атмосфера состоит преимущественно из азота. В атмосферах газовых планет (Юпитера, Сатурна, Урана и Нептуна) преобладают легкие газы — водород и гелий.

Давление атмосферы, как и ее плотность, быстро убывает с высотой. Над Землей давление падает примерно втрое на каждые 8 км подъема (на высоте в сотни километров спад более медленный). Если бы плотность атмосферы не уменьшалась с высотой, а оставалась постоянной, то толщина слоя воздуха была бы примерно 8 км. Эта величина называется *высотой однородной атмосферы*. У Венеры и Марса высота однородной атмосферы также составляет несколько километров.

Одно из свойств любого газа — стремление расширяться, заполнив весь доступный ему объем. Почему же воздух не улетучивается в межпланетное пространство? Земля существует почти 5 млрд лет и до сих пор сохраняет плотную атмосферу. Причина в том, что Земля имеет большую массу и притягивает все находящиеся на ней и над ней тела, в том числе и воздух, что позволяет ей удерживать свою газовую оболочку. Тем не менее понемногу атмосфера теряет газ. Причина этого — в быстром движении молекул, средняя скорость которых составляет сотни метров в секунду. Молекулы непрерывно сталкиваются одна с другой, изменяя скорость и направление движения. Поэтому некоторая часть молекул, находящихся на большой высоте над Землей, всегда имеет скорость, достаточную для того, чтобы покинуть атмосферу Земли. Но должны пройти миллиарды лет, прежде чем масса атмосферы Земли значительно уменьшится, а составляющие ее газы рассеются по межпланетному пространству. Небольшие планетные тела, такие, как Меркурий, Луна или спутники других планет, обладают меньшим притяжением и давно потеряли свои газовые оболочки.

Газ содержится не только в атмосферах планет. Из газа состоит большая часть всех объектов, которые наблюдаются за пределами Солнечной системы (см. передний форзац). В целом на долю газа приходится более 98% всей материи Вселенной. Особенно много в природе легких газов — водорода и гелия.

Основная масса существующего газа сосредоточена в звездах. Уже в конце XIX в. удалось выяснить, что звезды — это далекие горячие газовые шары, имеющие ту же природу, что и наше Солнце.

Немало газа содержится и в пространстве между звездами. Межзвездный газ очень разрежен, и его можно наблюдать только потому, что он занимает очень большие объемы пространства. Если у поверхности Земли в каждом  $1 \text{ см}^3$  содержится примерно  $3 \cdot 10^{19}$  молекул воздуха, то в межзвездном газе одна частица газа приходится в среднем на  $1\text{--}2 \text{ см}^3$ . Даже в наиболее плотных межзвездных облаках в  $1 \text{ см}^3$  находится всего несколько десятков тысяч молекул.

Межзвездный газ очень неоднороден по плотности и температуре. С одной стороны, наблюдаются области, где температура газа превышает миллион градусов. С другой стороны, значительная часть газа сосредоточена в облаках с температурой  $-260 \dots -270 \text{ }^\circ\text{C}$ . Такие облака называют молекулярными, поскольку они содержат молекулы различных веществ — от молекул водорода, которые преобладают в облаках, до молекул воды, этилового и метилового спиртов и не очень сложных органических молекул (на переднем форзаце изображены облака молекулярного газа и пыли в нашей Галактике).

Молекулы в космическом пространстве образуются в ходе бесчисленных химических реакций. Но при нагреве газа молекулы разрушаются, поэтому в недрах звезд, как и в горячем межзвездном газе, молекул нет.

Из-за содержания пыли, смешанной с газом, молекулярные облака не прозрачны для света и поэтому выглядят темными на фотографиях. Со временем многие из них прогреваются светом звезд и разрушаются. В недрах массивных молекулярных облаков газ сжимается, что приводит к зарождению звезд из газовой среды.

Газ, нагретый до высоких температур в тысячи и более градусов, приобретает особые свойства. Атомы в таком газе теряют часть своих электронов и становятся положительно заряженными *ионами*, а содержащий их газ — ионизованным газом, или *плазмой*. Подробнее об этом вы узнаете в старших классах.

Облака ионизованного газа обладают способностью светиться, и их можно наблюдать в телескопы с очень больших

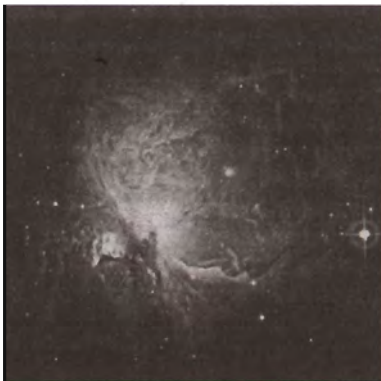


Рис. 32. Большая туманность Ориона

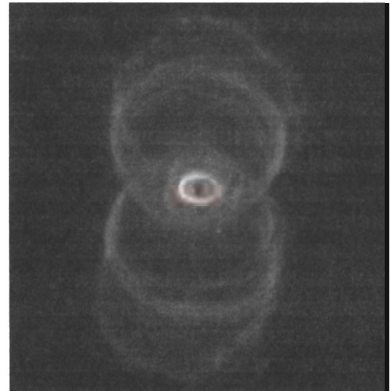


Рис. 33. Планетарная туманность Песочные часы

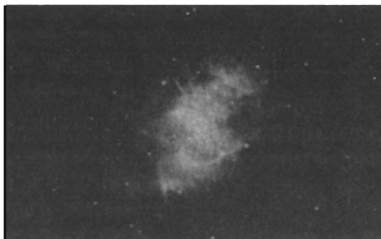


Рис. 34. Крабовидная туманность

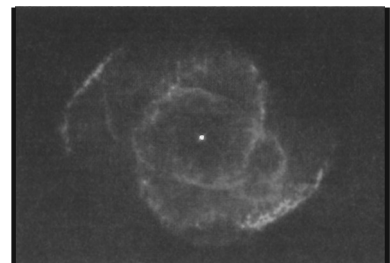


Рис. 35. Планетарная туманность сложной формы



расстояний как светлые газовые туманности. Одни из таких облаков просто нагреты излучением близких к ним звезд, другие представляют собой разлетающийся газ, «сброшенный» звездами. Потоки газа придают многим туманностям очень сложную форму. Фотографии некоторых газовых туманностей приведены на рисунках 32—35.

Самая яркая на небе газовая туманность — Большая туманность Ориона. Ее можно увидеть в сильный бинокль как маленькое нежно светящееся облачко в созвездии Ориона.

Несмотря на низкую плотность и большие расстояния до нас, газ в космическом пространстве состоит из таких же атомов, из которых состоят и земные газы.

**Межзвездная пыль.** Чаще всего газовые облака перемешаны с пылью.

В середине XIX в. русский астроном В. Я. Струве обосновал предположение, что межзвездное пространство не всюду прозрачно; свет в нем может поглощаться и рассеиваться, вследствие чего далекие звезды выглядят слабее, чем можно ожидать. Газ практически не поглощает видимого излучения. Поэтому, помимо газа, межзвездная среда должна содержать пыль. Окончательно существование поглощения света в межзвездной среде было доказано в 30-х гг. XX в.

Оказалось, что межзвездная среда не только ослабляет свет далеких звезд, но еще и изменяет воспринимаемый нами цвет. Измеряя ослабление света звезд, выяснили, что межзвездные пылинки очень мелкие. Размеры пылинок неодинаковы, причем мелких частиц значительно больше, чем крупных. В целом размеры пылинок колеблются от 0,000001 до 0,0001 см. В состав межзвездных пылинок входят соединения углерода, кремния, намерзших на них молекул межзвездного газа, водяной лед, а также различные органические вещества.

Межзвездная пыль играет активную роль в процессе образования молекулярных газов; в частности, именно на поверхности пылинок образуются молекулы водорода.



---

**Струве Василий Яковлевич** (1793—1864) — русский астроном, основатель и первый директор Пулковской обсерватории. Впервые в мире определил расстояние до звезды (Веги). Установил, что свет в межзвездном пространстве поглощается. На Луне есть кратер, носящий имя Струве.

? 1. Приведите примеры, подтверждающие то, что одно и то же вещество может находиться в разных агрегатных состояниях. При каких условиях это возможно? 2. Что такое гидросфера? Какая из планет Солнечной системы обладает гидросферой? 3. Что такое атмосфера? Какие планеты и спутники планет обладают атмосферой? Одинаков ли химический состав атмосфер? 4. Сколько процентов вещества Вселенной находится в газообразном состоянии? Какие газы преобладают во Вселенной? 5. Молекулы каких веществ преобладают в молекулярных облаках? 6. Когда было доказано, что в межзвездной среде содержится пыль? Каков химический состав межзвездных пылинок?

● 1. С помощью рисунка 31 расскажите о внутреннем строении Земли. В каком состоянии находится вещество внутри планеты?

2. На рисунке 36 изображены модели внутреннего строения планет земной группы и Луны. С помощью рисунка ответьте на вопросы: 1) Какие планеты относятся к планетам земной группы? 2) Что объединяет эти космические объекты? 3) Какое различие во внутреннем строении этих тел?

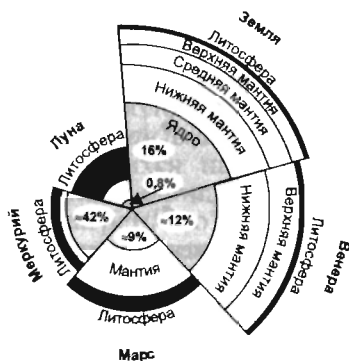


Рис. 36. Сопоставление моделей внутреннего строения планет земной группы и Луны (в процентах указаны размеры ядер по сравнению с размерами самих космических тел)

## § 14. СВОЙСТВА ГАЗОВ

### Основные признаки газообразного состояния вещества.

Термин «газ» (от греч. *cháos* — хаос, т. е. полный беспорядок) ввел голландский естествоиспытатель Ян Ван-Гельмонт (1579—1644). В газах силы взаимодействия между составляющими его частицами (атомами и молекулами) чрезвычайно слабы и каждый атом (молекула) свободно движется среди других атомов (молекул). Силы притяжения между частицами не способны удерживать их друг около друга, а силы отталкивания проявляются лишь тогда, когда они вследствие теплового движения приближаются друг к другу на расстояния, равные диаметрам самих частиц. Сближение на расстояние действия межмолекулярных сил принято трактовать как столкновение молекул. Картину движения частиц в газах можно представить так: большую часть времени каждая частица движется без взаимодействия, затем в результате столк-

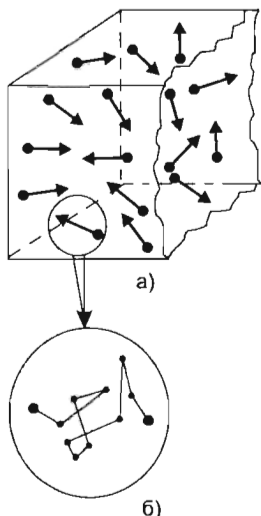


Рис. 37. Движение частиц газа

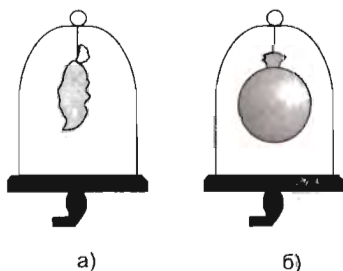


Рис. 38. Раздувание резинового шарика под колоколом воздушного насоса

вая оболочка раздувается, принимая форму шара (рис. 38, б). Как можно объяснить этот опыт?

В своих рассуждениях будем исходить из модели, что частицы газа (молекулы воздуха) — *упругие шарики*. Молекулы воздуха беспорядочно движутся и сталкиваются не только друг с другом, но и со стенками сосуда. Каждая его молекула в течение малого промежутка времени действует на стенку сосуда с определенной силой. Сила, с которой молекула действует на стенку, мала. Молекул же в газе много, поэтому и число их ударов очень велико.

Отношение суммарной силы, обусловленной ударами молекул, к единице площади поверхности стенки сосуда и есть давление, оказываемое молекулами на стенки сосуда:

новения с другой частицей изменяет направление своего движения. При столкновении частицы изменяют свою скорость. После столкновения частицы газа движутся в пространстве с разными по значению и направлению скоростями. Расстояние, пролетаемое частицей между столкновениями, во много раз больше диаметра самой частицы ( $R \gg d_0$ ). Схематично движение частиц газа показано на рисунке 37, а, а движение отдельной частицы — на рисунке 37, б.

**Свойства газов.** Газы обладают рядом свойств, которые широко используются в технических устройствах. Рассмотрим эти свойства.

Вещество в газообразном состоянии не сохраняет ни формы, ни объема. Газы могут неограниченно расширяться.

Проведем эксперимент. Под колокол воздушного насоса поместим резиновый шарик, частично наполненный воздухом (рис. 38, а). Если из-под колокола воздух откачать, то резиновая оболочка раздувается, принимая форму шара (рис. 38, б).



$$p = \frac{F}{S},$$

где  $p$  — давление, оказываемое молекулами на стенки сосуда;  $F$  — суммарная сила, действующая со стороны молекул на стенки сосуда;  $S$  — площадь стенок сосуда.

В нашем опыте при откачивании воздуха число молекул в колоколе вокруг оболочки шарика уменьшается. Но внутри шарика их число не изменяется. Поэтому число ударов молекул о внешние стенки оболочки становится меньше числа ударов о внутренние стенки. Шарик будет раздуваться до тех пор, пока сила упругости его резиновой оболочки не станет равной разности сил давления газа внутри шарика и снаружи. Шаровая форма, которую принимает раздутая оболочка, показывает, что *газ давит на стенки по всем направлениям одинаково* (т. е. число ударов молекул, приходящихся на единицу площади поверхности, по всем направлениям одинаково).

Как изменится поведение газа, если нагреть его? Скорость движения молекул газа при нагревании увеличивается. Двигаясь быстрее, они будут чаще ударяться о стенки сосуда. Кроме того, удар каждой молекулы станет сильнее. Вследствие этого стенки сосуда должны испытывать большее давление. Проверим наши рассуждения на опыте. С этой целью возьмем сосуд с резиновым дном и соединим его шлангом со стеклянной пробиркой так, как показано на рисунке 39. Массу и объем воздуха почти не меняются. Нагреем пробирку с воздухом. Резиновое дно раздувается. Следовательно, с повышением температуры давление воздуха увеличивается.

*Газы легко сжимаемы и упруги.* Чтобы убедиться в этом, проделайте следующий опыт.

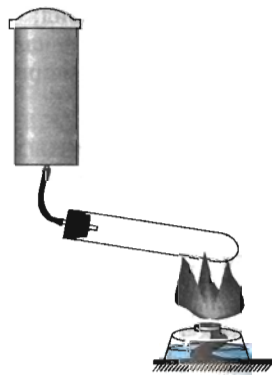
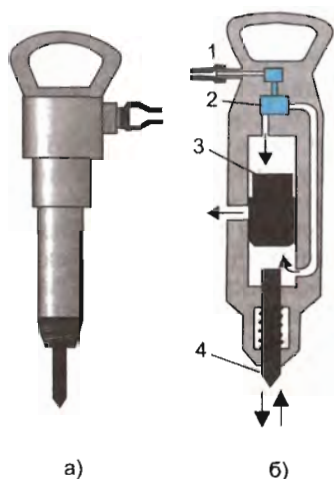


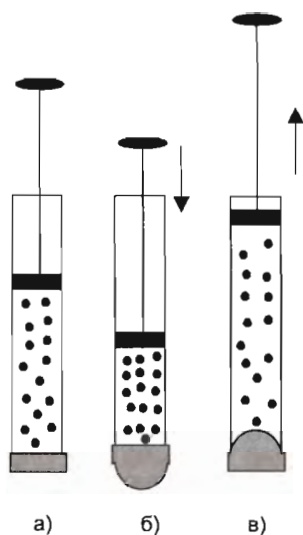
Рис. 39. Нагревание стеклянной пробирки с воздухом

◆ Возьмите цилиндр с поршнем (например, медицинский шприц или велосипедный насос). При закрытом выпускном отверстии попробуйте вдвинуть поршень, сжав воздух. Что вы наблюдаете и ощущаете?

**Применение свойств газов.** Благодаря своим свойствам газы нашли широкое применение. При хранении и перевозке газов учитывается их способность легко сжиматься. При сжатии возрастает давление газов, поэтому их содержат в спе-



**Рис. 40.** Отбойный молоток:  
а) внешний вид; б) схема  
устройства: 1 — шланг; 2 —  
золотник; 3 — поршень; 4 —  
пики молота



**Рис. 41.** Изменение формы резиновой пленки при движении поршня в стеклянной трубке

циальных прочных баллонах. В подводных лодках так хранят сжатый воздух. В технике применяют не только сжатый воздух, но и другие газы: водород, кислород, ацетилен, используемый при газовой сварке. Сжатый природный газ как топливо применяется также и в быту.

Упругость газа делает его хорошим амортизатором. Это свойство используется в автомобильных и велосипедных шинах, в работе различных пневматических инструментов: отбойных и заклепочных молотков, разбрызгивателей краски и др. На рисунке 40 показаны внешний вид и схема устройства отбойного молотка. Сжатый воздух подают по шлангу 1. Золотник 2 управляет потоком сжатого воздуха, направляя его поочередно то в верхнюю, то в нижнюю часть цилиндра. Поэтому воздух давит на поршень 3 то с одной, то с другой стороны, что вызывает возвратно-поступательное движение поршня и пики (острия) молота 4. Пика молота наносит быстро следующие друг за другом удары, внедряется в грунт или уголь и откалывает его куски.

Нередко можно видеть работу специальных аппаратов, применяемых для окраски стен, где краску распыляет сжатый воздух.

Сжатым воздухом открывают двери вагонов поездов метро, троллейбусов.

? 1. Каковы признаки газообразного состояния веществ? Обратите внимание на: а) расстояние между частицами в сравнении с их размерами; б) взаимодействие частиц; в) порядок в их расположении; г) характер движения частиц. 2. Назовите основные свойства газов. Приведите примеры, подтверждающие эти свойства. 3. На основе атомно-молекулярного учения о строении вещества объясните способность газов занимать весь предоставленный объем. 4. На основе атомно-молекулярного учения о строении вещества объясните способность газов оказывать давление на стенки сосуда. 5. Какие свойства газа используются в газовых баллонах, шинах, пневматических инструментах?

◆ На рисунке 41, а изображена стеклянная трубка с поршнем, один конец которой закрыт тонкой резиновой пленкой. Вдвигая поршень, замечаем, что резиновое дно раздувается (рис. 41, б). Выдвигая поршень, наблюдаем втягивание резинового дна в цилиндр (рис. 41, в). Проведите опыты и объясните наблюдаемые явления.

## § 15. СВОЙСТВА ЖИДКОСТЕЙ

**Основные свойства жидкостей.** Буквально на каждом шагу мы встречаемся с жидкостями — в природе, технике, быту. Для ознакомления с их свойствами проведем два опыта.

◆ 1. В цилиндрических стаканах находится жидкость (рис. 42, а). Перельем ее в сосуды различной формы (рис. 42, б), а затем вновь в цилиндрические стаканы (рис. 42, в). Какой можно сделать вывод?

2. Возьмите прозрачный цилиндр с поршнем (например, медицинский шприц). При закрытом выпускном отверстии попробуйте вдвинуть поршень, сжав воздух. Затем цилиндр заполните водой и попробуйте вдвинуть поршень, сжав воду. Что вы ощущаете? Какой вывод можно сделать?

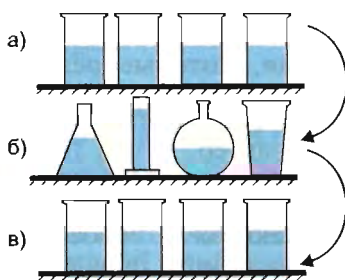


Рис. 42

Из проведенных опытов можно выделить два основных свойства:

- 1) жидкость сохраняет занимаемый ею объем, но легко меняет свою форму;
- 2) жидкость плохо сжимается.

Жидкость обладает только ей присущими особенностями, из которых наиболее характерная — **текучесть**. Текучесть жидкостей проявляется в природе (движение в гидросфере), технике (движение по трубам), быту (переливание из одного сосуда в другой).

Рассмотрим некоторые особенности теплового движения молекул в жидкости.

### Тепловое движение молекул в жидкости.

● С помощью таблицы 6 плотностей некоторых веществ сравните плотности газов и жидкостей.

Таблица 6

### Плотности некоторых веществ

(при температуре 0 °С и нормальном атмосферном давлении)

Газ	Плотность $\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	Жидкость	Плотность $\rho$ , кг/м <sup>3</sup>
Азот	1,250	Ацетон	781
Водород	0,090	Бензин	710—750
Воздух сухой	1,293	Вода дистиллированная	1000
Гелий	0,178	Глицерин	1260
Кислород	1,429	Кровь	1050
Озон	2,144	Масло подсолнечное	926
Хлор	3,214	Ртуть	13 546

Большая плотность жидкостей свидетельствует о достаточно плотной «упаковке» молекул. Расстояния между молекулами жидкости сравнимы с их размерами:  $R \approx d_0$ . Этим, в частности, можно объяснить малую сжимаемость жидкостей: при их сжатии увеличиваются силы межмолекулярного отталкивания, которые резко нарастают и делают затруднительным дальнейшее уменьшение расстояния между молекулами.

Тепловое движение молекул в жидкостях имеет иной характер, чем в газе. Каждая молекула в течение некоторого времени колеблется около определенного положения равновесия. Время от времени она меняет место равновесия, перескакивая в новое положение, отстоящее от предыдущего на расстоянии порядка размера самой молекулы. Молекулы медленно перемещаются внутри жидкости, пребывая часть времени около положений равновесия.

Представление о движении молекул в жидкостях ввел наш соотечественник физик-теоретик Яков Ильич Френкель.

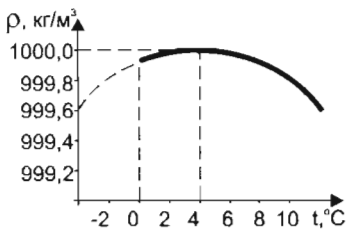


Рис. 43

**? 1. Чем объясняется малая сжимаемость жидкостей? 2. Почему жидкости не сохраняют свою фор-**

му? Ответ обоснуйте. 3. Для жидкостей характерна текучесть. Приведите примеры проявления текучести. 4. Объясните особенности теплового движения молекул в жидкости на основе атомно-молекулярного учения о строении вещества.

☀ На рисунке 43 приведен график зависимости плотности дистиллированной воды от температуры. Какие выводы вы можете сделать из анализа графика?

## § 16. ПОВЕРХНОСТНОЕ НАТЯЖЕНИЕ ЖИДКОСТЕЙ

Силы межмолекулярного взаимодействия значительны и удерживают молекулы в объеме жидкости. У жидкости образуется поверхность, которая ограничивает ее объем. Вы, вероятно, наблюдали такое явление: если налить воду в стакан с верхом, то образуется поверхность жидкости, искривленная по краям. При этом вода не выливается. В чем причина?

**Поверхностный слой жидкости.** Рассмотрим поведение молекул внутри воды и на границе раздела воздух — вода (рис. 44). Молекула 1, расположенная внутри воды, окружена такими же молекулами (рис. 44, а). Молекулы жидкости находятся на расстоянии  $R \approx d_0$  друг от друга, и поэтому со всех сторон на молекулу 1 действуют одинаковые по величине силы (рис. 44, б).

Молекула 2 находится в поверхностном слое жидкости толщиной  $d_0$ . Влиянием на нее со стороны молекул воздуха можно пренебречь, так как между молекулами воздуха  $R \gg d_0$  и силы межмолекулярного взаимодействия не проявляются (или их проявление незначительно). На молекулу 2, находящуюся в поверхностном слое воды, действуют силы только со стороны молекул воды. Под действием этих сил молекула 2 стремится «уйти» с поверхности в глубь жидкости (рис. 44, в). Так же ведут себя все молекулы, находящиеся в поверхностном слое жидкости, толщина которого равна радиусу действия межмолекулярных сил  $d_0$ . В результате поверхность жидкости сокращается и принимает такую форму, при которой она имеет наименьшую площадь.

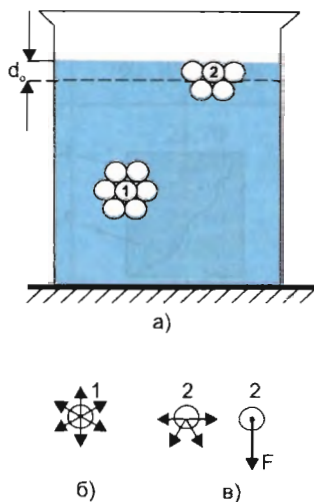


Рис. 44. Поведение молекул внутри воды и на границе раздела воздух—вода



Стремление поверхности жидкости сократиться рассматривают как существование силы поверхностного натяжения.

Силы поверхностного натяжения действуют только в поверхностном слое жидкости.

Чтобы убедиться в том, что силы поверхностного натяжения существуют и жидкость стремится уменьшить свою поверхность, выполните следующее задание.

### ◆ ОБРАЗОВАНИЕ МЫЛЬНЫХ ПЛЕНОК НА КАРКАСАХ

*Приборы и материалы:* проволочные каркасы различной конфигурации (рис. 45), стакан с мыльным раствором, игла.

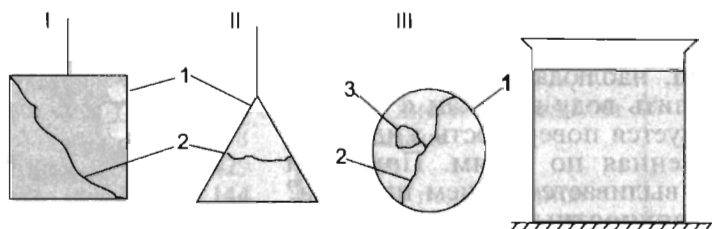


Рис. 45. Проволочные каркасы различной конфигурации: 1 — каркасы; 2 — шелковая тонкая нить; 3 — петелька

1. Опустите в мыльный раствор: а) каркас I. Вынув его из раствора, проколите иглой пленку в верхней его части; б) каркас II. Вынув его из раствора, проколите иглой пленку в нижней его части; в) каркас III. Вынув его из раствора, проколите иглой пленку внутри нитяной петельки. Повторите опыт еще раз, но проколите иглой пленку в правой ее части.

2. Для каждого опыта сделайте зарисовки расположения шелковой нити после прокалывания.

**Коэффициент поверхностного натяжения.** Со способом измерения поверхностного натяжения вы познакомитесь в старших классах. Здесь мы определим лишь характеристику поверхности раздела двух сред — жидкости и воздуха. Этой характеристикой служит коэффициент поверхностного натяжения.

Коэффициентом поверхностного натяжения называется сила поверхностного натяжения, приходящаяся на единицу длины границы поверхностного слоя жидкости.

Коэффициент поверхностного натяжения обозначается буквой греческого алфавита  $\sigma$  (читается «сигма»). В Международной системе единиц (СИ) эта величина выражается в ньютонах на метр (1 Н/м).

Коэффициент поверхностного натяжения жидкости зависит от конкретного газа, с которым она образует границу раздела. Например,  $\sigma$  воды в воздухе несколько отличается от  $\sigma$  воды в чистом водяном паре. Значения коэффициентов поверхностного натяжения некоторых жидкостей приведены в таблице 7.

Таблица 7

**Коэффициенты поверхностного натяжения  
некоторых жидкостей на границе с воздухом**

Жидкость	Температура, °С	$\sigma$ , $10^{-3}$ Н/м
Ацетон	20	23,70
Белок куриного яйца	20	52,70
Бензол	20	28,90
Вода	0	75,70
Вода	20	72,80
Вода	30	71,15
Вода	50	67,90
Вода	100	58,84
Глицерин	20	63,40
Керосин	0	29,00
Керосин	20	24,00
Кровь	37	45,40
Мыльный раствор	20	40,00
Масло вазелиновое	20	31,80
Масло касторовое	20	36,40
Нефть	20	30,00
Раствор сахара 5%-ный	20	74,00
Раствор сахара 10%-ный	20	74,50
Раствор сахара 20%-ный	20	76,50
Раствор сахара 63%-ный	20	79,60
Ртуть	20	472,00
Спирт метиловый	20	22,60
Хлороформ	20	27,10
Эфир этиловый	20	17,00

По таблице находим, что коэффициент поверхностного натяжения керосина при температуре 20 °С  $\sigma = 24 \cdot 10^{-3}$  Н/м. Это означает, что на каждый метр границы поверхностного слоя керосина действует сила поверхностного натяжения, равная  $24 \cdot 10^{-3}$  Н (или 24 мН).

Коэффициент поверхностного натяжения зависит от свойств вещества, с которым соприкасается поверхность жидкости. Поэтому когда говорят о коэффициенте поверхностного натяжения, то указывается не только жидкость, но и вещество, с которым жидкость соприкасается. Например, на границе раздела вода—эфир  $\sigma = 12,2 \cdot 10^{-3}$  Н/м, вода—бензол  $\sigma = 33,6 \cdot 10^{-3}$  Н/м.

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 5

### ИЗМЕНЕНИЕ ПОВЕРХНОСТНОГО НАТЯЖЕНИЯ ВОДЫ

*Приборы и материалы:* три кристаллизатора, сосуд с дистиллированной водой, мыльный раствор, раствор сахара в воде, две чистые пипетки, две тонкие лучинки (или спички без головки), пробирка с натертой пробкой.

◆ 1. Налейте в один из кристаллизаторов дистиллированную воду. На ее поверхность насыпьте мелко натертую пробку так, чтобы она ровным слоем покрыла поверхность. С помощью чистой пипетки введите на середину поверхности воды небольшую каплю мыльного раствора. Зарисуйте то, что вы наблюдали. Используя табличные данные (см. табл. 7), объясните причину быстрого перемещения частичек пробки.

2. Налейте в другой кристаллизатор дистиллированную воду. На середину ее поверхности положите лучинку (или спичку). С помощью пипетки введите вблизи лучинки мыльный раствор. Как при этом она себя поведет? Ответ обоснуйте.

✱ 3. Налейте в третий кристаллизатор дистиллированную воду. На середину ее поверхности положите лучинку (или спичку). С помощью другой пипетки введите вблизи лучинки раствор сахара. Как при этом она себя поведет? Ответ обоснуйте.

Результаты наблюдений оформите в виде таблицы.

№ опыта	Схематический рисунок	Объяснение причины наблюдаемого

● 1. Используя текст § 16, расскажите о коэффициенте поверхностного натяжения по следующему плану: а) Что характеризует эта величина? б) В каких единицах выражается эта величина?

2. Что означает утверждение: «Коэффициент поверхностного натяжения бензола равен  $28,9 \cdot 10^{-3}$  Н/м?»

3. Используя данные таблицы 7, найдите значения коэффициентов поверхностного натяжения для вазелинового масла, ртути, крови. Каков смысл этих значений для указанных жидкостей?

4. Используя данные таблицы 7, сравните: а) значения коэффициентов поверхностного натяжения воды при разных температурах. Какой вывод можно сделать? б) значения коэффициентов поверхностного натяжения раствора сахара в воде при одной и той же температуре. Какой вывод можно сделать?

◆ 1. Налейте в кристаллизатор дистиллированную воду. На середину поверхности положите спичку без головки.

1) Выскажите и запишите гипотезу о том, что произойдет со спичкой, если с помощью пипетки вблизи спички ввести керосин.

2) Проведите эксперимент. Сделайте рисунок того, что вы наблюдали.

3) Подтвердил ли эксперимент вашу гипотезу? Запишите вывод.



Рис. 46. Рамка на поверхности воды

2. Легкая рамка плавает на поверхности воды (рис. 46).

1) Выскажите и запишите гипотезу о том, что будет происходить с рамкой, если внутрь ее с помощью чистой пипетки ввести каплю мыльного раствора.

2) Проведите эксперимент. Выполните рисунок и укажите на нем направление смещения рамки.

3) Подтвердил ли эксперимент вашу гипотезу? Запишите вывод.

## \*§ 17. КАПИЛЛЯРНОСТЬ

Одно из наиболее известных проявлений поверхностного натяжения — способность жидкости подниматься (или опускаться) по внутренней стороне узкой трубки.

При этом возможны два случая.

1. Жидкость будет подниматься вдоль стенки в том случае (рис. 47, а), если молекулы жидкости находятся у стенки трубки и силы их взаимодействия с молекулами стенки больше сил взаимодействия с молекулами жидкости. Говорят, что жидкость *смачивает* материал трубки.

2. Жидкость будет опускаться вдоль стенки в том случае (рис. 47, б), если молекулы жидкости находятся у стенки трубки

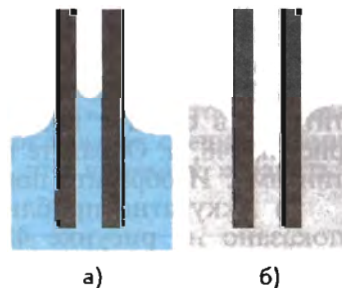


Рис. 47. Подъем и опускание жидкости в стеклянной трубке

и силы их взаимодействия с молекулами стенки меньше сил взаимодействия с молекулами жидкости. Говорят, что жидкость *не смачивает* материал трубки.

Например, вода и этиловый спирт полностью смачивают чистую стеклянную трубку, а ртуть полностью не смачивает.

Искривленная поверхность жидкости вблизи стенок сосуда называется *мениском* (от греч. *meniskos* — полумесяц). На рисунке 47, *а* — вогнутый мениск (внутри и вне трубки), на рисунке 47, *б* — выпуклый мениск. Когда внутренний диаметр трубки сравним с радиусом кривизны мениска, то такие трубки называются *капиллярными* (от лат. *capillaris* — волосной).

---

❗ Капиллярность впервые была открыта и исследована итальянским ученым, инженером, художником Леонардо да Винчи (1452—1519), французским ученым Блезом Паскалем (1623—1662) в опытах с капиллярными трубками.

---

Чтобы убедиться в проявлении капиллярного поднятия и опускания жидкости, выполните следующую лабораторную работу.

---

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 6

### НАБЛЮДЕНИЕ КАПИЛЛЯРНОГО ПОДНЯТИЯ ЖИДКОСТИ

*Приборы и материалы:* высокий стакан с подкрашенной водой, две чистые стеклянные трубки разного диаметра внутреннего канала, две стеклянные пластинки одинакового размера, спичка.

◆ 1. В стакан с подкрашенной водой опустите две чистые стеклянные трубки разного диаметра внутреннего канала. Обратите внимание на форму мениска. Сравните высоту поднятия воды в трубках. Как зависит высота поднятия жидкости от диаметра внутреннего канала?

2. Возьмите две стеклянные пластинки и выполните следующие задания:

1) Расположите пластинки параллельно друг другу и опустите их в сосуд с подкрашенной водой так, как показано на рисунке 48, *а*. Обратите внимание на уровень воды между пластинками. Изобразите поверхность жидкости вблизи пластинок.

2) Аккуратно приблизьте пластинки друг к другу так, как показано на рисунке 48, *б*. Обратите внимание на уровень жидкости между пластинками. Изобразите уровень и поверхность жидкости вблизи пластинок.

3) Удалите пластинки друг от друга на расстояние, большее, чем в первом опыте (рис. 48, *в*). Обратите внимание на

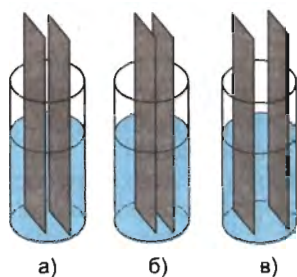


Рис. 48

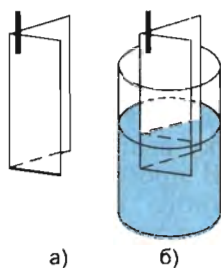


Рис. 49

уровень жидкости между пластинками. Изобразите уровень жидкости между пластинками и ее поверхность вблизи пластинок.

4) Сравните три рисунка. Какой вывод вы можете сделать из проведенного эксперимента?

\* 3. Две стеклянные пластинки расположите так, как показано на рисунке 49, а. Угол между ними должен быть мал. Аккуратно опустите обе пластинки в стакан с подкрашенной водой. Обратите внимание на форму мениска. Объясните наблюдаемое явление.

4. Результаты наблюдений оформите в виде таблицы.

№ опыта	Схематический рисунок	Что наблюдается: смачивание или несмачивание, поднятие или опускание жидкости?

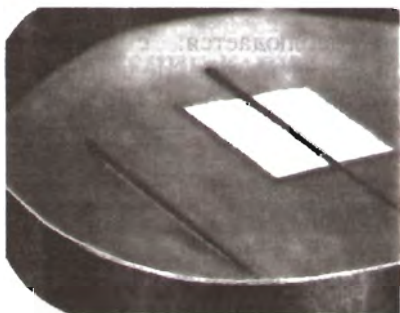
? 1. Почему трудно вытирать мокрые руки шерстяной или шелковой тканью? 2. Почему руки, смоченные машинным маслом, трудно вымыть водой, а легче — керосином? 3. Почему перед пайкой тщательно очищают поверхность? 4. Чтобы стены здания не были сырими, фундамент покрывают специальными влагозащитными покрытиями. Почему это помогает избавиться от сырости?

◆ \* Для анализа жидких красителей применяется капиллярный метод. Нанесите на промокательную бумагу каплю смеси красных и синих чернил. Капните на середину бумаги воду. Что произойдет со смесью? Ответ обоснуйте.

## **\*§ 18. ЗНАЧЕНИЕ ПОВЕРХНОСТНОГО НАТЯЖЕНИЯ В ПРИРОДЕ, ТЕХНИКЕ И БЫТУ**

Вы, вероятно, наблюдали, что при опускании волосяной щетки в воду ее щетинки оказываются разделенными. Если же щетку вынуть из воды, то волоски слипаются. В чем причина? В промежутках между волосками (щетинками) остается немного воды, поверхность которой сокращается под действием поверхностного натяжения и стягивает волоски.

Силы поверхностного натяжения припятствуют увеличению площади поверхности жидкости, поэтому жидкость стремится принять шарообразную форму, так как из всех тел заданного объема шар имеет наименьшую поверхность. Эти силы определяют форму мыльного пузыря (рис. 50, б) и капель жидкости росы. Образованию шарообразной формы капли жидкости мешают сила тяжести и сила упругости опоры. Влияние этих сил по сравнению с влиянием поверхностного натяжения тем больше, чем больше объем капли (а значит, и ее масса). Маленькие капли воды и в особенности капли ртути практически шарообразны. Но в условиях невесомости капля любой жидкости независимо от ее размера имеет шарообразную форму. Это вы могли наблюдать в телетрансляциях полетов космических кораблей.



а)



б)



в)



г)

**Рис. 50.** Проявление поверхностного натяжения

В поверхностном слое воды обитают личинки комаров и мух, снуют водяные жуки и водяные клещи. Для многих живых организмов поверхностная пленка воды — опора при движении. Так движутся мелкие насекомые и паукообразные. Наиболее известны клопы-водомерки, опирающиеся на воду только конечными члениками широко расставленных лапок. Лапка, покрытая воскообразным налетом, не смачивается водой (рис. 50, з); ее поверхностный слой прогибается под давлением лапки, образуя небольшое углубление. Водомерки способны не только скользить по воде, но и делать прыжки, не прорывая поверхностного слоя. Подобным образом перемещаются береговые пауки некоторых видов (рис. 50, в), но их лапки располагаются не параллельно поверхности воды, как у водомерок, а под прямым углом к ней. Некоторые животные, обитающие в воде, подвешиваются снизу у поверхностной пленки воды с помощью особых несмачивающихся щетинок, окружающих органы дыхания. Этим приемом пользуются и личинки комаров.

Несмачиванием твердых тел жидкостями объясняются многие явления. Приведем лишь некоторые из них. Если на поверхность воды осторожно положить небольшой тонкий лист алюминия, он не тонет даже с находящимся на нем грузом. Стальная иголка, покрытая тонким слоем парафина, также не тонет, если ее осторожно положить на поверхность воды (рис. 50, а).

Перья и пух водоплавающих птиц всегда обильно смазаны жировыми выделениями особых желез. Этим объясняется их непромокаемость. Толстый слой воздуха, заключенный между перьями, например, утки и не вытесняемый водой, чрезвычайно увеличивает «запас плавучести», действуя подобно спасательному поясу.

Воскообразный налет на листьях препятствует заливанию устьиц, которое могло бы привести к нарушению правильного дыхания растений. Наличием воскового налета объясняется водонепроницаемость соломенной кровли, сена в стогах и т. д.

Существуют вещества (например, мыло, соль, сахар и др.), добавление которых в воду повышает или понижает ее поверхностное натяжение. Такие вещества называют *поверхностно-активными*. Благодаря этому, например, при подсаливании мыльного раствора в поверхностный слой жидкости выталкивается большее число молекул мыла, чем в пресной воде. Это учитывается в мыловарении для выделения мыла из раствора путем его «высаливания». Существуют материалы, слабо смачиваемые водой. Однако если в нее добавить моющие средства, то вода будет смачивать поверхность и впитываться в материал. Это явление используется при стирке многих тканей.



Капиллярностью объясняются многие явления — впитывание жидкости промокательной бумагой и полотенцем. Капиллярное впитывание играет существенную роль в жизни организмов. У животных и человека мельчайшие сосуды (капилляры) пронизывают органы и ткани. Попадание в капиллярные сосуды воздушных пузырьков может вызвать закупорку сосудов. Через стенки кровеносных капилляров происходит обмен веществ между кровью и другими тканями. Лимфатические капилляры, образующие при слиянии лимфатические сосуды, способствуют оттоку из тканей жидкости, удалению из организма инородных частиц и болезнетворных бактерий.

По капиллярам почвы поднимается вода из глубинных слоев в поверхностные слои. Уменьшая диаметр почвенных капилляров путем уплотнения почвы, можно усилить приток воды к ее поверхности и тем самым ускорить высушивание почвы за счет испарения. Разрыхляя поверхность почвы и разрушая тем самым систему почвенных капилляров, можно задержать приток воды к поверхности и замедлить ее высушивание. Именно на этом основаны агротехнические приемы регулирования водного режима почвы — прокатка и боронование.

---

**?** 1. Почему волоски кисточки, расходящиеся в воздухе и в воде, слипаются, если кисточку вынуть из воды? 2. Вода легче песка. Почему же ветер может поднять тучи песка и очень мало брызг? 3. Между рядами посевов стремятся чаще рыхлить почву, разрушая образующуюся корку. Почему этот вид работ часто называют «сухим поливом»? 4. На каком явлении основано использование стиральных порошков? Ответ подтвердите примерами.

---

◆✳ Если расплавленный парафин ( $\sigma = 30,6 \cdot 10^{-3}$  Н/м) налить на горизонтальную поверхность, то образуется тонкий слой парафиновой поверхности.

1) Выскажите гипотезу о том, как будут вести себя капли чистой воды, если брызнуть их на парафиновую поверхность. Проверьте свою гипотезу экспериментально.

2) Добавьте в воду моющее средство. Выскажите гипотезу о том, как будут вести себя капли воды с добавлением моющего средства, если брызнуть их на парафиновую поверхность. Проверьте свою гипотезу экспериментально.

3) Подтвердились ли ваши гипотезы? Запишите результаты экспериментов.

## § 19. ИСПАРЕНИЕ И КОНДЕНСАЦИЯ

Облака на небе, иней на деревьях — все это следствия процессов испарения воды и конденсации водяного пара.

В естественных условиях испарение — единственный способ передачи влаги из океанов в атмосферу и основная составляющая круговорота воды на Земле. Испарение воды по своим масштабам — один из важных процессов в природе. В среднем с поверхности Земли за год испаряется  $5,77 \cdot 10^8$  м<sup>3</sup> воды: с поверхности Мирового океана —  $5,05 \cdot 10^8$  м<sup>3</sup>, с поверхности рек, озер, водохранилищ —  $7,2 \cdot 10^7$  м<sup>3</sup>. Такой же объем воды образуется при конденсации водяных паров и выпадает на Землю в виде осадков.

**Как можно объяснить процессы испарения и конденсации?** Рассмотрим границу раздела двух сред: вода — воздух (рис. 51, а).

Как вы уже знаете, молекулы газа (воздуха) находятся в непрерывном движении и скорость их движения зависит от температуры: чем выше температура, тем больше скорость движения и тем большей энергией обладают молекулы. То же самое можно сказать и о жидкости (воде). Молекулы жидкости непрерывно движутся и соударяются с соседними. В процессе соударений молекула с более высокой энергией может передать часть своей энергии молекуле с меньшей энергией. Точно так же, как и в газах, обмен энергией между молекулами жидкости в процессе соударений приводит к некоторому распределению молекул по скоростям: одна часть молекул имеет очень малую скорость, другая — среднюю, а третья — большую и очень большую.

Вы также знаете, что жидкость имеет поверхность. Если какая-то молекула в ее поверхностном слое приобретает при соударении энергию, достаточную для преодоления как силы притяжения со стороны соседних, так и силы поверхностного натяжения, то она может «вырваться» в окружающую среду — воздух (рис. 51, б).

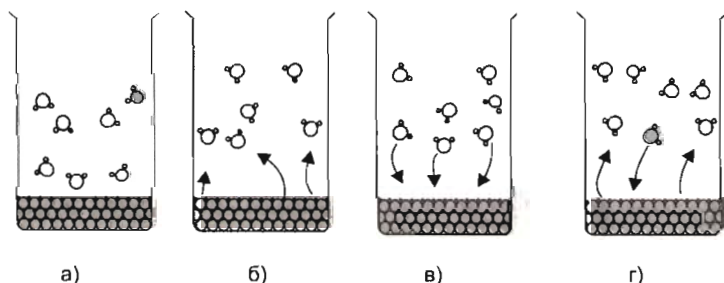


Рис. 51. Процессы, происходящие на границе раздела воздух—вода

Процесс, посредством которого молекулы жидкости высвобождаются из жидкости и превращаются в молекулы газа, называется испарением или парообразованием.

Важно понять, что из жидкости высвобождаются молекулы, обладающие большой энергией. Каждая высвободившаяся молекула обладает большей энергией, чем средняя энергия молекул жидкости. Следовательно, *процесс испарения приводит к уменьшению средней энергии жидкости*, в результате она *охлаждается*.

Для доказательства этого утверждения проведите следующее наблюдение.

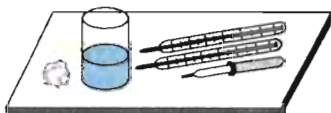


Рис. 52. Набор приборов и принадлежностей к экспериментальному заданию

◆ Шарики двух термометров оберните ватой (рис. 52). Запишите показания термометров. Затем на вату одного из термометров накапайте из пипетки спирт (воду или одеколон). Что вы наблюдаете? Запишите показания термометров. Какой вывод можно сделать? Как объяснить наблюдаемое явление?

Над поверхностью жидкости образуется пар. Высвободившиеся из жидкости молекулы в результате соударений с молекулами воздуха движутся хаотически. Вследствие этого часть их может приблизиться к поверхности на расстояние, при котором скажется влияние сил поверхностного натяжения и сил притяжения со стороны молекул жидкости. В этом случае молекула пара возвращается в жидкость (рис. 51, в).

Процесс превращения пара в жидкость называется конденсацией (от лат. *condensatio* — уплотнение, сгущение).



Рис. 53. Конденсация водяного пара

На рисунке 53 показан опыт, демонстрирующий процесс конденсации. Из парообразователя (чайника) струю пара направляют на тарелку (стеклянную пластинку). На ней появляются капельки жидкости.

Процессы испарения и конденсации происходят одновременно: какая-то часть молекул покидает жидкость, какая-то часть возвращается в жидкость (рис. 51, з).

---

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 7

### ЗАВИСИМОСТЬ ИСПАРЕНИЯ ЖИДКОСТИ ОТ РАЗЛИЧНЫХ ФАКТОРОВ

*Приборы и материалы:* два предметных стекла, стеклянная палочка, пробирки с жидкостью (водой, спиртом, одеколоном, валериановыми каплями и др.), две пипетки, спиртовка (или свеча), бумажный веер, спички.

◆ 1. Капните каплю воды из пипетки на предметное стекло и разотрите ее стеклянной палочкой по поверхности стекла. То же проделайте с каплей спирта (одеколону, валериановых капель и др.) на другом стекле. Наблюдайте за испарением жидкостей. Какая из них быстрее испарится?

2. Нанесите на предметные стекла одну и ту же жидкость (например, одеколон). Одно стекло отложите в сторону, а возле другого помашите бумажным веером. Какое стекло высохнет быстрее?

3. Нанесите на предметные стекла одну и ту же жидкость. Осторожно прогрейте пламенем спиртовки (или свечи) снизу одно из стекол. Какое стекло быстрее высохнет?

4. Накапайте на два предметных стекла одинаковое число капель одной и той же жидкости. Возьмите одно из стекол и, наклоняя его, заставьте жидкость растечься. Положите это предметное стекло рядом с первым. Оставьте их на время, в течение которого жидкость полностью высохнет. На каком предметном стекле испарение произошло быстрее?

5. На основе опытов перечислите факторы, от которых зависит испарение жидкости. Запишите их в тетрадь.

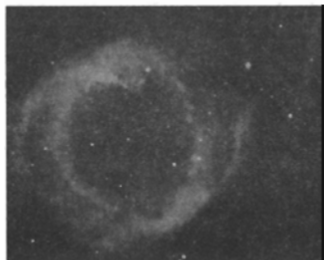
---

**Истечение газа из атмосфер звезд и планет.** Из внешних слоев атмосфер звезд и планет постоянно происходит плавное истечение газа в окружающее пространство. Этот процесс подобен рассмотренному выше высвобождению частиц с поверхности жидкости. Отличие лишь в том, что он происходит не с поверхности жидкости, а из газа в окружающее пространство. Сила поверхностного натяжения, как и сама поверхность, в этом случае отсутствует. Как вы видели на примере земной атмосферы (см. § 13), плотность газовых оболочек космических тел уменьшается с высотой. Поэтому из самых внешних и наиболее разреженных слоев газовой оболочки частицы, которые в результате взаимных столкновений приобрели значительную скорость, способны преодолеть притяжение центрального тела и покинуть его.

Ярким примером «испарения» звездной атмосферы является солнечный ветер — постоянное истечение *ионизованного газа* — *плазмы* из внешних слоев солнечной атмосферы (солнечной короны) (рис. 54 и вклейка VI). Вблизи Земли части-



**Рис. 54.** Вид солнечной короны в момент затмения Солнца



**Рис. 55.** Большая и близкая к нам планетарная туманность в созвездии Водолея

цы солнечного ветра могут иметь скорость около 400 км/с. За счет солнечного ветра Солнце теряет ничтожную долю своей массы. Однако эта потеря не так уж и мала: она составляет почти 10 млн т в 1 с. У наиболее массивных и горячих звезд истечение массы из наружных слоев весьма значительно и может достигать сотых долей массы звезды за тысячу лет.

У некоторых звезд наблюдается отрыв всей внешней оболочки, которая гигантским облаком расширяется в окружающем пространстве, образуя кольцевую (планетарную) туманность вокруг звезды (рис. 55).

**Почему образуется хвост кометы?** В состав Солнечной системы входят кометы (от греч. *komētēs* — хвостатая звезда) (см. вклейку VII). Находясь в космическом пространстве, вдали от Солнца, кометы имеют вид очень слабых, размытых, светлых пятен. С помощью телескопов ежегодно астрономы открывают несколько новых комет.

Основная масса кометы сосредоточена в ее *ядре*, состоящем из обычного льда, летучих веществ, находящихся в твердом состоянии (метан, углекислый газ и др.), и твердых частиц. Ядро может иметь размеры до нескольких километров. Когда комета приближается к Солнцу, ядро начинает испаряться и разрушаться. Вокруг него возникает светящаяся под действием солнечного света газовая оболочка — *кома*. Солнечный ветер «сдувает» с кометы газ и мелкие твердые частички в сторону, противоположную Солнцу. В результате у кометы образуется длинный *хвост* (рис. 56), состоящий из ионизованных газов и пыли. Размеры хвоста иногда достигают сотни миллионов километров. Хвост кометы направлен в сторону, противоположную Солнцу.

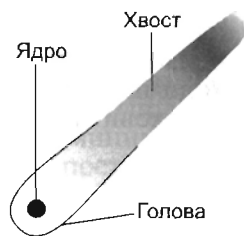
Кометные хвосты бывают разные по форме: одни прямые, другие заметно изогнутые, третьи сильно изогнутые.

Вещество хвоста кометы очень разрежено: через него без поглощения проходит свет звезд. С удалением кометы от



а)

**Рис. 56.** Комета: а) фотография кометы; б) строение кометы; в) изменение размеров хвоста с приближением ее к Солнцу



б)



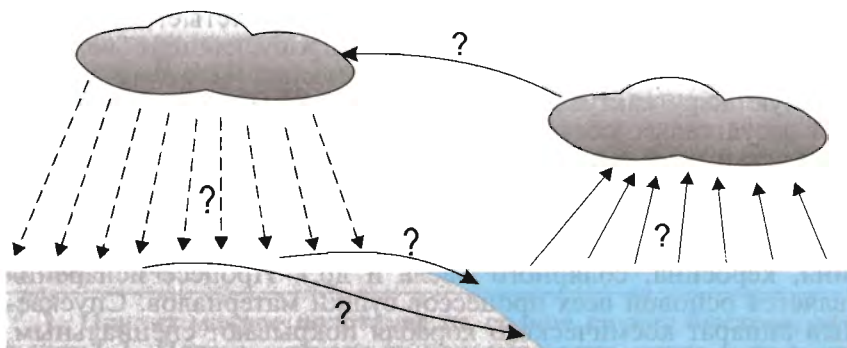
в)

Солнца хвост постепенно исчезает. Большинство комет не подходит близко к Солнцу, поэтому у них вообще хвост не наблюдается.

**?** 1. Объясните смысл утверждения: «В естественных условиях испарение — единственный способ передачи влаги из океанов в атмосферу и основная составляющая круговорота воды на Земле». 2. Что называется испарением? 3. Что называется конденсацией? 4. Почему справедливо утверждение: «Испарение жидкости происходит при любой температуре»?

**●** 1. Объясните круговорот воды в природе (см. схему на рисунке 57).

Цифрами на схеме обозначьте процессы: 1 — испарение воды с поверхности водоемов; 2 — перенос влаги ветром; 3 — конденсация, выпадение осадков; 4 — поверхностный сток воды в водоемы.



**Рис. 57**

2. Объясните процесс испарения жидкостей на основе атомно-молекулярного учения о строении вещества. Объяснение сопроводите рисунком.

3. Объясните процесс конденсации жидкостей на основе атомно-молекулярного учения о строении вещества. Объяснение сопроводите рисунком.

4. Известно, что с помощью растительного масла можно предохранить воду от испарения. Как это сделать? Почему не удается предохранить бензин от испарения с помощью дизельного масла? (Необходимые данные найдите в «Справочнике по физике» А. С. Еноховича или в любом другом.)

## **§ 20. ЗНАЧЕНИЕ ИСПАРЕНИЯ В ЖИЗНИ ЖИВЫХ ОРГАНИЗМОВ, ТЕХНИКЕ И БЫТУ**

Испарение имеет большое значение в круговороте воды на Земле, в жизни человека, животных и растений. Например, за вегетационный период капуста с площади 1 га испаряет около  $8000 \text{ м}^3$ , взрослые лиственные деревья за лето с площади 1 га испаряют до  $15000 \text{ м}^3$  воды. Оно предохраняет человека, животных и растения от перегрева.

Лишайники, среди которых есть засухоустойчивые формы, могут адсорбировать водяной пар («адсорбция» от слова «поглощать», т. е. поглощение вещества из раствора или газа поверхностным слоем твердого вещества или жидкости).

У растений засушливых мест, где воды в почве очень мало, а воздух горячий и сухой, имеются разнообразнейшие приспособления, позволяющие уменьшить потерю влаги. У кактусов вместо листьев колючки; так как их поверхность небольшая, то испарение замедлено. У алоэ листья узкие, покрытые восковым налетом, предохраняющим от интенсивного испарения. Кактусы накапливают влагу в мясистых стеблях, а алоэ — в мясистых листьях. У кактусов незначительная поверхность при большом объеме, толстые, покрытые восковым налетом покровы, плохо пропускающие водяной пар, немногочисленные закрытые устьица. Поэтому даже в сильную жару кактусы испаряют мало воды. У многих растений засушливых мест днем, когда температура воздуха высокая, устьица закрыты, а ночью открыты, что способствует уменьшению испарения.

В технике испарение применяется при очистке веществ или разделении жидких смесей перегонкой (получение бензина, керосина, солярного масла и др.). Процесс испарения является основой всех процессов сушки материалов. Спускаемый аппарат космического корабля покрывают специальным, быстро испаряющимся веществом, чтобы устранить его перегрев от трения при прохождении через слои атмосферы.

У автомобилей, тракторов, зерноуборочных комбайнов баки с горючим плотно закрывают специальными крышками, что предохраняет горючее не только от расплескивания, но и от испарения.

При хранении бензина учитывается тот факт, что он испаряется интенсивнее, чем солярка и дизельное масло. Легкая испаряемость бензина осложняет его хранение особенно в летнее время, когда интенсивность испарения из-за высокой температуры возрастает. Там, где хранится горючее, не должно быть сквозняков; заливать бензином канистры или цистерны лучше полностью (под горло), чтобы площадь поверхности бензина была минимальной.

В повседневной жизни постоянно приходится сталкиваться с процессом испарения: мы дуем на горячий чай, чтобы он быстрее остыл; страдаем от холода в мокрой одежде. Для предохранения продуктов от порчи в жаркую погоду их иногда покрывают влажной тканью. При сильных морозах рекомендуется смазывать лицо жиром для уменьшения испарения с поверхности кожи и предотвращения ее от переохлаждения.

Огромное значение имеет испарение в жизни животных. Многие из них для компенсации неизбежной потери воды за счет испарения всасывают ее через покровы тела в жидком состоянии (например, амфибии).

Задумывались ли вы над тем, почему птицы в жаркую погоду открывают клюв? В их организме имеются воздушные мешки, которые играют большую роль в терморегуляции. В жаркое время с поверхности воздушных мешков испаряется влага, что способствует охлаждению организма. Для терморегуляции организма важную роль играет потоотделение. Оно обеспечивает постоянство температуры тела человека или животного. За счет испарения пота уменьшается внутренняя энергия, благодаря этому организм охлаждается.

---

!✱ ...Верблюд не потеет даже в сорокаградусную жару и может не пить воду две недели. Чем же это объясняется? Его тело покрыто густой и плотной шерстью, которая спасает от перегрева. В знойный полдень спина верблюда нагревается до 80 °С, а кожа — до 40 °С. Чтобы уменьшить испарение, верблюд не раскрывает рта. Частота его дыхания очень низкая — 8 раз в минуту, за счет этого из организма с воздухом выходит меньше воды. В жару частота дыхания увеличивается до 16 раз в минуту. Кроме того, температура тела верблюда меняется: ночью она понижается до 34 °С, а днем повышается до 40—41 °С.

---

**?** 1. Почему мокрое полотенце на солнце сохнет быстрее, чем в тени? 2. Почему, выходя из водоема (реки, озера и др.), даже в жаркий день вы ощущаете прохладу? 3. Почему образу-



ется дымка над поверхностью чашки с горячим чаем? 4. С какой целью свежесрезанную зелень оборачивают сырой тканью? 5. Для покрытия ракет используют материалы, которые легко испаряются без плавления. Это предохраняет корпус ракеты от перегрева. Почему? 6. При местной анестезии (обезболивании) врачи применяют легкоиспаряющиеся вещества — эфир, хлороформ. На каком явлении основано обезболивание? 7. Почему в холод многие животные (например, кошки) свертываются в клубок, а в жару, наоборот, стремятся увеличить свою свободную поверхность? 8. У многих растений пустыни вместо листьев колючки или шипы. Какое это имеет значение для растений? Приведите примеры. 9. Зачем при сушке нарезают на части картофель, яблоки и другие овощи и фрукты? 10. После дождя цветы пахнут сильнее. Почему? 11. Почему огурец всегда на 1–2 °С холоднее окружающей среды? Ответ обоснуйте. 12. Почему в сильную жару собака высовывает язык? 13. В жару человек покрывается потом? Какую роль это играет для человека? 14. Когда целесообразнее срезать листья салата: рано утром или вечером после жаркого дня?

## § 21. ВЛАЖНОСТЬ ВОЗДУХА

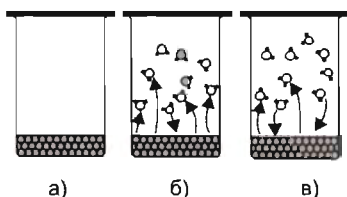


Рис. 58. Процессы, происходящие в закрытом сосуде

**Насыщенный и ненасыщенный пар.** В § 19 рассматривались процессы испарения и конденсации при условии, что сосуд с жидкостью открыт. Что будет происходить, если в него налить немного воды и закрыть (рис. 58, а)?

Сначала жидкость (вода и др.) в закрытом сосуде будет интенсивно испаряться, и в сосуде образуется пар. *Пар* — термин, обозначающий газообразное состояние вещества при условии, когда газ находится в равновесии со своей жидкостью. При испарении жидкости плотность пара над ней будет увеличиваться, поскольку из жидкости будет вылетать большее число молекул, чем возвращаться в нее (рис. 58, б). Такой пар называется *ненасыщенным*. По мере испарения жидкости наступает такое состояние, при котором число молекул, покинувших ее поверхность, будет в среднем равно числу молекул пара, возвратившихся за это же время в жидкость (рис. 58, в). В этом случае жидкость и пар придут в состояние динамического (подвижного) равновесия. Это означает, что воздух над поверхностью жидкости будет содержать постоянное число молекул пара на единицу объема (иными словами, в данном объеме при данной температуре не может находиться большее число молекул пара).

Пар, находящийся в динамическом равновесии с жидкостью, называется насыщенным.

Пар, находящийся в ограниченном пространстве над поверхностью жидкости, характеризуется определенным давлением.

Давление пара, при котором жидкость находится в равновесии с паром, называется давлением насыщенного пара.

Давление насыщенного пара зависит от температуры. При нагревании растет не только скорость хаотического движения молекул, но и масса пара, а значит, и его плотность. При этом будет увеличиваться число ударов молекул о стенки сосуда, а значит, и давление пара.

**Парциальное давление.** Пространство над жидкостью может содержать только один пар или пар и смесь газов. Кроме того, газ (или газы) в рассматриваемом объеме может находиться при любом давлении. Молекулы в газе и паре движутся независимо друг от друга. Это означает, что они покидают поверхность жидкости и возвращаются в нее независимо от присутствия различных молекул. Если в замкнутый сосуд поместить блюдца с несколькими разными жидкостями, то каждая из жидкостей будет испаряться и их пары, занимая весь объем сосуда, будут оказывать свое давление на стенки сосуда. Общее же давление смеси паров в сосуде равно сумме давлений каждого из них.

Давление, которое производил бы газ или пар на стенки сосуда при отсутствии других газов, называется парциальным (от лат. *partialis* — частичный).

**Водяной пар в атмосфере.** Вы уже знаете, что атмосферный воздух представляет собой смесь различных газов: азота, кислорода, инертных газов, углекислого газа, водяных паров и примесей. Каждый из них вносит свой вклад в суммарное давление, производимое земной атмосферой на тела.

Давление, которое производил бы водяной пар, если бы все остальные газы отсутствовали, называется парциальным давлением водяного пара.

Его принимают за один из показателей влажности воздуха. Однако по парциальному давлению водяного пара нельзя

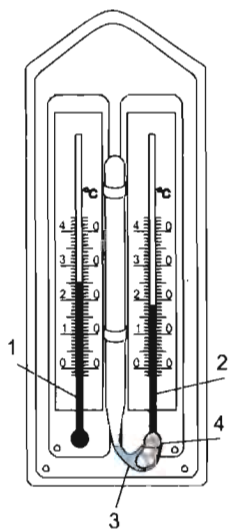
судить о том, насколько водяной пар близок к насыщению. Водяной пар, содержащийся в воздухе, обычно ненасыщенный, и его парциальное давление ниже давления насыщенного пара при данной температуре.

Для количественной характеристики влажности воздуха введена специальная величина — **относительная влажность воздуха**.

❄️ Относительной влажностью воздуха называется величина, равная отношению парциального давления водяного пара, содержащегося в воздухе при данной температуре, к давлению насыщенного пара при той же температуре, выраженная в процентах:

$$\varphi = p/p_0 \cdot 100\%,$$

где  $\varphi$  — относительная влажность воздуха (читается «фи»);  $p$  — парциальное давление водяного пара, содержащегося в воздухе при данной температуре;  $p_0$  — давление насыщенного пара при той же температуре.



**Рис. 59.** Психрометр: 1 — сухой термометр; 2 — влажный термометр; 3 — резервуар с водой; 4 — полоска ткани, опущенная в воду

**Психрометр.** Для измерения относительной влажности воздуха существуют различные приборы — психрометры, гигрометры (волосные, пленочные, полупроводниковые). По шкалам гигрометров относительная влажность определяется непосредственно в процентах. Наиболее распространенный прибор для измерения температуры и влажности воздуха — *психрометр* (от греч. psychros — холодный и metréō — измеряю).

На рисунке 59 представлен внешний вид простейшего психрометра. Он состоит из двух термометров. Сухой термометр 1 измеряет температуру окружающего воздуха, влажный термометр 2 — температуру испаряющейся воды. Чем больше относительная влажность, тем менее интенсивно идет испарение и тем более высокую температуру показывает влажный термометр. Для определения относительной влажности используются психрометрические таблицы, помещенные как в справочниках, так и на некоторых корпусах психрометров. Ниже приведена психрометрическая таблица.

## Психрометрическая таблица

Показания сухого термометра	Разность показаний сухого и влажного термометров, °С										
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	Относительная влажность, %										
0	100	81	63	45	28	11	—	—	—	—	—
2	100	84	68	51	35	20	—	—	—	—	—
4	100	85	70	56	42	28	14	—	—	—	—
6	100	86	73	60	47	35	23	10	—	—	—
8	100	87	75	63	51	40	28	18	7	—	—
10	100	88	76	65	54	44	34	24	14	5	—
12	100	89	78	68	57	48	38	29	20	11	—
14	100	89	79	70	60	51	42	34	25	17	9
16	100	90	81	71	62	54	45	37	30	22	15
18	100	91	82	73	65	56	49	41	34	27	20
20	100	91	83	74	66	59	51	44	37	30	24
22	100	92	83	76	68	61	54	47	40	34	28
24	100	92	84	77	69	62	56	49	43	37	31
26	100	92	85	78	71	64	58	51	46	40	34
28	100	93	85	78	72	65	59	53	48	42	37
30	100	93	86	79	73	67	61	55	50	44	39

**Значение влажности воздуха.** Слишком сухой воздух в доме не только вреден для здоровья человека, но также неблагоприятен для комнатных растений, деревянных полов и предметов интерьера. При температуре 20—25 °С наиболее благоприятным считается воздух с относительной влажностью от 40 до 60%.

Когда окружающая среда имеет высокую температуру, то происходит усиленное потоотделение. Обильное выделение пота ведет к охлаждению организма, что вредно для человека. Относительная влажность ниже 40% при нормальной температуре воздуха также вредна, так как приводит к усиленной потере влаги организмом — к его обезвоживанию. Особенно низкая влажность воздуха в помещениях в зимнее время: она составляет 10—20%. При низкой влажности воздуха происходит быстрое испарение с поверхности тела и высыхание слизистой оболочки носа, гортани, легких, что может привести к ухудшению самочувствия. Также при низкой влажности воздуха во внешней среде более длительно сохраняются патогенные микроорганизмы, на поверхности предметов больше скапливается статического заряда. Поэтому в зимнее время в жилых помещениях производят увлажнение с помощью пористых увлажнителей. Хорошими увлажнителями являются растения.

Если относительная влажность высокая, то мы говорим, что воздух сырой и душливый. Высокая влажность воздуха вызывает угнетающее состояние, поскольку испарение происходит очень медленно. Концентрация паров воды в воздухе в этом случае высока, вследствие чего молекулы из воздуха возвращаются в жидкость почти так же быстро, как и испаряются. Если пот с поверхности тела испаряется медленно, то тело охлаждается очень слабо, и мы чувствуем себя не совсем комфортно. При относительной влажности 100% испарение вообще не может происходить — при таких условиях мокрая одежда никогда не высохнет.

Оптимальная температура и влажность воздуха различаются в зависимости от типа помещения. Так, в спальне оптимальной температурой считается 16—18 °С и влажность воздуха 50—70%, в гостиной соответственно 20 °С и 40—60%, на кухне 18 °С и 50—70%, в ванной комнате 23 °С и 50—70%.

Для нормального производственного процесса на текстильных фабриках, в кондитерских цехах поддерживают необходимую влажность воздуха. Вы, вероятно, обращали внимание на то, что в музеях на стенах висят психрометры или гигрометры. При хранении книг, произведений искусства требуется поддерживать определенную влажность воздуха.

В современных зданиях производится кондиционирование воздуха — создание и поддержание в закрытых помещениях и транспортных средствах воздушной среды, наиболее благоприятной для самочувствия людей, протекания технологических процессов, работы оборудования. При этом автоматически регулируются температура, влажность, состав воздуха.

- 
- ? 1. Какой пар называется насыщенным? ненасыщенным?**  
**2. Почему равновесие, наступающее между жидкостью и на-**

сыщенным паром, называют динамическим? 3. Динамическое равновесие у разных жидкостей наступает при различных температурах. Почему? 4. Влажный термометр психрометра показывает  $18\text{ }^{\circ}\text{C}$ , а сухой —  $22\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Какова относительная влажность воздуха в помещении? 5. В теплице для прорастания огурцов и дынь нужно поддерживать температуру  $32\text{ }^{\circ}\text{C}$  и относительную влажность не ниже  $90\%$ . Выполняется ли это требование, если влажный термометр психрометра показывает  $29\text{ }^{\circ}\text{C}$ , а сухой —  $30\text{ }^{\circ}\text{C}$ ? \* 6. Можно ли определить при помощи психрометра относительную влажность воздуха, температура которого ниже  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ ?

● 1. Используя показания термометров (см. рис. 59) и психрометрическую таблицу 8, определите относительную влажность воздуха.

2. Используя психрометрическую таблицу 8, определите недостающие параметры.

№ п/п	$t_{\text{сух}},\text{ }^{\circ}\text{C}$	$t_{\text{вл}},\text{ }^{\circ}\text{C}$	$\Delta t,\text{ }^{\circ}\text{C}$	$\varphi,\text{ \%}$
1	26	18	?	?
2	20	?	?	83
3	?	?	5	35
4	?	24	2	?

3. При температуре воздуха  $26\text{ }^{\circ}\text{C}$  влажный термометр психрометра показывает  $22\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Определите показание влажного термометра психрометра при понижении температуры воздуха до  $16\text{ }^{\circ}\text{C}$ , если относительная влажность воздуха не изменилась.

◆ 1. Налейте в пробирку воду. Сверху пробирки закрепите воздушный шарик (рис. 60).

1) Выскажите гипотезу о том, что произойдет с воздушным шариком при нагревании воды. 2) Что образуется внутри воздушного шарика? 3) Проведите эксперимент. Подтвердилась ли ваша гипотеза?

2. Можно ли определить относительную влажность воздуха, используя один термометр?

1) Выскажите свою гипотезу. 2) Возьмите те приборы и материалы, которые нужны вам для проверки своей гипотезы. 3) Подтвердилась ли ваша гипотеза после проведения эксперимента? 4) Чему равна относительная влажность воздуха в помещении?

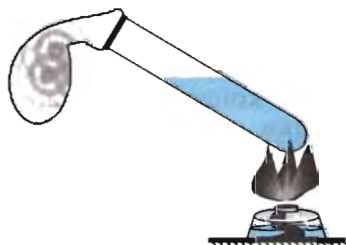


Рис. 60. Нагревание воды в пробирке

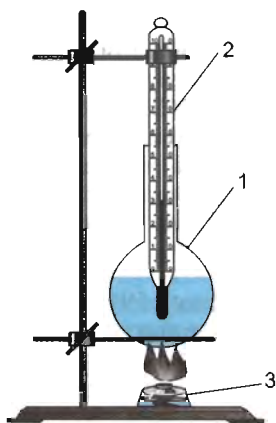


Рис. 61 Нагревание воды в стеклянном сосуде: 1 — сосуд с водой; 2 — термометр; 3 — спиртовка или другой нагреватель

**Каковы внешние признаки кипения?** Для ответа на этот вопрос проведем наблюдение за нагреванием воды в стеклянном сосуде (рис. 61).

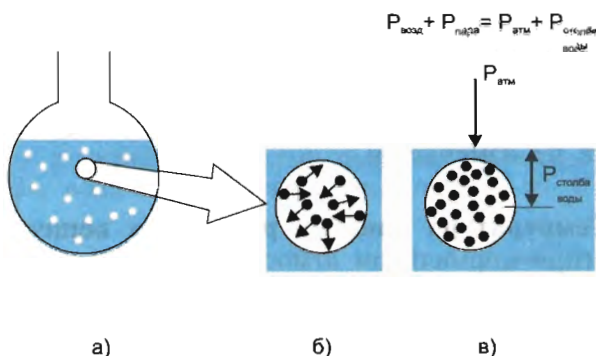
По мере нагревания воды появляются мелкие пузырьки, размеры которых постепенно увеличиваются; на поверхности пузырьки лопаются, и находящийся в них пар выходит в атмосферу; перед началом кипения слышен шум; иногда появляется туман, когда образующийся водяной пар над сосудом охлаждается окружающим воздухом и конденсируется в виде мелких капель.

**Как можно объяснить процесс кипения жидкости?** Вероятно, вы задумывались: почему внутри воды образуются пузырьки? Почему они увеличиваются в размерах? поднимаются вверх?

Вода никогда не бывает однородной: в ней всегда имеются микроскопические твердые частицы, с которыми связаны пузырьки воздуха или других газов. Эти пузырьки настолько малы, что они невидимы невооруженным глазом. Кроме того, поверхность твердого тела (в нашем случае стеклянного сосуда) обладает способностью удерживать молекулы газа, которые как бы прилипают к ней. Газ, связанный с поверхностью твердого тела, называют *адсорбированным*. Растворенный в воде (жидкости) воздух, области адсорбированного газа, а также различные неоднородности, снижающие молекулярное сцепление жидкости с твердым телом (со стенками сосуда), и являются *центрами парообразования*.

Рассмотрим поведение отдельного пузырька воздуха внутри жидкости (рис. 62).

Внутри каждого воздушного пузырька с его поверхности непрерывно идет испарение жидкости и одновременно происходит конденсация пара (рис. 62, б). Внутри пузырька на его стенки оказывают давление воздух и пар, снаружи — давление атмосферы и столба воды. Если сумма давлений внутри пузырька ( $p_{\text{пара}} + p_{\text{воздуха}}$ ) равна сумме давлений вне пузырька ( $p_{\text{атм}} + p_{\text{столба воды}}$ ), то размеры пузырька не изменяются (рис. 62, в). При испарении воды плотность водяных паров достаточно быстро увеличивается, плотность же воздуха меняется незначительно. Поэтому с повышением температуры дав-



**Рис. 62.** Схема «механизма» кипения жидкости

ление пара растет, и в достаточно нагретой жидкости давление внутри пузырьков можно считать равным давлению насыщенного пара. При повышении температуры давление насыщенного пара увеличивается и пузырьки растут в размерах.

Почему пузырек поднимается? На пузырек действуют притяжение Земли (сила тяжести) и выталкивающая сила со стороны воды. Если выталкивающая сила больше силы тяжести, то пузырек поднимается.

В начале нагревания жидкости снизу ее верхние слои оказываются холоднее нижних, поэтому при подъеме пузырька водяной пар в нем конденсируется, а воздух снова растворяется в воде и объем пузырька уменьшается. Многие пузырьки, не достигнув поверхности воды, исчезают, и мы слышим характерный шум перед началом кипения. Это будет происходить до тех пор, пока температура всей жидкости не станет одинаковой. Когда температура всей жидкости станет одинаковой, объем пузырьков при подъеме будет уже непрерывно возрастать, так как давление насыщенного пара внутри пузырьков остается постоянным, а давление столба воды уменьшается. Все пространство внутри пузырька заполняется насыщенным паром. Когда такой пузырек достигнет поверхности жидкости, то давление насыщенного пара в нем практически будет равно атмосферному давлению на поверхности жидкости, пузырек лопнет, а находящиеся в нем пары выйдут в окружающую среду — вода закипит.

Кипение — это испарение, происходящее не только с поверхности жидкости, но и внутри самой жидкости.

В отличие от испарения с поверхности жидкости, которое происходит при любой температуре (см. § 19), кипение воз-



можно только при определенной и постоянной для каждой жидкости температуре (табл. 9).

Температура, при которой жидкость кипит, называется температурой кипения. Во время кипения температура жидкости не изменяется.

Таблица 9

**Температура кипения различных веществ**  
(при нормальном атмосферном давлении)

Вещество	Температура кипения, °С
Азотная кислота безводная	86,0
Аммиак	-33,4
Ацетон	56,5
Вода дистиллированная	100,0
Глицерин	290,0
Молоко цельное	100,2
Озон	-112,0
Оксид углерода	-78,48
Скипидар	161,0
Спирт метиловый	64,5
Спирт этиловый	78,3
Фреон-12	-29,8
Эфир этиловый	34,5

Как видно из таблицы 9, при нормальном атмосферном давлении ( $\approx 10^5$  Па) на уровне моря вода кипит при 100 °С.

\* В справочниках по физике температура кипения некоторых веществ указывается в определенных пределах. Так, для авиационного бензина температура кипения 40—180 °С, для автомобильного бензина 70—205 °С, для керосина 150—300 °С. Бензин и керосин состоят из смеси углеводородов и поэтому не имеют определенной температуры кипения: вначале закипают наиболее легкоиспаряющиеся компоненты, а с повышением температуры — и остальные.

● В таблице 10 приведены значения температуры кипения воды при давлениях выше нормального атмосферного. Какой вывод можно сделать из анализа этой таблицы?

Таблица 10

**Температура кипения воды при различных давлениях**

Давление $p, 10^5$ Па	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Температура кипения, °С	99,7	120,3	133,4	143,5	151,7	158,7	164,8	170,8	175,2	179,7

Кипение при повышенном давлении используется в паровых котлах, а также в медицине для стерилизации хирургических инструментов и перевязочных материалов в автоклавах.

Если давление ниже  $10^5$  Па (например, в горах), то температура кипения воды оказывается ниже  $100^\circ\text{C}$ . Так, на вершине горы высотой 6 км атмосферное давление примерно  $0,47 \cdot 10^5$  Па, вода на этой высоте кипит при  $80^\circ\text{C}$ .

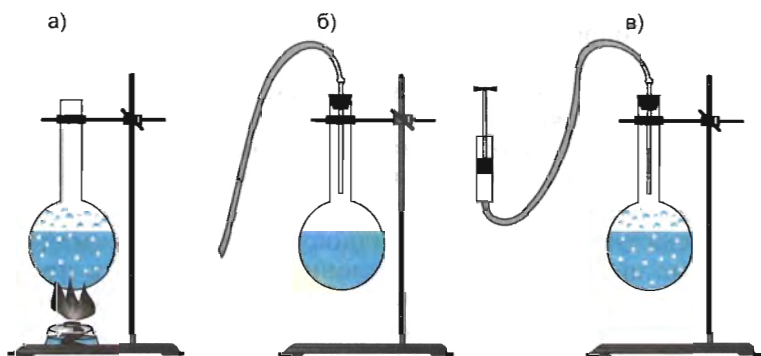


Рис. 63. Кипение воды при пониженном давлении

Воду можно вскипятить при давлении ниже нормального атмосферного. Чтобы проверить это, проведем опыт. В стеклянной колбе нагреем воду до кипения (рис. 63, а). Затем нагреватель уберем, а колбу плотно закроем пробкой, соединенной резиновой трубкой с воздушным насосом (рис. 63, б). Через 1—2 мин, когда вода немного остынет, насосом выкачаем воздух и пары воды. Давление в колбе постепенно уменьшится, и вода бурно закипит (рис. 63, в). Если прекратить выкачивание, то кипение прекратится.

Кипение при пониженном давлении применяется в холодильной технике при получении сверхнизких температур.

**! \* Перегретая жидкость.** Процесс кипения связан с наличием растворенного газа в жидкости. Если же жидкость лишена примесей и не содержит пузырьков газа, то ее можно нагреть до температуры, превышающей температуру кипения. *Однородная жидкость, температура которой при заданном внешнем давлении превышает температуру кипения, называется перегретой.* При отсутствии центров парообразования не происходит зарождения мельчайших пузырьков с паром.

Кипение начинается, если ввести в жидкость вещество, которое обеспечит возможность образования пузырьков с паром, например всыпать порошок мела, бросить щепотку чая. Эти отдельные частицы будут центрами парообразования.

Когда такая перегретая жидкость закипает, то процесс кипения протекает бурно, напоминая взрыв.

Вскипание перегретой жидкости используется в приборах для регистрации следов (треков) заряженных частиц — пузырьковых камерах. С устройством и принципом действия пузырьковых камер вы ознакомитесь в старших классах.

---

**?** 1. Почему кипение происходит при постоянной температуре, а испарение сопровождается понижением температуры? 2. Температура кипения воздуха изменяется от  $-192$  до  $-195$  °С. Почему температура кипения воздуха непостоянна? 3. При стерилизации (обеззараживании) инструментов для операций и инъекций температуру кипения воды повышают до  $120$ — $140$  °С. Как можно добиться такой высокой температуры кипения?

---

**●** 1. Расскажите о кипении жидкости, обратив внимание на: а) внешние его признаки; б) условия, при которых протекает кипение; в) использование кипения при повышенном и пониженном давлении на практике.

2. Объясните причину роста пузырька в процессе кипения.

---

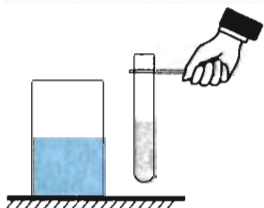


Рис. 64. Опыт с эфиром

**◆\*** В пробирку налили этиловый эфир при комнатной температуре. Что произойдет с эфиром при опускании пробирки в стакан с горячей водой ( $t = 90$  °С)? Для ответа используйте данные таблицы 9. Проверьте свои предположения на опыте (рис. 64).

## § 23. СТРОЕНИЕ ТВЕРДЫХ ТЕЛ

Твердые тела во Вселенной присутствуют в значительно меньшем количестве, чем газообразные. В основном это частицы межзвездной и межпланетной пыли, всегда примешанные к межзвездному газу.

Окружающие нас на Земле предметы в основном твердые тела. Наиболее характерной их особенностью является *сохранение формы и объема*. В обычных условиях твердое тело трудно сжать или растянуть. Для того чтобы согнуть или разорвать его, надо приложить значительное усилие.

---

### ◆ ИЗУЧЕНИЕ КОЛЛЕКЦИИ ТВЕРДЫХ ТЕЛ

*Приборы и материалы:* лупа, коллекция минералов и горных пород, металлов и сплавов, пробирка с песком.

1. Рассмотрите внешний вид минералов, горных пород, металлов и сплавов. Обратите внимание на их форму, цвет и блеск.

2. С помощью лупы рассмотрите структуру образцов горных пород (гранит, песчаник, известняк, мрамор и др.), металлов, песчинок.

3. Результаты наблюдений запишите в тетрадь.

**Кристаллические и аморфные тела.** Твердые тела делят на две группы: кристаллические и аморфные.

Кристаллы (от греч. *krýstallós* — лед) — твердые тела, обладающие периодической структурой и имеющие правильную геометрическую форму.

На вклейке VIII представлен внешний вид некоторых кристаллов. Их размеры могут быть различными: многие кристаллы можно увидеть только в микроскоп, но встречаются и гигантские. Кристаллы правильной геометрической формы редки в природе. Из-за влияния таких факторов, как колебания температуры, влажность, давление, трение о другие твердые тела, растущий кристалл не может приобрести характерную для него правильную форму.

У тел, находящихся в аморфном состоянии (от греч. *ámorphos* — бесформенный), отсутствует строгий порядок в расположении частиц вещества.

В природе оно менее распространено, чем кристаллическое. В аморфном состоянии могут находиться опал, янтарь, смола, битум, полимер.

**Строение кристаллов.** Кристаллические тела, в свою очередь, делятся на **поликристаллы** (от греч. *polý* — много, многое) и **монокристаллы**. Большинство твердых тел поликристаллические. Они состоят из множества отдельных беспорядочно ориентированных мелких монокристаллов (кристаллических зерен) — **кристаллитов** (рис. 65).

Поликристаллическую структуру имеют многие горные породы, металлы и сплавы. Так, например, поликристаллическую структуру чугуна можно обнаружить с помощью лупы при рассмотрении образца на изломе.

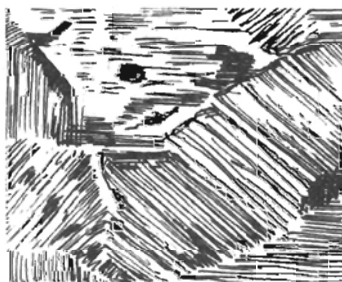
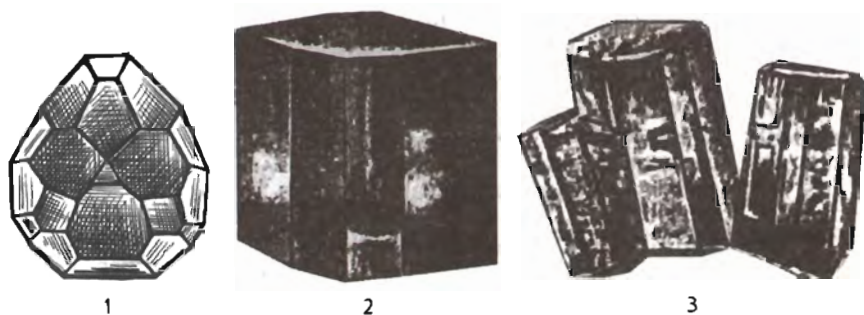


Рис. 65. Кристаллиты на поверхности поликристаллического образца меди (увеличение в 270 раз)



**Рис. 66.** Монокристаллы: 1 — монокристалл германия (увеличение в 4000 раз); 2 — монокристалл сегнетовой соли; 3 — природные кристаллы турмалина

*Крупные одиночные кристаллы* называют *монокристаллами*. На рисунке 66 приведены изображения некоторых из них. В природе встречаются монокристаллы различных размеров — от громадных (массой в несколько тонн) кристаллов кварца, флюорита, полевого шпата до мелких кристаллов алмаза и др. Для научных и производственных целей монокристаллы выращивают в специальных установках.

Монокристаллы, выращенные при определенной температуре и давлении, имеют форму правильных многогранников, грани плоские, ребра между ними прямолинейные, углы между гранями кристалла одного и того же вещества постоянны.

Упорядоченное расположение частиц (атомов, молекул, ионов), характеризующееся пространственной повторяемостью, называется кристаллической решеткой вещества.

Она представляет собой пространственную «сетку», узлы которой совпадают с положением атомов (молекул, ионов). В основе кристаллической решетки — элементарная ячейка — фигура наименьшего размера, последовательным переносом которой можно построить весь кристалл. Элементарная ячейка может быть выбрана различными способами. На рисунке 67, *а* показано, как путем «сложения» элементарных ячеек можно построить кристалл.

Для характеристики элементарной ячейки задают размеры ее ребер  $a$ ,  $b$  и  $c$ , а также значения углов между ними  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ . Длину одного из ребер называют *постоянной* (периодом) кристаллической решетки, а всю совокупность шести величин — *параметрами ячейки*.

На рисунке 68 изображены элементарные ячейки меди, хлорида натрия (поваренной соли), графита, алмаза. В дан-

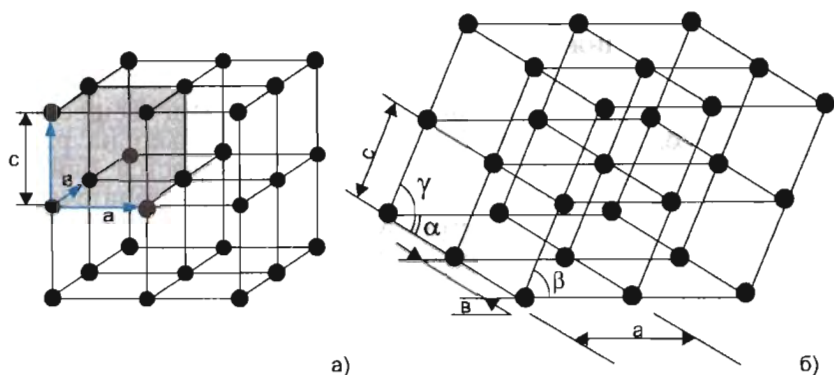


Рис. 67. Элементарные ячейки кристаллической решетки

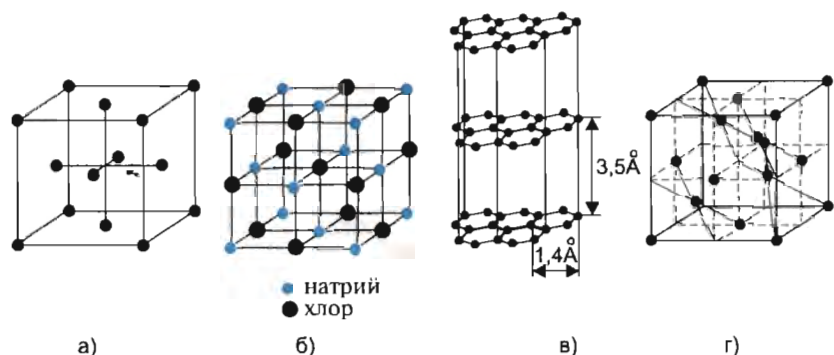


Рис. 68. Элементарные ячейки кристаллов: а) меди; б) хлорида натрия; в) графита; г) алмаза

ной ячейке может размещаться от одного атома до  $10^3$  атомов (простые и сложные вещества),  $10^3-10^5$  атомов (белки) и  $10^6-10^9$  атомов (вирусы). Длина ребра элементарной ячейки колеблется от нескольких  $\text{Å}$  до  $100-2000 \text{ Å}$ .

Существование кристаллической решетки объясняется тем, что частицы твердого тела (атомы, молекулы или ионы) находятся на расстоянии ( $R \approx d_0$ ), при котором силы притяжения и отталкивания примерно равны. Частицы кристаллической решетки не могут «разорвать» свои связи с ближайшими соседями и колеблются около положений равновесия (узлов кристаллической решетки). Иногда частицы изменяют положение равновесия, но происходит это крайне редко. Вот почему твердые тела сохраняют не только объем, но и форму.

Конечно, структура реального кристалла отличается от схемы, описываемой понятием кристаллической решетки.

---

## \* Дальний и ближний порядок.

Упорядоченность в расположении частиц вещества (атомов, молекул, ионов), сохраняющаяся только на расстояниях, сравнимых с межатомными, называется ближним порядком. Упорядоченность, повторяющаяся на очень больших расстояниях (на многие тысячи межатомных расстояний), называется дальним порядком.

*В жидкостях и аморфных телах существует только ближний порядок, при котором упорядоченное расположение частиц вещества сохраняется лишь среди ближайших соседей (на расстояниях порядка нескольких атомных диаметров).*

*В кристаллах правильное чередование частиц на одних и тех же расстояниях друг от друга повторяется для сколь угодно отдаленных атомов, т. е. существует дальний и ближний порядок. В кристаллах частицы вещества совершают колебания около положений равновесия, при этом упорядоченность в их расположении почти не нарушается.*

---

\* Представление о кристалле как о совокупности частиц, упорядоченно расположенных в пространстве и удерживаемых около положения равновесия силами взаимодействия, было сформулировано в 1848 г. французским ученым Огюстом Бравэ (1811—1863). Эти идеи были высказаны еще в работах Исаака Ньютона (1686), Даниила Бернулли (1727), Огюстена Коши (1830) и других ученых. В 1890—1891 гг. русский минералог и кристаллограф Евграф Степанович Федоров показал возможность 230 вариантов упорядоченного расположения частиц в твердом теле. Многие его современники не только не верили в существование кристаллических решеток, но даже сомневались в наличии атомов.

В 1912 г. немецким ученым Максом фон Лауэ (1879—1960) и его сотрудниками был разработан метод определения атомной или молекулярной структуры веществ с помощью рентгеновских лучей, получивший название *рентгеноструктурный анализ вещества*. Результаты исследования структуры кристаллов с помощью рентгеноструктурного анализа доказали реальность существования всех рассчитанных Е. С. Федоровым кристаллических решеток.

---

**Получение кристаллов.** В природе у большинства веществ редко встречаются монокристаллы без трещин, загрязнений и других дефектов. Во многих отраслях техники и при выполнении научных исследований требуются монокристаллы очень высокой химической чистоты с совершенной структурой. Кристаллы, встречающиеся в природе, этим требова-

**Федоров Евграф Степанович** (1853—1919) — русский минералог и кристаллограф. В научном труде «Симметрия правильных систем фигур» (1890) впервые выделил 230 пространственных групп симметрии кристаллов (т.е. установил, что в природе может существовать только 230 типов различных кристаллических решеток). Является основоположником кристаллохимии — науки, занимающейся определением химического состава кристаллов путем исследования формы грани и измерения углов между ними.



ниям не удовлетворяют, так как они выращиваются в условиях, далеких от идеальных. Поэтому возникла проблема разработки технологий искусственного выращивания монокристаллов многих элементов и химических соединений путем кристаллизации.

Кристаллизация — образование кристаллов из паров, растворов, расплавов, из веществ в твердом состоянии, а также при химических реакциях.

Крупные монокристаллы выращивают из перенасыщенных растворов и перегретых расплавов, вводя в них небольшие затравочные кристаллики, которые растут, присоединяя атомы или молекулы из раствора (расплава).

Чем меньше скорость роста кристаллов, тем совершеннее их форма. Зависимость скорости роста от условий кристаллизации позволяет выращивать кристаллы разнообразной структуры (многогранные, пластинчатые, игольчатые и др.) и формы (стержни, трубы, пластинки и др.). В процессе кристаллизации неизбежно возникают различные дефекты. Поэтому появилась необходимость искусственного выращивания монокристаллов в лабораториях или в заводских условиях. В частности, в Физическом институте академии наук (ФИАН) созданы фианиты — синтетические монокристаллы. Кристаллы совершенной структуры и химически чистые получают в невосможности при проведении пилотируемых космических полетов.

**Применение кристаллов.** Многие монокристаллы обладают особыми физическими свойствами: алмаз тверд, сапфир, кварц и флюорит прозрачны, нитевидные кристаллы корунда прочны. Поэтому монокристаллы, а также поликристаллические материалы имеют широкое практическое применение.

Сверхтвердый алмаз (природный и искусственный) используется в современной технике для заточки инструментов и резов из сверхтвердых сплавов, в бурении скважин. Алмазы служат опорными камнями (подшипниками) в хрономет-



рах высшего класса для морских судов и в других особо точных навигационных приборах. На алмазных подшипниках не обнаруживается никаких следов износа даже после длительного их использования.

Кристаллы рубина, сапфира и т. п. служат опорными элементами в часах и других точных приборах. Незаменимыми оказались рубиновые стержни на фабриках при изготовлении тканей из химического волокна. На изготовление  $1 \text{ м}^2$  ткани требуется израсходовать сотни тысяч метров искусственного волокна. Нитеводители из самого твердого стекла изнашиваются за несколько дней, агатовые способны работать до двух месяцев, рубиновые практически не изнашиваются.

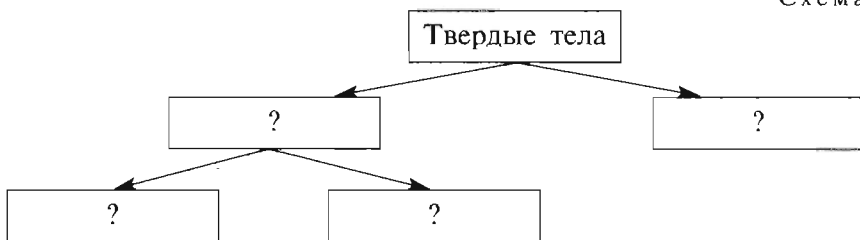
В научных исследованиях и в технике широкое применение получили лазеры — приборы, в которых рубиновый стержень служит мощным источником света, испускаемого в виде тонкого светового пучка. Лазеры используются при сварке, резке металлов, в медицине (терапии и хирургии).

Незаменимы кристаллы в современной электронике (транзисторы, ЭВМ, фотоприемники и др.). Большинство полупроводниковых электронных приборов изготовлено из германия, кремния.

**?** 1. На какие группы делятся твердые тела? 2. Что такое монокристалл? поликристалл? 3. Что понимают под элементарной ячейкой кристаллов? 4. Что такое период элементарной ячейки? 5. Как вы понимаете выражение «ближний и дальний порядок в расположении частиц»? 6. Какой порядок в расположении частиц (ближний или дальний) характерен для кристаллов, аморфных тел, жидкостей? 7. Назовите известные вам свойства твердых тел. Ответ обоснуйте.

● Продолжите заполнение схемы.

Схема



◆ 1. Кристаллы нередко встречаются в природе и среди веществ, которыми мы пользуемся ежедневно. Возьмите щепотку мелкого сахара (сахарного песка) и столько же поваренной соли. Чем большими будут крупинки этих веществ, тем лучше. Положите щепотки сахара и соли на темный фон (лист бумаги черного или синего цвета) и рассмотрите их в лупу.

Зарисуйте форму кристаллов сахара и соли. Запишите в тетрадь все особенности кристаллов, которые вы заметили.

\* 2. Налейте в пол-литровую чистую банку воду. Всыпьте в воду столько поваренной соли, чтобы она уже более не растворялась, а после размешивания оставалась в виде осадка на дне банки, — образуется насыщенный раствор соли (дальнейшее растворение данного вещества в этом количестве воды невозможно). Полученный насыщенный раствор соли профильтруйте. Оставьте насыщенный раствор на несколько дней в удобном для вас месте (на столе, подоконнике и др.). Что образовалось у вас на дне банки и почему? Ответ обоснуйте. Зарисуйте в тетради то, что у вас получилось в результате эксперимента. Для лучшего рассмотрения того, что у вас получилось, используйте лупу.

\* 3. Возьмите порошок медного купороса. Налейте в пол-литровую банку чистую воду. Всыпьте в воду столько медного купороса, чтобы он больше не растворялся, а после размешивания оставался в виде осадка на дне банки. Это будет насыщенный раствор медного купороса (т. е. дальнейшее растворение данного вещества в этом количестве воды невозможно). Опустите в насыщенный раствор медного купороса веточку растения и оставьте в кабинете физики на несколько дней. Что образовалось на дне банки и на веточке? Ответ обоснуйте. Рассмотрите с помощью лупы то, что у вас получилось. Зарисуйте в тетради один из кристаллов.

\* 4. *Можно ли получить кристаллы из паров?*

Насыпьте в пробирку немного порошка нашатыря и осторожно введите пробирку в пламя спиртовки. Пробирку держите наклонно и открытым концом от себя. Через некоторое время прекратите нагревание. Рассмотрите внимательно с помощью лупы то, что образовалось на стенках пробирки. Объясните и зарисуйте в тетради то, что вы наблюдали.

\* 5. Соберите установку так, как показано на рисунке 69. Измельченный в порошок хлористый натрий нагрейте в специальной фарфоровой огнеупорной чашке-тигле. Погасите спиртовку. С помощью лупы рассмотрите то, что образовалось на листе холодного стекла. Объясните и зарисуйте в тетради то, что вы наблюдали.

\* 6. *Можно ли увидеть кристаллы льда?*

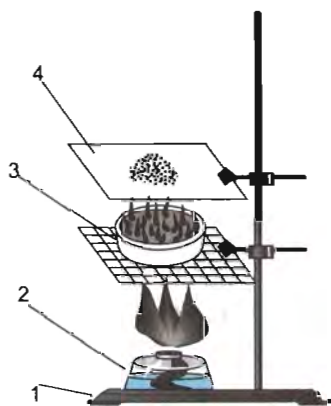


Рис. 69. Установка к заданию 5: 1 — штатив; 2 — спиртовка; 3 — фарфоровая чашка-тигель; 4 — стекло

На чистое стеклышко поместите большую каплю воды. Быстро охладите стеклышко, прижав его к снегу или поместив в морозильную камеру холодильника. С помощью лупы рассмотрите то, что у вас получилось на стеклышке. Объясните причину того, что образовалось. Сделайте зарисовки.

## § 24. УПРУГИЕ И ПЛАСТИЧЕСКИЕ ДЕФОРМАЦИИ. ЗАКОН ГУКА

Механические свойства твердого тела определяются силами взаимодействия между частицами, находящимися в узлах кристаллической решетки. Частицы (атомы, молекулы, ионы) твердых тел находятся на расстоянии  $R \approx d_0$ , при котором силы межмолекулярного (межатомного) притяжения примерно равны силам отталкивания. При сближении частиц начинают преобладать силы отталкивания, а при их удалении — силы притяжения. Это и обуславливает способность твердых тел противодействовать изменению их формы и размеров.

Изменение формы и размеров тела под действием внешней силы называется деформацией (от лат. *deformatio* — искажение).

Деформацию могут испытывать все твердые тела (кристаллические, аморфные, органического происхождения), а также живые организмы.

**Виды деформаций твердых тел.** Различают пять основных видов деформаций: растяжение, сжатие, сдвиг, кручение и изгиб. На рисунке 70, б—е и в таблице 11 приведены различные виды деформаций и их применение (учет, проявление) на практике.

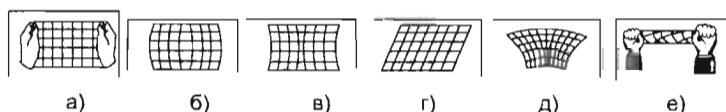


Рис. 70. Различные виды деформаций

Таблица 11

### Различные виды деформаций и их применение

Вид деформации	Изображение	Применение (учет, проявление) на практике
Растяжение	Рис. 70, б	Испытывают тросы подъемных кранов, казатных дорог, буксирные тросы, струны музыкальных инструментов

Вид деформации	Изображение	Применение (учет, проявление) на практике
Сжатие	Рис. 70, в	Подвергаются колонны, стены, фундаменты зданий
Сдвиг	Рис. 70, г	Испытывают заклепки и болты, соединяющие металлические конструкции. Наблюдается при резании ножницами бумаги, картона, листового железа
Изгиб	Рис. 70, д	Испытывают балки перекрытий в зданиях, мостах
Кручение	Рис. 70, е	Возникает при завинчивании гаек, при работе валов машин

Вы знаете, что скелет служит каркасом для многих животных и человека. Скелет человека насчитывает более 200 костей, которые в основном испытывают сжатие и растяжение или изгиб.

**Упругость и пластичность.** Закрепим в тисках стальную пластину, затем согнем ее и отпустим. Мы увидим, что пластинка восстановила свою форму. Если повторить опыт со свинцовой, алюминиевой или медной пластинами таких же размеров, то они при тех же деформациях не восстанавливают полностью свою форму.

Свойство тел изменять форму, размеры под действием внешней нагрузки и восстанавливать исходную конфигурацию после прекращения внешней силы называют упругостью. Деформации, которые полностью исчезают после прекращения действия внешней силы, называют упругими.

Свойство тел частично сохранять деформации при снятии внешней нагрузки называют пластичностью (от греч. *plastikós* — годный для лепки, податливый). Деформации, которые сохраняются после прекращения действия внешней силы, называют пластическими.

Пластические деформации испытывают детали конструкций и сооружений, заготовки при обработке давлением (например, при штамповке), пласты земной коры и другие объекты.

Обычно упругие деформации возникают в теле, если внешняя сила не очень велика и не слишком долго действу-

ет. Строго говоря, в природе нет ни абсолютно упругих, ни абсолютно пластичных тел. Так, если свинцовую и алюминиевую пластины подвергать кратковременной малой деформации, то и они восстанавливают свою форму. С другой стороны, если длительное время деформировать стальную пластину, то она после снятия нагрузки не полностью восстанавливает свою форму.

Упругие свойства материалов используются в строительном деле, машиностроении, приборостроении. Особенно высокие требования предъявляются к материалам, применяемым при изготовлении деталей, подвергающихся многократным нагрузкам. В них нельзя допускать даже малые остаточные деформации. Это достигается не только выбором материала, но и конструкцией детали. Наглядный пример — пружина балансира в механических часах или рессора автомобиля, испытывающая значительные переменные деформации при движении по неровной дороге.

Детали машин и конструкций часто подвергаются сложным деформациям, но их можно рассматривать как различные сочетания деформаций растяжения, сжатия, сдвига, кручения, изгиба. Это учитывается при их изготовлении.

Важно управлять и пластичными свойствами материалов. Многие методы обработки — прокатка, ковка, волочение, прессование металлов — основаны на использовании их пластичности.

**Сила упругости.** При деформации тел изменяется соотношение сил взаимодействия между частицами. Так, при деформации растяжения большие силы взаимного притяжения между частицами препятствуют растяжению тел, при деформации сжатия большие силы отталкивания препятствуют сжатию.

Сила, возникающая при деформации тела и направленная в сторону, противоположную смещению частиц, называется силой упругости.

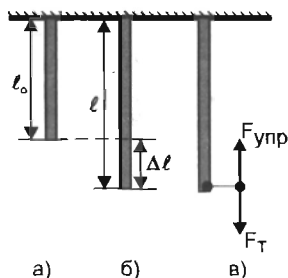


Рис. 71. Растяжение образца

Эта сила — сумма межмолекулярных или межатомных сил, возникающих при деформации.

**Закон Гука.** Возьмем цилиндрический стержень длиной  $l_0$  и площадью поперечного сечения  $S$ . Подвесим его к опоре так, как показано на рисунке 71, а. Под действием внешней силы (мышечного усилия или груза) стержень удлинится до  $l$  (рис. 71, б).

Удлинение образца составило

$$\Delta l = l - l_0,$$

где  $l_0$  — первоначальная длина стержня;  $l$  — его длина при действии внешней силы;  $\Delta l$  — абсолютное удлинение образца.

Найдем отношение абсолютного удлинения стержня к его первоначальной длине:

$$\Delta l/l_0 = \varepsilon,$$

где  $\varepsilon$  — относительное удлинение образца (стержня), безразмерная величина ( $\varepsilon$  — буква греческого алфавита, читается «эпсилон»).

В результате деформации образца (удлинения стержня) в нем возникает сила упругости ( $F_{\text{упр}}$ ), равная внешней силе (силе тяжести ( $F_T$ )) (рис. 71, в). Значение силы упругости зависит от внешней силы и площади поперечного сечения образца. Так, растянуть толстый стержень до заданной длины труднее, чем тонкий.

Величина, численно равная отношению силы упругости, возникающей в образце, к площади поперечного сечения, называется механическим напряжением и обозначается  $\sigma$  ( $\sigma$  — буква греческого алфавита, читается «сигма»).

Из определения механического напряжения получаем расчетную формулу

$$\sigma = F/S,$$

где  $F$  — сила упругости, перпендикулярная площади поперечного сечения образца;  $S$  — площадь поперечного сечения образца.

В Международной системе единиц (СИ) эта величина выражается в паскалях (ньютон на квадратный метр):  $1 \text{ Па} = 1 \text{ Н/м}^2$ .

При малых упругих деформациях ( $\Delta l \ll l_0$ ) механическое напряжение прямо пропорционально относительному удлинению.

Эта зависимость, называемая **законом Гука**, записывается так:

$$\sigma = E \cdot |\varepsilon|.$$

Коэффициент пропорциональности  $E$  называется *модулем упругости* или *модулем Юнга* (от лат. modulus — мера). Он характеризует материал, из которого сделано тело.

Относительное удлинение в формуле взято по модулю, так как закон Гука справедлив как для деформации растяжения ( $\varepsilon > 0$ ), так и для деформации сжатия ( $\varepsilon < 0$ ).



**Юнг Томас** (1773—1829) — английский ученый. Работы относятся к оптике, молекулярной физике, механике, математике, астрономии, геофизике, филологии, зоологии. Объяснил явление аккомодации глаза изменением кривизны хрусталика. В теории упругости исследовал деформацию сдвига, в 1807 г. ввел характеристику материала — модуль упругости (модуль Юнга).

\* **Роберт Гук** (1635—1703) — английский ученый. Работы относятся к молекулярной физике, механике, упругости, оптике, небесной механике. Усовершенствовал микроскоп, открыл клеточное строение организмов. В «Трактате о движении Земли» (1674) высказал идею закона тяготения и предложил свою систему мироздания. В 1665 г. изобрел барометр.

В Международной системе единиц (СИ) модуль упругости выражается в паскалях (Па).

При  $\epsilon = 1$   $\sigma = E$ , т. е. модуль упругости численно равен механическому напряжению, которое возникало бы в образце при его упругом удлинении, равном первоначальной длине.

Значения модуля упругости для некоторых веществ приведены в таблице 12. В таблице значения  $E$  для ряда материалов указаны в некоторых пределах, так как модуль упругости зависит от температуры, структуры, химического состава; на его значение влияют термообработка, радиоактивное облучение и другие факторы.

Таблица 12

**Модуль упругости (модуль Юнга) различных материалов**

(при температуре  $t = 20\text{ }^\circ\text{C}$ )

Материал	$E, 10^9 \text{ Па}$	Материал	$E, 10^9 \text{ Па}$
Алюминий	70,0—71,0	Кирпичная кладка	2,7—3,0
Бетон	14,6—23,2	Лед (при $t = -4\text{ }^\circ\text{C}$ )	10,0
Вольфрам	415,0	Мрамор	56,0—73,0
Гранит	49,0	Органическое стекло	2,9—4,1
Железо	190,0—210,0	Паутина	3,0
Капрон	1,4—2,0	Резина	0,9

Материал	$E, 10^9 \text{ Па}$	Материал	$E, 10^9 \text{ Па}$
Свинец	16,0—17,0	Чугун	115,0—160,0
Сталь	200,0—220,0	Шелковая нить	13,0
Стекло	50,0—60,0	Шерсть	6,0
Хлопок	12,0	Эбонит	3,1

Знание упругих свойств тел необходимо для расчета различных характеристик механизмов и строительных конструкций, а также для выбора способа обработки материалов.

### Пример решения задачи

На рисунке 72 приведен график зависимости механического напряжения образца  $\sigma$  от относительного удлинения  $\epsilon$ . 1) Определите значение модуля упругости для данного материала. 2) Из какого материала изготовлен образец? 3) Напишите уравнение зависимости механического напряжения от относительного удлинения  $\sigma = \sigma(\epsilon)$ , которую выражает данный график.

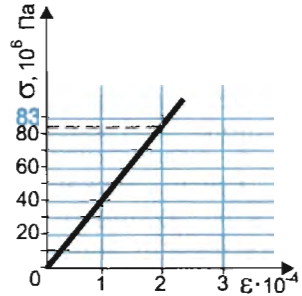


Рис. 72

$$E - ? \quad \sigma = \sigma(\epsilon)$$

$$\begin{aligned} \sigma &= 83 \cdot 10^6 \text{ Па} \\ \epsilon &= 2 \cdot 10^{-4} \end{aligned}$$

### Решение

По графику определяем значения механического напряжения, относительного удлинения и записываем их в краткое условие задачи. Используя закон Гука  $\sigma = E \cdot |\epsilon|$ , выражаем модуль упругости:  $E = \sigma/|\epsilon|$ ,  $[E] = \text{Па}$ .  
Подсчитаем:  $E = 83 \cdot 10^6 / 2 \cdot 10^{-4} = 41,5 \cdot 10^{10} = 415 \cdot 10^9 \text{ (Па)}$ .

По таблице 12 определяем, что образец изготовлен из вольфрама.

Уравнение записывается так:  $\sigma = 415 \cdot 10^9 |\epsilon|$ , Па.

**Ответ.** Модуль упругости равен  $415 \cdot 10^9 \text{ Па}$ ; образец изготовлен из вольфрама; уравнение зависимости механического напряжения от относительного удлинения  $\sigma = 415 \cdot 10^9 |\epsilon|$ , Па.

**?** 1. Что такое деформация тела? Какие виды деформаций вам известны? Приведите примеры учета, проявления, применения различных видов деформаций (желательно не рассмотренные в данном параграфе). 2. Какие деформации считают упругими? пластическими? Приведите примеры. 3. Благодаря каким механическим свойствам твердых тел возможно: а) волочение, прокатка,ковка изделий из металлов; б) действие пружинных



маятников, рессор? 4. Что понимают под силой упругости? Какова причина ее возникновения? Как направлена сила упругости при деформации тела?

● 1. Расскажите об *относительном удлинении* по следующему плану: а) Что характеризует данная величина? б) Какова формула для его расчета? в) В каких единицах выражается эта величина? г) В каком случае  $\epsilon > 0$ ,  $\epsilon < 0$ ? д) Что означает утверждение: «Относительное удлинение равно  $1/2$ ; равно  $1$ ; равно  $12 \cdot 10^6$ »? Реальны ли такие значения?

2. Расскажите о *механическом напряжении* по следующему плану: а) Что характеризует данная величина? б) Каково определение механического напряжения? в) Какова формула для его расчета? г) В каких единицах выражается эта величина? д) Что означает утверждение: «Механическое напряжение в алюминии равно  $3 \cdot 10^7$  Па; в бетоне равно  $30\,000$  Па; в кирпичной кладке равно  $20\,000$  Па»?

3. Расскажите о *законе Гука* по следующему плану: а) Связь между какими величинами выражает закон? б) Сформулируйте его математическое выражение. в) Изобразите график зависимости  $\sigma = \sigma(\epsilon)$ . г) Каковы условия применимости этого закона?

4. Расскажите о *модуле упругости* по следующему плану: а) Что характеризует данная величина? б) В каких единицах она выражается? в) Что означает утверждение: «Модуль упругости гранита равен  $49 \cdot 10^9$  Па; паутины равен  $3 \cdot 10^9$  Па»?

■ 1. Относительное удлинение хлопковой нити составляет  $10^{-4}$ . Рассчитайте механическое напряжение образца. Необходимые данные найдите в таблице 12.

2. Механическое напряжение, которое возникает в гранитном образце при его растяжении, равно  $10^{-4}$  Па. Чему равно относительное удлинение образца? Необходимые дополнительные данные найдите в таблице 12.

3. На рисунке 73 изображены графики зависимости механического напряжения от относительного удлинения для двух образцов 1 и 2. Ис-

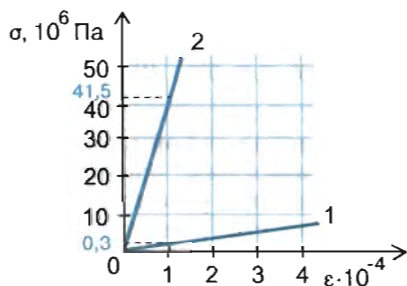


Рис. 73

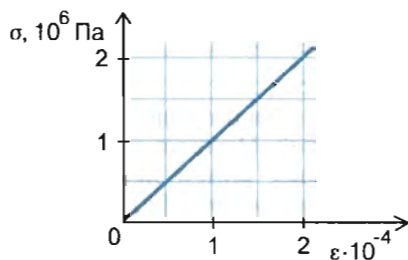


Рис. 74

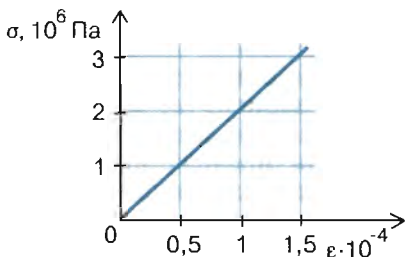


Рис. 75

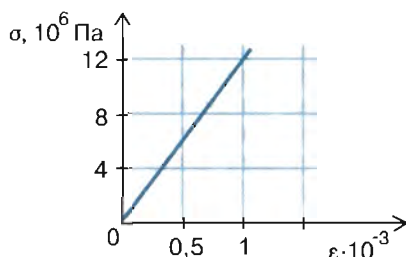


Рис. 76

пользуя график  $\sigma = \sigma(\epsilon)$  и таблицу 12, определите модуль упругости каждого из образцов. Из каких веществ изготовлены образцы?

4. На рисунке 74 приведен график зависимости механического напряжения  $\sigma$  от относительного удлинения  $\epsilon$ . 1) Определите значение модуля упругости для данного материала. 2) Из какого материала изготовлен образец? 3) Напишите уравнение зависимости механического напряжения от относительного удлинения  $\sigma = \sigma(\epsilon)$ , которую выражает данный график.

5. На рисунке 75 представлен график зависимости механического напряжения, возникающего в бетонной свае, от ее относительного сжатия. Используя график, найдите модуль упругости бетона. Сравните полученный результат с табличным значением.

6. На рисунке 76 дан график зависимости механического напряжения образца от относительного удлинения. Определите значение модуля упругости для данного материала. Из какого материала изготовлен образец? Напишите уравнение зависимости  $\sigma = \sigma(\epsilon)$ , которую выражает данный график.

## § 25. ПРОЧНОСТЬ

Спичку или соломинку довольно трудно разорвать, растягивая ее вдоль оси, а, изогнув, очень легко сломать, т. е. в разных направлениях эти тела обладают различными механическими свойствами: вдоль оси они прочные, перпендикулярно оси хрупкие.

**Прочность материала.** Прочность — способность материала сопротивляться разрушению, а также необратимому изменению формы при действии внешних нагрузок.

Прочность твердых тел обусловлена силами взаимодействия между частицами, составляющими тело. Она зависит не только от самого материала, но и от вида деформации тела (растяжения, сжатия, изгиба и т. д.), а также от условий эксплуатации (температуры, длительности нагружения, воздействия окружающей среды, состояния поверхности и др.). В Международной системе единиц (СИ) прочность выражается в паскалях (Па).

Для каждого материала существует постоянное предельное (максимальное) значение прочности, выше которого образец

практически мгновенно разрушается. Это значение считают *пределом прочности материала*.

В таблице 13 приведены пределы прочности некоторых материалов. Значение предела прочности зависит от структуры и химического состава материала, от способа его обработки. Поэтому для ряда материалов значения предела прочности отличаются от средних значений, приведенных в таблице.

Таблица 13

**Пределы прочности материалов при растяжении**  
(ориентировочные значения)

Материал	Предел прочности, $10^6$ Па	Материал	Предел прочности, $10^6$ Па
Алюминий	50—115	Паутина	180
Бетон прочный	48	Сталь	380—470
Вольфрам	1050—4210	Сталь рельсовая	700—800
Гранит	120—260	Стекло	60—120
Железо	170—210	Струна рояльная	1860—2330
Капрон	55—80	Хлопок	
Кирпич	7—30	(волокно)	450
Лед	1	Цинк	130—200
Лен	350	Чугун серый	650—1300
Мрамор	100—180	Шелковая нить	260
Органическое стекло	45—55	Шерсть	110
		Эбонит	30—50

Повышение прочности материалов — одна из важнейших технических задач. Она решается разными путями: термической и механической обработкой, введением в сплавы специальных добавок, радиоактивным облучением, применением различных наполнителей.

\* Созданы композиционные материалы, механические свойства которых превосходят обычные материалы. Композиционные материалы (композиты) состоят из матрицы и наполнителей. В качестве матрицы применяются полимерные, металлические, углеродные или керамические материалы. Наполнители могут состоять из нитевидных кристаллов, волокон или проволоки. В частности, к композиционным материалам относят железобетон, железографит. Вы знаете, что железобетон — один из основных видов строительных конструкций. Это сочетание бетона и стальной арматуры.

Железографит — металлокерамический материал, состоящий из железа (95—98%) и графита (2—5%). Из него изготавливают подшипники, втулки для разных узлов машин и механизмов.

Стеклопластик также композиционный материал, представляющий собой смесь стеклянных волокон и смолы.

Кости человека и животных — это тоже композиционный материал, но состоящий из двух совершенно различных компонентов: коллагена и минерального вещества. Коллаген — один из главных компонентов соединительной ткани (из него в основном состоят все наши сухожилия). Большая часть минерального компонента кости — соли кальция. Атомы кальция составляют 22% общего числа атомов кости. В остальных тканях тела (мышцах, мозге, крови и т. д.) число атомов кальция близко к 12—13%. Если кость подержать достаточно долго в 5%-ном растворе уксусной кислоты, то весь минеральный компонент в ней растворится. Оставшаяся кость, состоящая в основном из коллагена, станет эластичной, как резиновый жгут, и ее можно будет свернуть в кольцо.

❁ Прочны ли наши кости? Чтобы ответить на этот вопрос, сравните механические характеристики различных материалов и кости (табл. 14). Какие выводы вы можете сделать из анализа таблицы? Запишите их в тетрадь.

Таблица 14

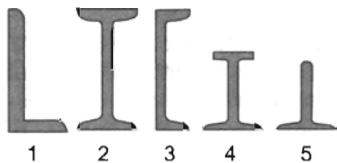
### Механические характеристики различных материалов

Материал	Прочность на сжатие, $10^6$ Па	Прочность на растяжение, $10^6$ Па	Модуль упругости, $10^8$ Па
Бетон	21,0	2,1	165,0
Гранит	145,0	4,8	517,0
Дуб	59,0	117,0	110,0
Кость	170,0	120,0	179,0
Фарфор	552,0	55,0	—

❁ При деформации в середине образца остается слой, который не подвергается ни растяжению, ни сжатию. Рассмотрим это на примере балки, опирающейся на опоры (рис. 77). Балка изгибается так, что ее верхние слои сжимаются, а нижние растягиваются. В середине ее существует слой (а точнее, поверхность), длина которого не изменяется при изгибе. Этот слой называется *нейтральным* (он показан на рисунке 77 штриховой линией). Материал, находящийся в таком слое, не деформируется, а лишь утяжеляет балку. Поэтому часть материала около этого нейтрального слоя можно удалить без ущерба для прочности балки. Данный факт учитывают при изготовлении деталей машин, конструкций, работающих на изгиб. Их выгоднее



Рис. 77. Деформация балки, опирающейся на опоры



**Рис. 78.** Некоторые металлические профили: 1 — угловой; 2 — двутавровый; 3 — швеллерный; 4 — железнодорожный рельс; 5 — тавровый

делать полыми. Замена сплошных стержней и брусков трубами или двутавровыми балками, у которых частично удален средний (нейтральный) слой, дает экономию материала и значительно снижает массу конструкций без ухудшения их механических свойств (рис. 78).

В процессе длительной эволюции живых организмов кости человека, животных и птиц приобрели трубчатое строение при

сохранении прочности их скелета. Наиболее ярко это выражено у птиц. Например, у птицы фрегата, имеющей размах крыльев около 2 м, масса скелета всего около 110 г. Однако и у бескрылых животных кости тоже полые. Измерения показывают, что для самой крупной трубчатой кости скелета — бедренной — отношение внутреннего диаметра поперечного сечения к внешнему у лисицы, человека, льва и жирафа примерно 0,5—0,6. Это дает возможность всем животным приблизительно на 25% уменьшить массу скелета при сохранении той же прочности. Стебли некоторых растений также имеют трубчатое строение.

Изделия из стекла, кварца, фарфора хрупкие. Чугун, мрамор, янтарь также обладают повышенной хрупкостью. **Хрупкость** — свойство материала разрушаться после незначительной деформации. У всех хрупких материалов с увеличением деформации резко возрастает механическое напряжение. Например, чугун разрушается при относительном удлинении  $\epsilon \approx 0,0045$ .

---

? 1. Что такое прочность материала? хрупкость? \* 2. Как в современной технике и в строительстве добиваются облегчения конструкций и экономии материала? \* 3. Используя данные таблицы 13, определите материалы, обладающие наибольшей прочностью. Где они находят применение? \* 4. Приведите примеры растений, стебли которых имеют трубчатое строение.

---

## \*§ 26. АНИЗОТРОПИЯ И ИЗОТРОПИЯ ТЕЛ

Свойства твердых тел определяются структурой кристаллических решеток. Рассмотрим это на примере графита и алмаза. Между ними много общего. Алмаз необычайно тверд, прозрачен, не проводит электрический ток. Графит мягок, легко расслаивается, непрозрачен, электропроводен. Между тем графит и алмаз состоят из одних и тех же частиц — атомов углерода. Различие их свойств связано только с различием кри-

сталлических решеток (см. рис. 68, *в* и *г*). При определенных условиях возможна «перестройка» кристаллической решетки. Если нагреть графит до температуры 2000—2500 °С под давлением  $10^{10}$  Па, то графит превратится в алмаз. Так получают искусственные алмазы.

**Анизотропия и изотропность.** Задумывались ли вы над тем, изменяются ли свойства тел от направления действия силы, различны или одинаковы в разных направлениях упругость и прочность?

Обратимся к жизненному опыту. Когда вы пишете карандашом, то происходит непрерывное расслоение кристалла графита и тонкие его слои остаются на бумаге. Кусок слюды расслаивается в одном направлении на тонкие пластинки (рис. 79). Расслоить же его в направлении, перпендикулярном пластинкам, гораздо труднее (даже трудно разрезать ножом). Примеры убеждают нас в том, что механические свойства твердых тел в разных направлениях различны.

Проведем наблюдение. Для демонстрации опыта возьмем две пластинки (из гипса и стекла) с застывшим на них тонким слоем парафина. В пламени спиртовки нагреем докрасна конец иглы. Вначале коснемся снизу нагретой иглой поверхности гипсовой пластинки. Повторим опыт со стеклянной пластинкой. Результаты наблюдений показывают, что на гипсовой пластинке образуется «проталина» парафина в виде эллипса, а на стеклянной она имеет форму круга (рис. 80). Как видно из опыта, тепловые свойства твердых тел также в разных направлениях различны.

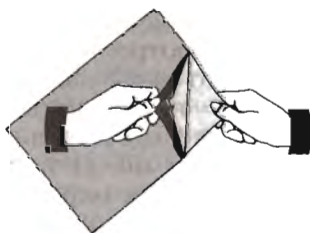


Рис. 79. Расслоение слюды

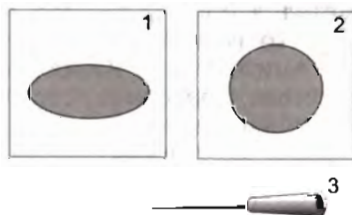


Рис. 80. Проталины на пластинках из стекла и гипса: 1 — пластинка из гипса; 2 — пластинка из стекла; 3 — игла на деревянной ручке

Тела, обладающие различными свойствами в разных направлениях, называются анизотропными (от греч. *ánisos* — неравный, неодинаковый и *trópos* — направление).

Анизотропия характерна для монокристаллов. В зависимости от направления они обладают разной упругостью и разными свойствами. Ярко выраженной анизотропией механических и тепловых свойств обладает асбест. В его моно-

кристаллах имеется всего одно направление повышенной прочности. Поэтому асбест легко расщепляется на нити. Из асбестовых нитей изготавливают несгораемые веревочные пожарные лестницы, несгораемые ткани, из которых шьют спецодежду для работы в горячих цехах.

Тела, физические свойства которых во всех направлениях одинаковы, называются изотропными (от греч. *isos* — равный, одинаковый и *trópos* — направление).

Поликристаллические и аморфные тела изотропны. Как вы знаете, поликристаллические тела состоят из кристаллитов. Они анизотропны. В поликристаллических телах кристаллиты ориентированы хаотично, дальний порядок не распространяется на весь поликристалл, и поэтому не наблюдается анизотропия. Свойства отдельных кристаллитов усредняются по всем направлениям и оказываются одинаковыми. Поэтому поликристаллические тела обычно изотропны. Но при некоторых видах обработки (волочении, прокатке, ковке и др.) может произойти преимущественная ориентация кристаллитов в определенном направлении. Тогда поликристаллическое тело может оказаться анизотропным, так как свойства отдельных кристаллитов не усредняются по всем направлениям. Так, при прокатке листового стали зерна металла ориентируются в направлении прокатки, в результате чего возникает анизотропия механических свойств.

Анизотропия наблюдается также и в некристаллических веществах: древесине, стекле и др. Например, при закалке стекла можно получить анизотропию, которая приводит к упрочнению материала.

**Жидкие кристаллы.** В 1889 г. австрийским ботаником Ф. Рейницером и немецким физиком О. Леманом были открыты органические вещества, которые обладают свойством жидкости — текучестью, но сохраняют определенную упорядоченность в расположении молекул и анизотропию свойств, характерную для монокристаллов. Эти вещества получили название «жидкие кристаллы». В жидких кристаллах существует как ближний, так и дальний порядок в ориентации молекул.

Как же могут существовать жидкие кристаллы, совмещающие в себе прямо противоположные свойства жидкости и кристалла? Дело в том, что жидкость, оставаясь в целом изотропной, может состоять из анизотропных молекул. Молекулы, из которых состоит жидкость, имеют удлиненную форму в виде палочек (рис. 81). Каждая отдельная молекула в этом случае анизотропна. Например, она может пропускать

свет, который распространяется вдоль палочки, и поглощать его, если он распространяется поперек этого направления. Но в жидкости все молекулы-палочки расположены хаотически и в среднем свет поглощается, проходя по разным направлениям одинаково.

Такую ситуацию можно представить, если высыпать коробок спичек в сосуд с водой и хорошо перемешать их.

Тогда мы увидим, что поверхность воды со спичками будет изотропной, т. е. по любому направлению мы пересечем приблизительно одинаковое число спичек, как вдоль, так и поперек их длины.

Представим теперь, что каждая спичка обладает магнитными свойствами, подобно магнитной стрелке. Поместим сосуд с водой в сильное магнитное поле, направленное вдоль поверхности воды. Тогда все спички своими головками вытянутся в одном направлении, и поверхность приобретет анизотропные свойства — направления вдоль и поперек спичек будут обладать различными свойствами. Приобретая анизотропные свойства, жидкость сохранила свои свойства: воду со спичками можно перелить в другой сосуд; она принимает форму того сосуда, в который ее наливают; спички могут свободно перемещаться.

Аналогичные процессы происходят и в некоторых жидкостях, состоящих из анизотропных молекул. Под действием внешних воздействий, в частности электрического поля, тонкие слои жидкости приобретают анизотропные свойства, которые можно использовать в технике. Например, помещая такую жидкость в тонкий зазор толщиной 0,1—0,01 мм между двумя стеклянными пластинками, на которых в одном направлении нацарапаны микроскопические бороздки, добиваются того, что все молекулы выстраиваются вдоль этих бороздок. Такая плоская сборная пластинка (ячейка) хорошо пропускает падающий на нее свет. Если с помощью прозрачных электродов создать на отдельных ее участках электрическое поле, то ориентация молекул в этих местах изменится и изменится способность пропускать свет. Для переориентации молекул в тонком слое жидкого кристалла требуются очень малые затраты электрической энергии, и этот процесс происходит достаточно быстро — за сотые и даже тысячные доли секунды. С помощью слабых электрических сигналов можно управлять пропусканием света слоем жидкого кристалла. Такой принцип реализован в буквенно-цифровых индикато-

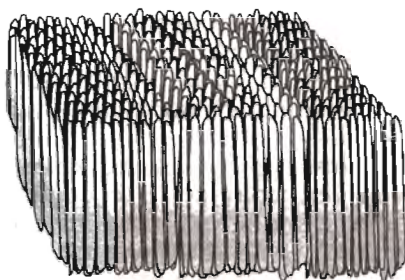


Рис. 81. Молекулы жидких кристаллов



рах (электронные часы, микрокалькуляторы, термометры), используют для создания жидкокристаллических экранов телевизоров, малогабаритных дисплеев компьютеров, информационных стендов на железнодорожных вокзалах и в аэропортах.

Некоторые жидкие кристаллы изменяют цвет при различной температуре. Это свойство используется в медицине для определения участков тела с повышенной температурой и в технике для контроля качества микроэлектронных схем.

Реальные процессы, которые происходят в жидкокристаллических ячейках, значительно сложнее и многообразнее, чем описанная выше модель. Поэтому в настоящее время жидкие кристаллы интенсивно исследуются учеными, а инженеры находят все более широкие и интересные возможности их применения в самых разнообразных устройствах.

---

**?\*** 1. Что такое анизотропия? Приведите примеры, подтверждающие анизотропию свойств тел. 2. Что такое изотропия? Приведите примеры тел, обладающих изотропными свойствами. 3. Металлы и сплавы имеют кристаллическую структуру, однако на практике анизотропия механических, тепловых, световых, электрических свойств у них проявляется довольно редко. Почему? 4. Жидкие кристаллы нашли широкое применение в быту, технике. Какими свойствами они обладают? Ответ обоснуйте.

---

**●\*** Используя текст § 23, 25 и рисунок 68, *в* и *г*, ответьте на вопросы.

- 1) Что объединяет элементарные ячейки графита и алмаза?
- 2) Что вам известно о свойствах графита и алмаза?
- 3) Во сколько раз различаются расстояния между атомами графита внутри слоев и между слоями? Влияет ли это на силу взаимодействия между частицами?
- 4) Приведите примеры использования графита и алмаза.

## **§ 27. ПЛАВЛЕНИЕ И ОТВЕРДЕВАНИЕ ТВЕРДЫХ ТЕЛ**

Процесс плавления играет важную роль в природе: плавление снега и льда на поверхности Земли, плавление минералов в ее недрах.

Плавление — переход вещества из твердого состояния в жидкое.

Вы неоднократно наблюдали процесс отвердевания воды — образование льда.

Отвердевание — переход вещества из жидкого состояния в твердое.

Одна из основных характеристик плавления и отвердевания чистых веществ — температура, при которой они происходят. Для доказательства этого утверждения выполните лабораторную работу.

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 8

### ПЛАВЛЕНИЕ КРИСТАЛЛИЧЕСКИХ ТЕЛ

*Приборы и материалы:* стакан (пробирка), наполненный льдом, термометр, спиртовка (или другой нагреватель), спички, штатив, часы.

◆ 1. Расположите приборы так, как показано на рисунке 82 (1 — лед, 2 — термометр).

2. Зажгите спиртовку и начните наблюдать за изменением температуры льда с течением времени.

3. Обратите внимание на температуру, при которой начинается процесс плавления льда.

4. После того как весь лед расплавится, наблюдайте за изменением температуры еще 5 мин.

5. Погасите спиртовку. Пронаблюдайте за изменением температуры воды.

6. Результаты наблюдений занесите в таблицу.

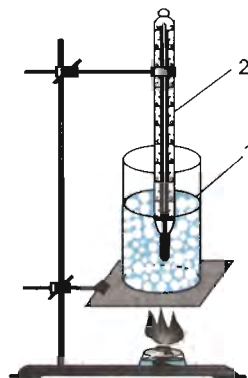


Рис. 82

Время, мин	Температура, °С

7. По данным таблицы постройте график изменения температуры со временем (по оси абсцисс отложите время, по оси ординат — температуру).

8. Определите по графику: а) при какой температуре плавится лед; б) как долго длится плавление; в) до какой температуры было нагрето вещество в жидком состоянии. Результаты анализа запишите в тетрадь.

9. Ответьте: какого цвета лед до начала плавления? во время плавления? после отвердевания?

**Что происходит при плавлении твердого тела?** Рассмотрим упрощенную модель плавления и отвердевания кристаллического тела.

По мере нагревания кристаллического тела средняя энергия его молекул увеличивается за счет возрастания средней кинетической энергии. Увеличивается также потенциальная энергия молекул (атомов, ионов), так как увеличивается амплитуда колебания частиц около положения равновесия.

После того как достигнута температура плавления, вся подводимая энергия идет на разрыв межмолекулярных (межатомных) связей, разрушение кристаллической решетки, т. е. увеличивается потенциальная энергия. До тех пор пока не разрушится кристаллическая решетка, температура тела не изменится.

Температура, при которой вещество плавится, называется температурой плавления вещества.

После того как все кристаллическое тело расплавится и превратится в жидкость, температура снова повышается. Если прекратить нагревание, то жидкость охлаждается и при температуре, равной температуре плавления, начинается процесс отвердевания вещества. При достижении температуры отвердевания кристаллическая решетка восстанавливается, также восстанавливаются межатомные (межмолекулярные) связи. Потенциальная энергия молекул (атомов) в процессе отвердевания (кристаллизации) уменьшается, а кинетическая энергия остается неизменной. До тех пор пока кристаллическая решетка не восстановится, температура тела не изменится.

Температура, при которой вещество отвердевает (кристаллизуется), называется температурой отвердевания (кристаллизации).

При отвердевании вещества тепло выделяется и передается окружающим телам. После восстановления кристаллической решетки при дальнейшем охлаждении температура твердого тела понижается.

Эксперимент показывает, что вещества отвердевают (кристаллизуются) при той же температуре, при которой они плавятся. При постоянном внешнем давлении температура плавления и кристаллизации чистого вещества постоянна. На рисунке 83 представлены графики нагревания и охлаждения чистых веществ при постоянном давлении. Для сплавов графики имеют более сложный характер.

Определенная температура плавления и кристаллизации — важный признак кристаллического строения твердых тел. По этому признаку их легко можно отличить от аморфных тел, которые не имеют определенной температуры плавления и кристаллизации. Аморфные твердые тела переходят в жид-

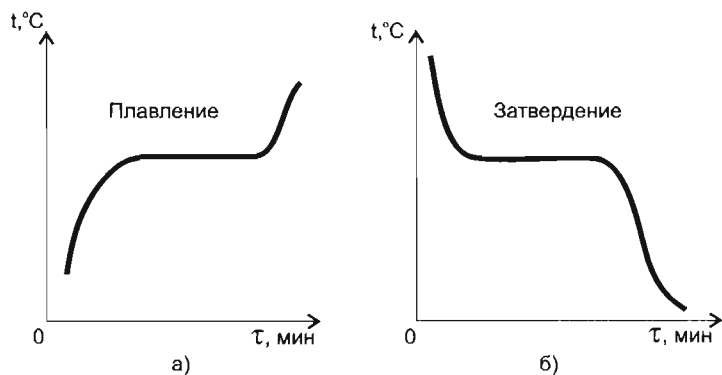


Рис. 83

кое состояние постепенно, размягчаясь при повышении температуры. Эта особенность обусловлена отсутствием у вещества в аморфном состоянии строгой периодичности в расположении частиц (атомов, молекул, ионов и их групп) на протяжении сотен и тысяч периодов.

Некоторые значения температуры плавления различных веществ, чистых металлов и сплавов приведены в таблицах 17 и 18.

Таблица 17

**Температура плавления различных веществ**  
(при нормальном атмосферном давлении)

Вещество	$t_{пл}, ^\circ\text{C}$	Вещество	$t_{пл}, ^\circ\text{C}$
Азот	-210,0	Кровь	-0,57
Алмаз	>3500,0	Молоко цельное	-0,6
Вода	0,0	Нафталин	80,3
Водород	-259,1	Соль поваренная	770,0
Воздух	-213,0	Спирт этиловый	-114,7
Глицерин	18,0	Стеарин	71,6
Иод	113,5	Эфир этиловый	-116,0
Кислород	-218,4	Янтарь	>350

Таблица 18

**Температура плавления веществ**  
(при нормальном атмосферном давлении)

Вещество	$t_{пл}, ^\circ\text{C}$	Вещество	$t_{пл}, ^\circ\text{C}$
<i>Чистые вещества</i>		<i>Сплавы</i>	
Алюминий	660,4	Дуралюмин	≈650,0
Вольфрам	3420,0	Инвар	1425,0

Вещество	$t_{пл}, ^\circ\text{C}$	Вещество	$t_{пл}, ^\circ\text{C}$
<i>Чистые вещества</i>		<i>Сплавы</i>	
Железо	1539,0	Карбид титана	3150,0
Калий	63,6	Константан	$\approx 1260,0$
Медь	1084,5	Латунь	$\approx 1000,0$
Натрий	97,8	Сплав Вуда	60,5
Олово	231,9	Нейзильбер	$\approx 1100,0$
Платина	1772,0	Нихром	$\approx 1400,0$
Ртуть	-38,9	Сталь	$\approx 1400,0$
Свинец	327,5	Фехраль	$\approx 1460,0$
Цезий	28,4	Чугун	$\approx 1200,0$

Температура плавления зависит от давления (табл. 19).

Таблица 19

**Температура плавления некоторых веществ  
при различном давлении**

Вещество	$p, 10^6 \text{ Па}$	$t_{пл}, ^\circ\text{C}$
Азот	0,1	-209,9
	100	-190,9
	600	-124,0
Висмут	0,1	271,3
	100	267,5
	1000	228,8
Нафталин	0,1	80,0
	58	100,0
Лед	0,1	0,0
	13	-1,0
	61	-5,0
	113	-10,0
	197	-20,0
	1000	75,4
Ртуть	0,1	-38,9
	200	-28,7
	1000	12,1

\* Вероятно, многие из вас наблюдали высыхание влажного белья на морозе. Вначале оно замерзает, а затем лед испаряется, и белье становится сухим.

Переход вещества из твердого состояния в газообразное, минуя жидкое состояние, называется возгонкой или сублимацией (от лат. *sublimo* — возношу).

Сублимация характерна для иода, брома, нафталина, камфоры. Углекислый газ при нормальном атмосферном давлении не может существовать в жидком состоянии. Для него сублимация — обычный переход. Твердый углекислый газ называют «сухим льдом». «Сухой лед» получают в результате сильного охлаждения и сжатия углекислого газа. Куски «сухого льда» вы, конечно, видели — они являются охладителем для мороженого. Температура твердой углекислоты («сухого льда») равна  $-78,9^{\circ}\text{C}$ . Прилегающие к «сухому льду» слои воздуха быстро охлаждаются и могут снизить температуру в холодильной камере до  $-70^{\circ}\text{C}$ . Твердая углекислота при комнатной температуре воздуха быстро испаряется, минуя жидкое состояние.

? 1. Какой процесс называют плавлением? отвердеванием (кристаллизацией)? Приведите примеры. 2. При каких условиях происходит процесс плавления (отвердевания) вещества? 3. Почему в таблицах температур различных веществ нет температур плавления смолы?

● 1. Объясните процесс плавления вещества. При каком условии может осуществляться процесс плавления?

2. Объясните процесс кристаллизации вещества. При каком условии может осуществляться процесс кристаллизации?

3. Используя данные таблиц 17 и 18, ответьте на следующие вопросы: 1) При какой температуре «замерзает» ртуть? 2) При какой температуре отвердевает спирт? 3) Почему в холодных районах для измерения температуры наружного воздуха применяют спиртовые термометры, а не ртутные? 4) Какие металлы и сплавы можно расплавить в медном тигле? 5) В каком состоянии (твердом, жидком или газообразном) находятся алюминий, кадмий, нафталин, цезий, олово, лед, платина при температуре  $150^{\circ}\text{C}$  (при нормальном атмосферном давлении)? 6) Можно ли на газовой плите в стальной ложке расплавить кусок свинца? 7) Какое из веществ можно было бы «расплавить» в ладони?

4. Сравните график нагревания чистых веществ (см. рис. 83, а) с графиком изменения температуры со временем для льда, полученным в лабораторной работе 8.

5. Используя данные таблицы 19, ответьте на следующие вопросы: 1) Что можно сказать о температуре плавления азота, нафталина, ртути с повышением внешнего давления? 2) У каких веществ с повышением давления понижается температура плавления? 3) Может ли температура плавления льда быть выше  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ ?

1. На рисунке 84 представлен график зависимости температуры от времени. Определите: а) какой процесс изображен на графике и для какого вещества; б) какую температуру имело вещество в начальный момент наблюдения; в) через какое время следовали друг за другом отсчеты температуры; г) через сколько времени после начала наблюдения температура вещества достигла  $40\text{ }^{\circ}\text{C}$ ; д) сколько времени продолжался процесс перехода вещества из одного агрегатного состояния в другое.

2. По графику зависимости изменения температуры вещества от времени (рис. 85) определите: а) какие процессы изображает график и для какого вещества; б) через какое время следовали друг за другом отсчеты температуры; в) сколько времени продолжался процесс перехода вещества из одного агрегатного состояния в другое; г) в каком состоянии находилось вещество на участках  $AB$ ,  $BC$ ,  $CD$ .

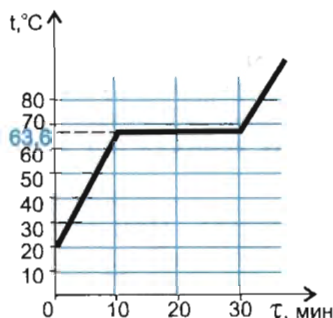


Рис. 84

3. По графику изменения температуры вещества от времени (рис. 86) определите: а) какую температуру имело вещество в начальный момент наблюдения; б) через какое время следовали друг за другом отсчеты температуры; в) через какое время после начала наблюдения температура вещества достигла  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ ; г) какие процессы изображает график и для какого вещества; д) в каком состоянии находилось вещество на участках  $AB$ ,  $BC$ ,  $CD$ .

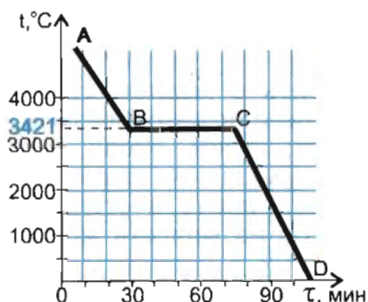


Рис. 85

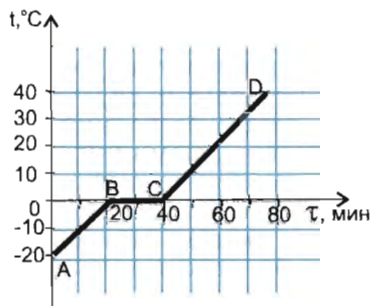


Рис. 86

◆\* В круглодонной колбе находятся кристаллики иода, сверху колба плотно закрыта резиновой пробкой (рис. 87).

1. Выскажите гипотезу и запишите, что произойдет с кристалликами иода при нагревании колбы в пламени спиртовки.

2. Слегка нагрейте дно колбы в пламени спиртовки. Что вы наблюдаете?

3. Охладите колбу. Что вы наблюдаете при охлаждении колбы? Результаты наблюдений запишите.

4. Подтвердилась ли ваша гипотеза?

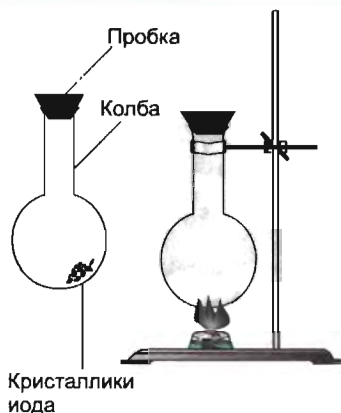


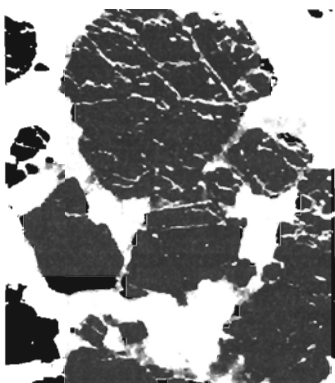
Рис. 87

## \*§ 28. КРИСТАЛЛЫ В ПРИРОДЕ

Вопрос о происхождении большинства минералов в природе тесно связан со сложной проблемой образования, развития Солнечной системы и планет. С гипотезами происхождения Солнечной системы вы ознакомитесь в старших классах. Отметим только, что возраст планеты Земля оценивается в  $4,5 \cdot 10^9$  (4,5 миллиарда) лет. Согласно гипотезе происхождения Земли (и Солнечной системы в целом), планеты возникли из огромного газопылевого диска, окружающего еще молодое Солнце. За счет различных причин Земля стала разогреваться. Это привело к частичному расплавлению земных недр. При высокой температуре произошло разделение пород: менее плотные породы типа гранитов всплыли на поверхность, под ними расположился слой более плотных базальтов и еще ниже — породы, слагающие мантию. Тяжелые элементы образовали ядро планеты. Газы, освободившиеся при расплавлении шестства верхнего слоя, образовали атмосферу Земли. При последующем остывании планеты расплавленные слои затвердели и образовали земную кору.

**Образование горных пород и минералов.** Вы знаете, что под толщей земной коры вещество мантии находится в расплавленном состоянии. На границах литосферных плит, расколов в земной коре это вещество может подниматься вверх по трещинам и переходить в жидкое состояние — магму. Магма — это расплавленная порода, насыщенная газами и парами. При охлаждении в ней сначала образуются кристаллы того вещества, температура кристаллизации которого самая высокая. По мере охлаждения магмы происходит кристаллиза-





**Рис. 88.** Поверхность излома горной породы

ция других минералов, обладающих более низкой температурой кристаллизации. Минерал (от лат. *minera* — руда) — природное тело, однородное по составу и свойствам, образующееся в результате сложных процессов в глубинах и на поверхности Земли. Известно около 3 тыс. видов минералов. На рисунке 88 показана поверхность излома горной породы (так выглядит горная порода при рассмотрении ее в лупу).

◆ Рассмотрите в лупу поверхность горной породы гранита.

Вероятно, вы обратили внимание на красные или сероватые частицы гранита — это минерал полевой шпат, блестящие пластинки — минерал слюда, полупрозрачные зерна — минерал кварц. Рассматривая зернистую поверхность гранита, можно сделать вывод о том, какой из входящих в его состав минералов образовался раньше других. Зерна одних крупнее и имеют форму правильных кристаллов, так как кристаллы других минералов не мешали им расти. Зерна минералов, образовавшихся позднее, мельче и имеют случайную форму, так как для их роста остались лишь промежутки между зернами ранее выросших кристаллов. Чем медленнее понижается температура магмы, тем крупнозернистее минерал. Мелкозернистые минералы образуются при более быстром охлаждении.

В период образования планеты при затвердении земной коры объем ее уменьшался и в ней появились трещины и пустоты. В таких пустотах практически беспрепятственно происходил рост кристаллов. В них часто находят крупные и хорошо ограненные кристаллы кварца, пластинчатые кристаллы слюды и других минералов.

Некоторые минералы возникли из перенасыщенных водных растворов. Наиболее знаком нам минерал каменная соль (хлорид натрия или поваренная соль). Толщина ее пластов, образовавшихся при испарении воды соленых озер, достигает в некоторых месторождениях нескольких сотен метров.

Каждый знает, как образуются кристаллы из водяного пара. Снежинки, морозные узоры на стеклах окон и иней (см. вклейку VIII), украшающий зимой голые ветви деревьев, представляют собой кристаллики льда. Аналогично образуются кристаллы некоторых минералов. Например, при остыва-

нии магмы пары соединений борного ангидрида, оседая на стенках пустот и трещин, образуют кристаллы турмалина, иногда достигающие 2—3 м длины. На стенах кратеров «курящихся» вулканов образуются кристаллы серы, хлористого аммония и других веществ.

В Москве в Минералогическом музее хранится около 130 тыс. образцов минералов, встречающихся в России и за рубежом.

Минералы входят в состав метеоритов, они существуют на поверхностях Луны, Меркурия, Венеры, Марса и ряда спутников планет. С помощью советских автоматических станций «Луна-16», «Луна-20» и «Луна-24» (1970—1976) и экспедиций американских астронавтов (1969—1972) были взяты образцы лунного грунта и доставлены на Землю (см. вклейку IV). Так лунные минералы попали в руки специалистов.

**Кристаллы и жизнь.** Обычно кристалл служит символом неживой природы. Однако грань между живым и неживым очень трудно установить. Понятия «кристалл» и «жизнь» не являются взаимоисключающими. Простейшие живые организмы — вирусы — могут соединяться в кристаллы. В кристаллическом состоянии они не обнаруживают никаких признаков живого, так как в кристаллах не могут протекать сложные жизненные процессы. При изменениях же внешних факторов среды на более благоприятные (такowymi для вирусов являются условия внутри клеток живого организма) они начинают двигаться, размножаться.

Многие кристаллы — продукты жизнедеятельности организмов. Так, драгоценный камень жемчуг шарообразной или неправильной формы развивается в теле некоторых моллюсков. Жемчуг имеет поликристаллическое строение.

Вода — жидкий минерал. В морской воде растворено много различных солей. Организмы, населяющие моря, строят свои раковины и скелеты из углекислого кальция и кремнезема. Выпадая в осадок, раковины, панцири и скелеты умерших организмов образуют мощные пласты осадочных горных пород. К ним относятся песчаники, глинистые сланцы, известняки. Рифы и целые острова в океанах сложены из кристалликов углекислого кальция, составляющих основу скелета беспозвоночных животных — коралловых полипов. Мрамор — горная порода, которая возникла в результате преобразования известняков.

На рисунке 89 вы видите многократно увеличенное изображение отолитов. Отолиты — кристаллы углекислого и фосфорно-кислого натрия (от греч. *ōtós* — ухо и *lithos* — камень). Они являются частью вестибулярной системы у некоторых беспозвоночных, всех позвоночных и человека. Отолиты находятся во внутреннем ухе человека.



**Рис. 89.** Изображение отолитов

чение десятков и сотен лет. Значит, в клетках живого организма имеется что-то постоянное, способное управлять химическими процессами, происходящими в них. Носителями информации о живой клетке, оказались молекулы дезоксирибонуклеиновой кислоты (ДНК). ДНК точно воспроизводится при делении клеток, что обеспечивает в ряду поколений клеток и организмов передачу наследственных признаков и специфических форм обмена веществ. С полным основанием можно сказать, что молекула ДНК — основа жизни. Диаметр молекулы  $2 \cdot 10^{-9}$  м, а длина может достигать нескольких сантиметров. Такие гигантские молекулы с точки зрения физики рассматриваются как особый вид твердого тела — одномерные аперриодические кристаллы (приставка «а» означает «не»).

Кристаллы — это не только символ неживой природы, но и основа жизни на Земле.

---

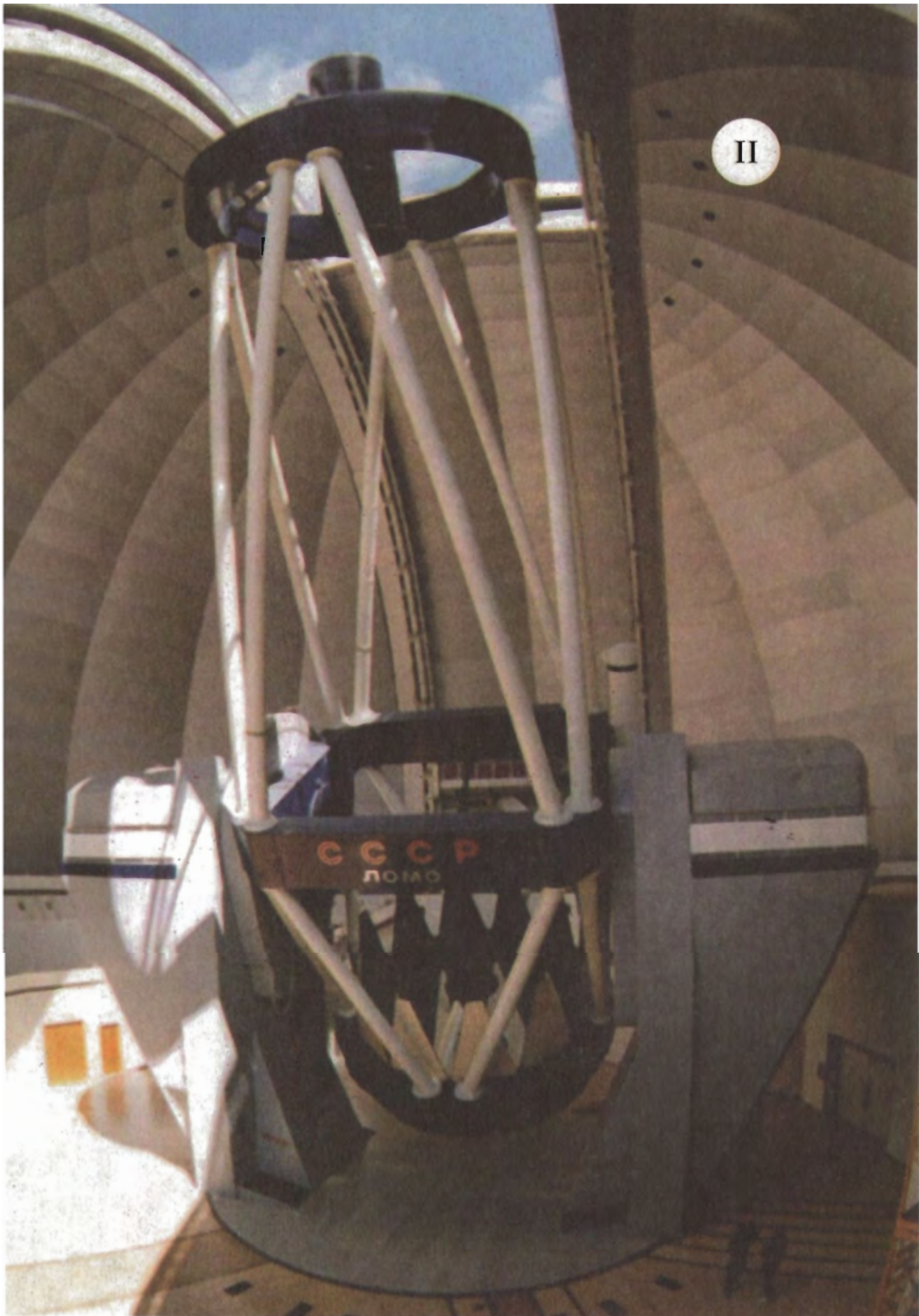
## **Глава 2. ОСНОВЫ ТЕРМОДИНАМИКИ**

### **§ 29. СОЛНЕЧНОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ И ЖИЗНЬ НА ЗЕМЛЕ**

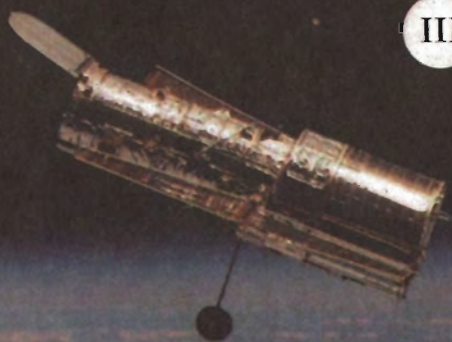
**Что изучает термодинамика?** Слово «термодинамика» состоит из двух греческих слов: *thermē* — теплота и *dynamikos* — сильный, мощный. Термодинамика возникла как наука о превращении тепла в механическое движение, в работу.



Наша планета из космоса:  
суша, вода, облака



Самый большой в Европе оптический телескоп  
(Карачаево-Черкессия, Россия)



Орбитальный космический телескоп  
им. Хаббла (НАСА)



Международная космическая станция  
над Землей



Американские астронавты на поверхности Луны



Лунный модуль  
«Аполлон-11»



Автоматическая  
станция «Луна-11»

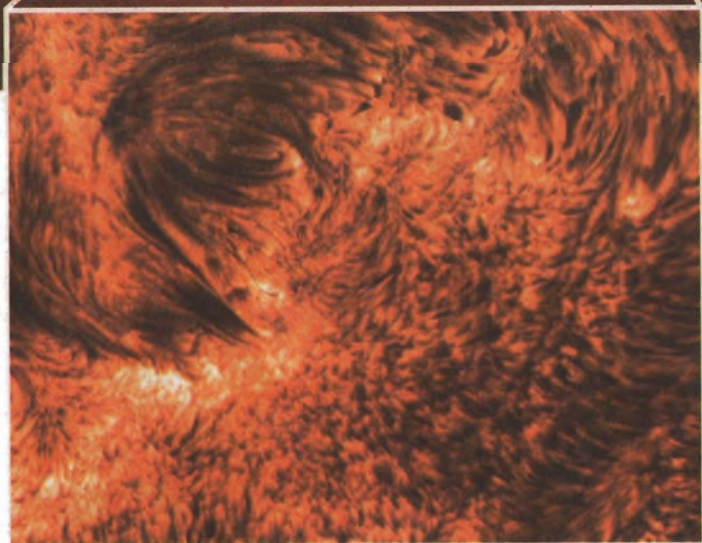


Фрагмент лунной поверхности

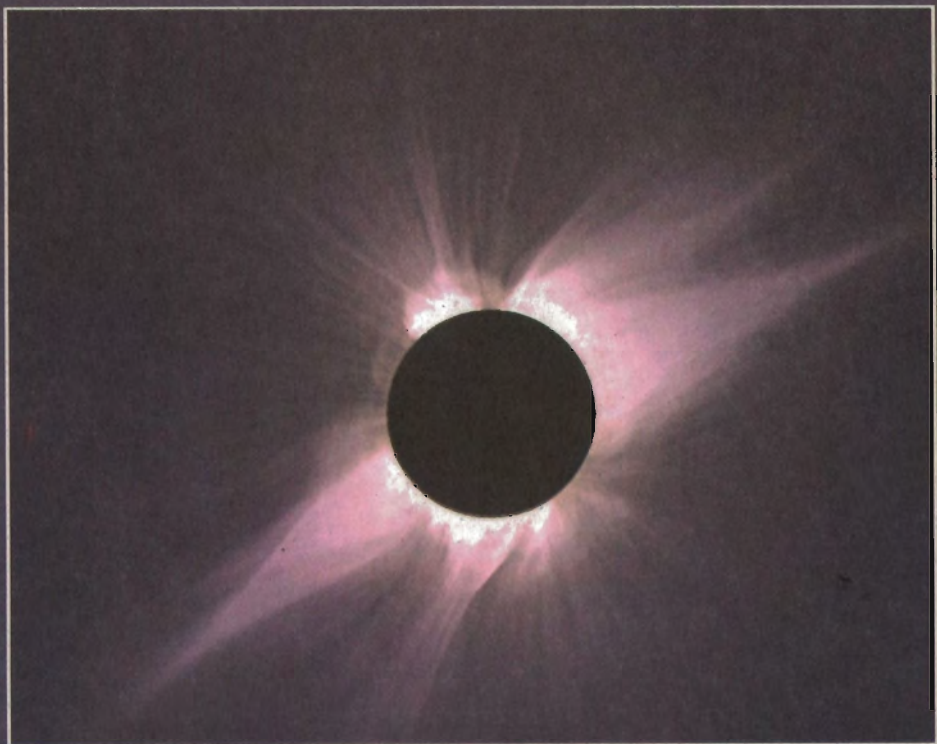
V

Солнце

Поверхность  
Солнца –  
спикулы







Полное солнечное затмение.  
Диск Солнца закрыт Луной, и становится  
видна горячая внешняя атмосфера  
Солнца — солнечная корона

Комета



Ядро кометы

# Кристаллы

VIII



Кристаллы берилла  
и аквамарина



Друза  
кристаллов  
аметиста



Иней



Кристаллы горного  
хрусталя

В процессе своего развития термодинамика стала фундаментальной наукой. Объектом ее исследования являются практически любые превращения материи, связанные с выделением или поглощением энергии, совершением работы, переносом вещества. Термодинамика изучает процессы расширения и сжатия, нагревания и кристаллизации, испарения и конденсации, теплового излучения и др.

Термодинамика отвечает на три главных вопроса:

1. Возможен ли данный процесс при данных условиях?
2. Если процесс возможен, то в каком направлении он происходит?
3. Чем процесс заканчивается?

**Излучение звезд.** Всякое, даже слабо нагретое тело излучает тепло. Звезды — это массивные горячие газовые шары. Они настолько удалены от нас, что видны лишь как слабо-светящиеся точки на фоне темного ночного неба. С помощью телескопов на небе можно наблюдать миллиарды отдельных звезд.

Звезды — важнейшие астрономические объекты: в них сосредоточено более 95% всего вещества, наблюдаемого в природе. Изучая, как звезды и их скопления распределены в пространстве, ученые исследуют тем самым строение окружающего нас мира, структуру Вселенной.

Звезды обладают колоссальным запасом энергии. Источником энергии, получаемой большинством звезд, служат реакции превращения водорода в гелий, происходящие в их недрах. Звезды светятся потому, что их наружные слои нагреты и имеют температуру, равную тысячам градусов. Чем выше температура звезды, тем большую энергию она излучает в окружающее пространство. От температуры зависит и цвет звезды. В сравнительно холодных звездах преобладает излучение в красной области сплошного спектра, отчего они и имеют красноватый цвет. Температура таких звезд сравнительно низкая. Она повышается при переходе от красных звезд к оранжевым, затем к желтым, белым и голубоватым. В такой же последовательности меняется цвет при нагревании металла. Температуры большинства звезд заключены в пределах от 3000 до 30 000 °С. У немногих звезд встречается температура около 100 000 °С.

В таблице 20 для некоторых звезд приведены приближенные значения температуры их внешних слоев и цвет.

Таблица 20

Название звезды	Температура поверхностных слоев, °С	Цвет звезды
α-Ориона (Бетельгейзе)	≈2600	Красноватый
β-Близнецов (Поллукс)	≈4300	Оранжевый

Название звезды	Температура поверхностных слоев, °С	Цвет звезды
α-М. Медведицы (Полярная)	≈5600	Желтоватый
Солнце	5770	Желтоватый
α-Б. Пса (Сириус)	≈10 000	Белый
α-Девы (Спика)	≈25 000	Голубоватый

**Солнечное излучение и жизнь на Земле.** Жизнь на Земле зависит от энергии, излучаемой Солнцем. Около 1/3 солнечной энергии отражается обратно в космическое пространство, а 2/3 солнечного излучения проходит сквозь атмосферу и доходит до Земли. Около 1% всей солнечной энергии расходуется на фотосинтез растений, в результате которого образуется кислород, необходимый для живых организмов. Большая часть солнечного излучения рассеивается в атмосфере, поглощается Землей и превращается в тепло. Солнечная энергия согревает Землю, вызывает ветры и бури, рождает океанские и морские течения (рис. 90). Атмосфера Земли сравнительно прозрачна для солнечного излучения, но сильно поглощает невидимое тепловое излучение земной поверхности и возвращает большую часть его обратно. Теплое воздушное «одеяло» тем самым не позволяет Земле остывать. Благодаря этому температура на нашей планете поддерживается в пределах, необходимых для жизни живых организмов.

Диапазон температур, приемлемых для жизни, составляет очень малую часть всего известного человеку набора температур на нашей планете. Верхний предел диапазона определяется тем, что с повышением температуры в результате испарения усиливается потеря воды, без которой не могут протекать основные биохимические процессы и обмен веществ в клетках. При температуре выше 40—50 °С нарушается деятельность ферментов, начинается разрушение белковых комплексов. Встречаются, однако, низшие организмы, которые приспособились к жизни в горячих источниках с температурой 70—90 °С. Нагревание до температуры кипения воды выдерживают лишь споры и другие формы, почти не содержащие воды. Граница жизни при низких температурах менее определена. Область активной жизни должна лежать выше 0 °С (температура замерзания воды). На Земле существует немало животных, которые при наступлении неблагоприятных условий впадают в спячку. При этом обмен веществ снижается, клетки становятся устойчивыми к холоду и организм приобретает способность переносить очень низкие температуры, а иногда и замерзание. Такая способность живых организмов чрезвычайно расширяет границы жизни и возможность к ее распространению во Вселенной.

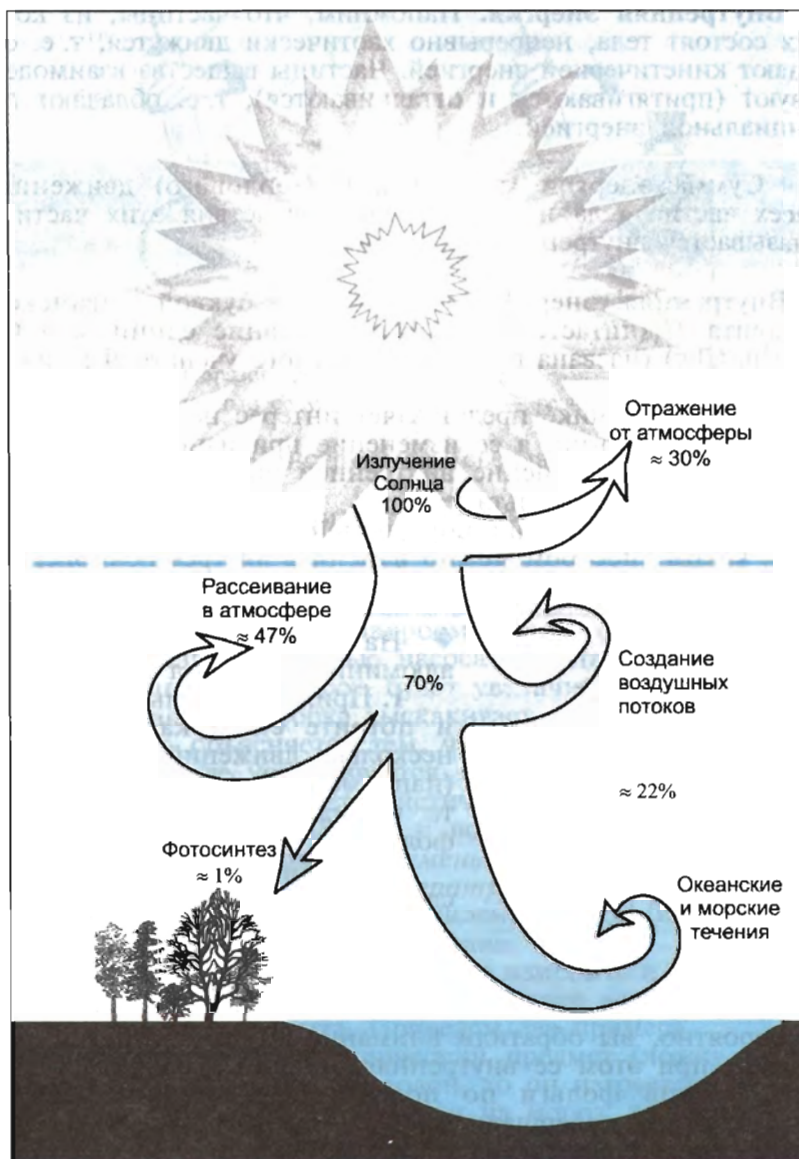


Рис. 90. Распределение солнечного излучения на Земле

## § 30. ВНУТРЕННЯЯ ЭНЕРГИЯ. СПОСОБЫ ИЗМЕНЕНИЯ ВНУТРЕННЕЙ ЭНЕРГИИ

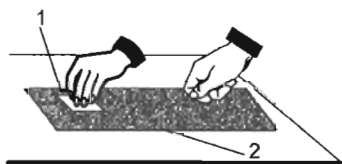
**Внутренняя энергия.** Напомним, что частицы, из которых состоит тела, непрерывно хаотически движутся, т. е. обладают кинетической энергией. Частицы вещества взаимодействуют (притягиваются и отталкиваются), т. е. обладают потенциальной энергией.

Сумма энергии хаотического (теплового) движения всех частиц тела и энергии взаимодействия этих частиц называется внутренней энергией.

Внутренняя энергия обозначается буквой латинского алфавита  $U$  (читается «у»). Наименование единицы в СИ джоуль (Дж) (названа в честь английского ученого Джеймса Джоуля).

В термодинамике представляет интерес не само значение внутренней энергии, а ее изменение при изменении состояния системы. Изменение внутренней энергии обозначается так:  $\Delta U$  (читается «дельта у»).

**Способы изменения внутренней энергии.** Чтобы выяснить, каким способом можно изменить внутреннюю энергию тела, выполните экспериментальное задание.



**Рис. 91.** Наблюдение изменения внутренней энергии тел при совершении работы: 1 — алюминиевая фольга; 2 — картон

◆ На рисунке 91 изображены алюминиевая фольга 1 и картон 2.

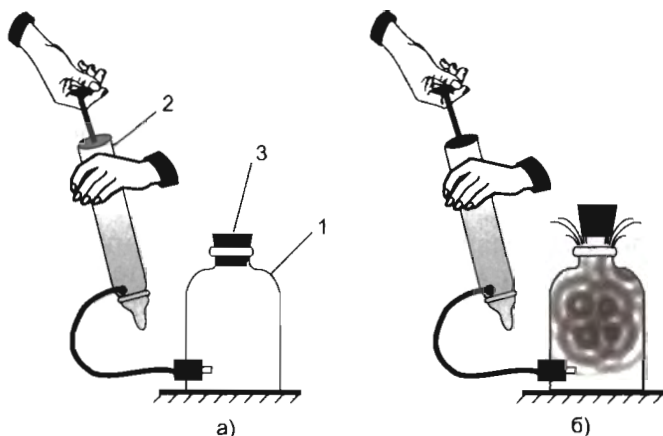
**1.** Прижмите фольгу к картону и потрите ею о картон, сделав несколько движений вперед-назад (например, 15 движений). Обратите внимание, что произошло с фольгой.

**2.** Потрите фольгу о картон, сделав 30 движений. Что изменилось при этом?

**3.** Результаты эксперимента запишите в тетрадь.

Вероятно, вы обратили внимание на то, что фольга нагрелась; при этом ее внутренняя энергия увеличилась. Для перемещения фольги по поверхности вы прикладывали силу, а значит, совершали работу. Следовательно, *увеличить внутреннюю энергию тела можно при совершении работы  $A$ .*

Увеличение внутренней энергии при совершении работы наблюдается в технике. При обработке металлов — сверлении, обточке — за счет работы сил трения повышается тем-



**Рис. 92.** Образование тумана в сосуде:

1 — стеклянный сосуд; 2 — насос; 3 — резиновая пробка

пература как самого инструмента (сверла, резца), так и обрабатываемой детали.

А можно ли уменьшить внутреннюю энергию тела? Для доказательства или опровержения этого предположения проделаем опыт. Возьмем толстостенный стеклянный сосуд 1, соединенный с насосом 2 (рис. 92). Внутри сосуда накапаем несколько капель воды. Закроем сверху сосуд резиновой пробкой 3. Если с помощью насоса нагнетать воздух внутрь сосуда, то давление воздуха будет увеличиваться. При определенном давлении пробка выскакивает, и в сосуде образуется туман. Это объясняется тем, что при нагнетании воздуха давление в сосуде увеличивается. Когда пробка выскакивает из сосуда, она приобретает кинетическую энергию за счет работы, совершаемой воздухом и водяным паром. При этом *внутренняя энергия воздуха уменьшается, что сопровождается понижением его температуры*. Вследствие понижения температуры водяной пар конденсируется, образуя мельчайшие капельки воды в виде тумана.

Внутреннюю энергию тела можно изменить и не совершая работу. Этот способ изменения внутренней энергии вам знаком из жизненного опыта. Приведем два примера.

1. Если опустить металлический предмет (ложку, вилку, нож) в кастрюлю с горячей водой, то он нагреется.

2. Если сосуд с водой вынести на мороз, то вода охлаждается, а затем превращается в лед.

При контакте двух тел с разными температурами происходит передача энергии от тела с более высокой температурой к телу с более низкой температурой. Этот процесс будет происходить до тех пор, пока температуры тел не сравняются



ся (не наступит тепловое равновесие). При этом механическая работа не совершается.

Процесс изменения внутренней энергии без совершения работы над телом или самим телом называется теплообменом.

Энергия, переданная системе или полученная системой при теплообмене, называется количеством теплоты.

Количество теплоты обозначается буквой латинского алфавита  $Q$  (читается «ку»). Наименование единицы в СИ джоуль (Дж). Условились считать: если система (тело) получает тепло, то  $Q > 0$ ; если система (тело) отдает тепло, то  $Q < 0$ .

Обратите внимание на то, что при теплообмене энергия всегда передается от более нагретого тела к менее нагретому. Обратный процесс самопроизвольно (сам по себе) никогда не происходит, т. е. теплообмен необратим.

Теплообмен определяет или сопровождает многие процессы в природе: эволюцию звезд и планет, метеорологические процессы на поверхности Земли и др.

Таким образом, в природе существует два способа изменения внутренней энергии тела: при совершении работы  $A$  и при теплообмене  $Q$ .

**?** 1. Кусок свинца можно нагреть разными способами: ударяя по нему молотком, помещая в пламя горелки или в горячую воду. Можно ли утверждать, что во всех этих случаях кусок свинца получил определенное количество теплоты? Увеличилась ли внутренняя энергия свинца? 2. В медицинской практике часто используют согревающие компрессы, грелки, а также массаж. Какие способы изменения внутренней энергии при этом используют?

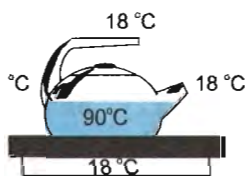


Рис. 93

● 1. Объясните причину: а) нагревания наточиваемого ножа; б) подтаивания льда под коньками при движении конькобежца; в) таяния льда (снега) на вашей ладони.

2. Используя рисунок 93, укажите направление теплообмена горячей воды с воздухом и подставкой. Ответ обоснуйте.

◆ Возьмите монету и потрите ею о поверхность линейки (стола). Что вы ощущаете? Почему?

## § 31. ВИДЫ ТЕПЛООБМЕНА

Различают следующие виды теплообмена: теплопроводность, конвекцию, лучистый теплообмен. Рассмотрим каждый из них подробнее.

### Теплопроводность.

Явление передачи энергии от более нагретых участков тела к менее нагретым, приводящее к выравниванию температуры, называется теплопроводностью.

При теплопроводности перенос энергии осуществляется в результате непосредственной передачи энергии от частиц (молекул, атомов), обладающих большей энергией, частицам с меньшей энергией.

С целью наблюдения явления теплопроводности выполните экспериментальные задания.

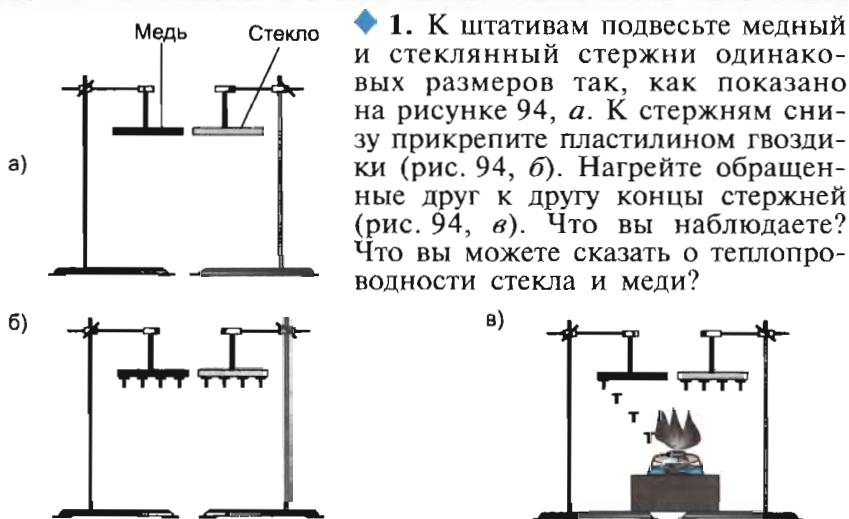


Рис. 94. Сравнение теплопроводности меди и стекла

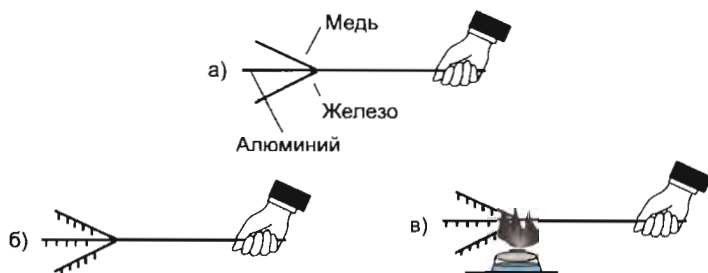


Рис. 95. Сравнение теплопроводности алюминия, железа и меди

✱ 2. Железная, алюминиевая и медная проволоки одинаковых размеров свиты в общий жгут так, как показано на рисунке 95, а. К проволокам снизу прикрепите пластилином гвоздики (рис. 95, б). Нагрейте место разветвления проволок (рис. 95, в). Что вы наблюдаете? Что вы можете сказать о теплопроводности железа, алюминия и меди?

3. Результаты экспериментов запишите в тетрадь.

На основе экспериментов вы убедились в том, что металлы обладают большой теплопроводностью. Чем это объясняется? Когда мы повышаем температуру какого-либо участка металла, то *возрастает кинетическая и потенциальная энергия частиц вещества*. При этом увеличивается амплитуда колебаний частиц в узлах кристаллической решетки. Частицы соударяются с частицами соседнего слоя, где температура ниже, и передают свой избыток энергии — температура этого слоя повышается. Частицы слоя передают избыток энергии следующему слою и т. д.

Теплопроводность чистых металлов больше, чем сплавов. Чтобы убедиться в этом, выполните экспериментальное задание.

◆ К штативам подвесьте медный и стальной стержни одинаковых размеров (рис. 96, а). (Сталь — сплав железа с другими элементами.) К стержням снизу прикрепите пластилином гвоздики (рис. 96, б). Нагрейте обращенные друг к другу концы стержней (рис. 96, в). Что вы наблюдаете? Что вы можете сказать о теплопроводности меди и стали? Результаты эксперимента запишите в тетрадь.

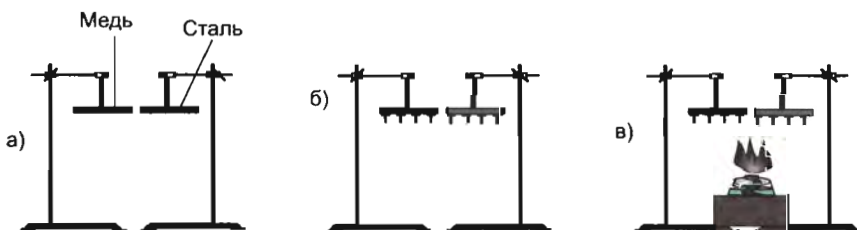


Рис. 96. Сравнение теплопроводности меди и стали

Ртуть — жидкий металл, но и ее теплопроводность больше, чем теплопроводность воды, в 11 раз. Вода — плохой проводник тепла.

Вещества с низкой теплопроводностью используются как *теплоизоляторы*, для того чтобы предохранить тело от охлаждения или нагревания. В качестве теплоизоляторов ши-

роко применяются асбест, бумага, войлок, шерстяная ткань, сукно, сухие древесные опилки и другие материалы.

Хорошими теплоизоляторами являются газы и пары. Теплопроводность газов аналогична диффузии. Оба эти явления — следствие беспорядочного теплового движения частиц газа (молекул, атомов). Из слоя с высокой температурой частицы, обладающие большей энергией, перемещаются в более холодный слой. При этом температура газа повышается. Частицы, которые движутся с меньшими скоростями, из холодного слоя перемещаются в более нагретый слой, замещая частицы, движущиеся с большими скоростями. За счет этого средняя кинетическая энергия частиц в нагретом слое уменьшается, а значит, и понижается его температура.

### Конвекция.

Конвекция (от лат. *convectio* — принесение, доставка) — процесс теплообмена, осуществляемый путем переноса энергии потоками жидкости или газа.

Конвекцию в жидкостях и газах можно пронаблюдать. С этой целью выполните экспериментальные задания.

#### ◆ 1. Наблюдение конвекции в воде.

Налейте в пробирку холодную воду до половины и аккуратно с помощью стеклянной палочки опустите в воду кристаллики перманганата калия (марганцовки). Расположите пробирку над пламенем спиртовки так, как показано на рисунке 97. Проследите за движением нагретой воды. Когда окрашенный поток достигнет поверхности воды, погасите спиртовку. В тетради сделайте схематический рисунок, указав направления потоков горячей и холодной воды.



Рис. 97. Наблюдение теплообмена в воде конвекцией

#### 2. Наблюдение конвекции в воздухе.

Вертушку из алюминиевой фольги расположите так, как показано на рисунке 98. Что вы наблюдаете, когда вертушка находится над пламенем? Изменяется ли скорость вращения вертушки, если перемещать вертушку по вертикали над пламенем? Если изменяется, то как: увеличивается или уменьшается?

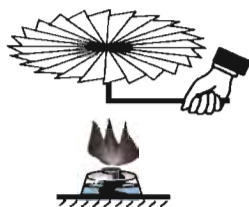


Рис. 98. Наблюдение теплообмена в воздухе конвекцией

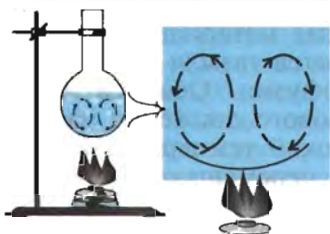


Рис. 99. Схема круговорота жидкости в сосуде

На рисунке 99 показан круговорот жидкости, сопровождающийся переносом энергии от более нагретых участков к более холодным.

Совершенно так же происходит конвекция в газах.

Рассмотренные процессы теплопередачи называются *естественной* (свободной) *конвекцией*. Для ее возникновения необходимо подогреть жидкость и газ снизу (или охладить сверху). Кроме естественной конвекции, возможна и *вынужденная* (принудительная) *конвекция*: потоки нагретой или охлажденной жидкости (газа) перемещаются с помощью насоса, мешалки или другого устройства. Такая конвекция используется в тех случаях, когда естественная конвекция оказывается неэффективной. Вынужденная конвекция применяется и в состоянии невесомости, когда естественная конвекция невозможна.

**Лучистый теплообмен.** Нет сомнения в том, что вы любите греться у костра или камина, а в летний солнечный день находиться под солнечным светом. Как происходит передача энергии на расстоянии, когда невозможна конвекция или теплопроводность?

Перенос энергии от одного тела к другому, обусловленный процессами испускания, распространения, рассеяния и поглощения электромагнитного излучения, называется **лучистым теплообменом**.

*Электромагнитное излучение* — это *электромагнитные волны*: радиоволны, инфракрасное, видимое (свет), ультрафиолетовое, рентгеновское, гамма-излучения. С электромагнитным излучением вы ознакомитесь в курсе физики 9 и 11 классов.

Существенное отличие лучистого теплообмена от теплопроводности и конвекции заключается в том, что он может протекать при отсутствии среды или через вещество, прозрачное для данного вида излучения.

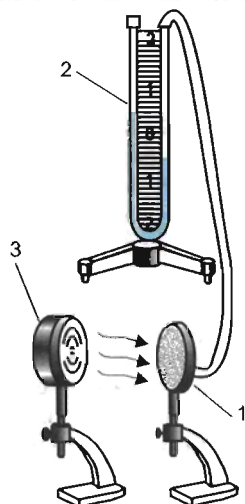
✦ Вы знаете, что Земля находится от Солнца на расстоянии примерно в 150 млн км. Солнечное излучение проходит через космическое пространство — высокий *вакуум* (от лат. *vacuum* — пустота). В состав солнечного излучения входят все перечисленные выше виды электромагнитного излучения. Инфракрасное излучение дает нам ощущение тепла (оказывает тепловое действие). Ультрафиолетовое излучение интенсив-

но поглощается земной атмосферой. Оно составляет всего 9% солнечного излучения. Проходя сквозь внешний слой атмосферы Земли, ультрафиолетовое излучение разрывает молекулы кислорода на два атома. Один из атомов затем присоединяется к другой молекуле кислорода, образуя новое соединение — газ озон, образуется тонкий озоновый слой. Активно поглощая ультрафиолетовое излучение, обладающее большой энергией, озоновый слой не пропускает его к зеленым растениям Земли, не позволяет ему разрушать клетки животных и растений. Сквозь атмосферу проникает только мягкое ультрафиолетовое излучение с небольшой энергией. Оно способствует нашему загару и в разумных дозах благоприятно для живых организмов.

Можно ли в лабораторных условиях наблюдать лучистый теплообмен? Чтобы ответить на этот вопрос, проведем эксперимент с использованием теплоприемника 1, жидкостного манометра 2 и источника инфракрасного излучения 3 (рис. 100).

Теплоприемник — прибор, представляющий собой плоскую круглую коробку, одна сторона которой отполирована, как зеркало, а другая покрыта черной матовой краской. Внутри коробки находится воздух, который может выходить через отверстие в теплоприемнике. Если мы поднесем источник инфракрасного излучения — электрическую плитку (свечу, кусок металла, нагретого до высокой температуры), то заметим перемещение столбика жидкости в манометре. Воздух в теплоприемнике нагрелся и расширился. Нагретый воздух оказывает давление на столбик жидкости в манометре — жидкость опускается.

Тела нагреваются по-разному в зависимости от состояния поверхности. Чтобы убедиться в этом, сравним опускание жидкости в трубке манометра, повернув теплоприемник к нагретому телу сначала черной, а затем отполированной стороной. В первом случае столбик жидкости перемещается на большее расстояние, чем во втором. Это указывает на то, что тела с темной поверхностью лучше поглощают энергию и сильнее нагреваются. Тела с темной поверхностью также быстрее охлаждаются, излучая энергию в окружающее пространство.



**Рис. 100.** Наблюдение лучистого теплообмена: 1 — теплоприемник; 2 — жидкостный манометр; 3 — источник инфракрасного излучения

**?** 1. Что такое теплопроводность? Для какого агрегатного состояния вещества она характерна? Приведите примеры хороших и плохих проводников тепла. 2. Что такое конвекция? Для какого агрегатного состояния она характерна? Приведите примеры. 3. Что такое лучистый теплообмен? В чем особенность этого вида теплообмена? Приведите примеры, когда энергия от одного тела к другому передается излучением. 4. Приведите примеры бытовых приборов, имеющих деревянные или пластмассовые ручки. Каково назначение деревянных или пластмассовых ручек у бытовых приборов? 5. Какими теплоизоляторами вы пользуетесь дома, на даче? Результаты «обследования» запишите в тетрадь, оформив в виде таблицы: материал; где используется. 6. Для обогрева помещений используются батареи центрального отопления. Какой способ теплообмена преимущественно способствует обогреву комнаты? 7. Ответьте на вопросы: 1) Два человека живут в разных природных зонах: один на Крайнем Севере, другой в пустыне. Оба тепло одеваются. Почему? 2) Почему птицы в холодную погоду сидят нахохлившись? 3) Почему белки или лисицы спят, закрывшись хвостом? 4) Какое значение имеют двойные (на Крайнем Севере тройные) оконные рамы? 5) Почему на зиму стволы деревьев покрывают древесными опилками? 6) Почему зимой вы надеваете шерстяные носки? 7) Почему в солнечную погоду снег в городе тает быстрее, чем за городом? 8) Почему летом мы предпочитаем светлую, а не темную одежду? 9) Почему самолеты, аэростаты окрашивают светлой краской? \* 10) Каково назначение полиэтиленовых пленок на парниках? \* 11) Какое воздействие на живой организм оказывают инфракрасное и ультрафиолетовое излучения? 12) Когда нам жарко, то мы машем веером. Зачем мы это делаем?

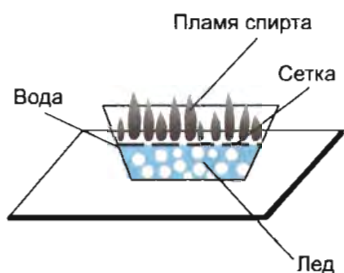


Рис. 101

**◆\*** 1. На дно стеклянного сосуда положите кусочки льда. Сверху на лед положите металлическую сетку. Затем налейте в сосуд воду. На поверхность воды налейте спирт и подожгите его (рис. 101). а) Выскажите гипотезу: расплавится ли лед или нет? б) Запишите и объясните результаты эксперимента. в) Подтвердилась ли ваша гипотеза?

2. Возьмите два штатива. На одном штативе закрепите лист железа, а на другом — таких же размеров лист полипропилена (любого термостойкого полимерного материала). На листы железа и полипропилена положите по одной спичке (рис. 102). а) Выскажите гипотезу о том, что произойдет со спичками,

если снизу поставить горящие спиртовки. б) Запишите результат эксперимента. Подтвердилась ли ваша гипотеза? в) Прикоснитесь пальцем к поверхности полипропилена. Что вы ощущаете?

3. Используя комнатный термометр, измерьте температуру воздуха в комнате на полу и на шкафу. Одинаковые ли показания термометра? Ответ обоснуйте.

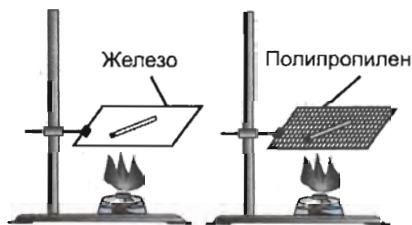


Рис. 102. Сравнение теплопроводности железа и полипропилена

При измерениях температуры подождите некоторое время, прежде чем записывать результат.

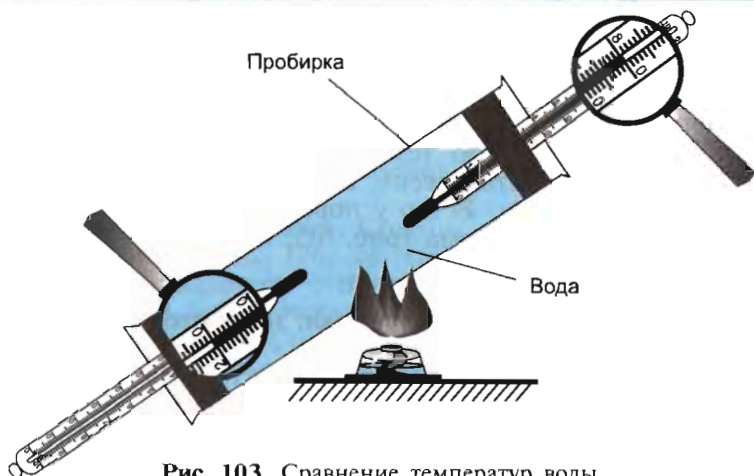


Рис. 103. Сравнение температур воды

1. На рисунке 103 изображен результат эксперимента. Почему термометры показывают разную температуру? Ответ обоснуйте.

2. На рисунке 104 приведена схема круговорота воздуха в комнате. Объясните причину этого.

3. На стене балкона повесили два термометра. Шарик одного из термометров закоптили. Одинаковую ли температуру покажут термометры? Ответ обоснуйте.



Рис. 104. Схема круговорота воздуха в комнате



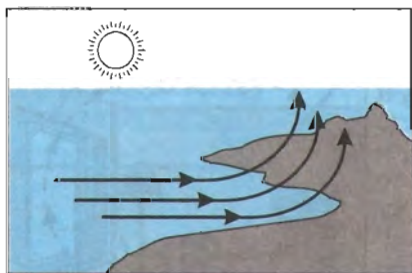
## § 32. ТЕПЛОБМЕН В ПРИРОДЕ

**Почему воздух движется?** Поверхность планеты Земля нагревается неодинаково. Одни территории прогреваются больше, другие — меньше. Над ними по-разному нагревается приземной слой воздуха. Там, где поверхность нагрета сильнее, воздух нагревается быстрее и расширяется. При этом теплый воздух поднимается вверх. Возникают восходящие потоки воздуха. Поднявшись вверх, воздух охлаждается, становится более плотным и тяжелым; холодный воздух опускается вниз. Возникает *круговорот воздушных масс* — процесс *естественной конвекции*. На него влияют многие факторы, в частности суточное вращение Земли, широта и рельеф местности и др. Но в основе ветрообразования лежит именно конвекция. Конвективные потоки переносят с собой энергию и влагу.

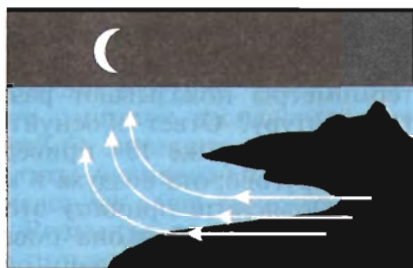
Наиболее наглядным является возникновение берегового бриза (рис. 105). Днем суша прогревается быстрее воды; нагретый над сушей воздух поднимается вверх, а на его место поступает холодный воздух с водоема. У поверхности земли ветер дует с водоема на берег (рис. 105, а). Ночью картина меняется: поверхность земли быстрее охлаждается, вода же сохраняет более высокую температуру. Нагретый над водоемом воздух поднимается вверх, а на его место поступает холодный воздух с суши. Ветер у поверхности земли направлен с берега в сторону водоема (рис. 105, б).

● 1. Используя текст § 13 учебника, назовите основные сферы Земли.

2. С помощью рисунка 31 и текста § 13 перечислите основные области внутреннего строения Земли. В каком состоянии находится вещество в каждой из этих областей?



а)



б)

**Рис. 105.** Схема возникновения берегового бриза: а) дневной бриз; б) ночной бриз

**Существует ли связь между конвекцией и землетрясениями?** Литосфера состоит из отдельных плит, которые плавают на поверхности мантии. Вещество мантии подвергается колоссальному давлению литосферы, и оно находится в особом пластическом состоянии, близком к расплавленному.

Температура центральной части Земли составляет около  $6000^{\circ}\text{C}$ , давление оценивается в  $3,65 \cdot 10^{11}$  Па, а на границе ядра с нижней мантией температура  $4000\text{--}5000^{\circ}\text{C}$ , давление  $1,4 \cdot 10^{11}$  Па. Температура и давление в верхней мантии гораздо ниже. При такой большой разности давлений и температур основной теплообмен внутри Земли осуществляется за счет конвекции. Более горячая мантия поднимается вверх, а менее горячая опускается вниз. Конвективные потоки вызывают перемещение литосферных плит, несущих континенты и ложа океанов. Там, где литосферные плиты расходятся, возникают океанические впадины. В тех местах, где плиты сталкиваются и одна из них напоздает на другую, образуются горные массивы. При этом возникают неустойчивые участки — сейсмические зоны. В этих зонах образуются очаги вулканизма и землетрясений.

Скорость перемещения конвективных потоков невелика. Поэтому и мала скорость перемещения литосферных плит (около 2—3 см в год).

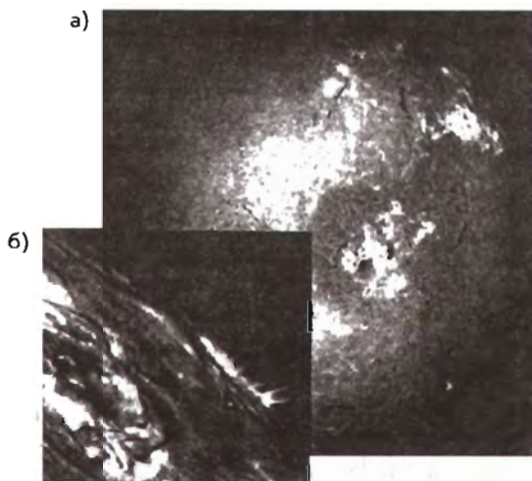
**Теплообмен на Солнце.** Солнце, как и все звезды, горячий газовый шар (рис. 106, а) (см. вклейку V). В основном оно состоит из водорода с примесью 10% (по числу атомов) гелия. На долю более тяжелых элементов приходится всего 1—2% от всей массы Солнца. На Солнце вещество сильно ионизовано, т. е. атомы потеряли свои внешние электроны и ядра атомов стали свободными частицами ионизованного газа — *плазмы*.

Под действием сил гравитационного притяжения, направленных к центру Солнца, в его недрах создается огромное давление. В центре Солнца плотность газа составляет около  $1,5 \cdot 10^5$  кг/м<sup>3</sup> (в 13 раз больше плотности свинца), давление около  $2 \cdot 10^{18}$  Па, а температура около  $15\,000\,000^{\circ}\text{C}$ . При такой температуре внутри Солнца происходят реакции превращения водорода в гелий и выделяется большая энергия.

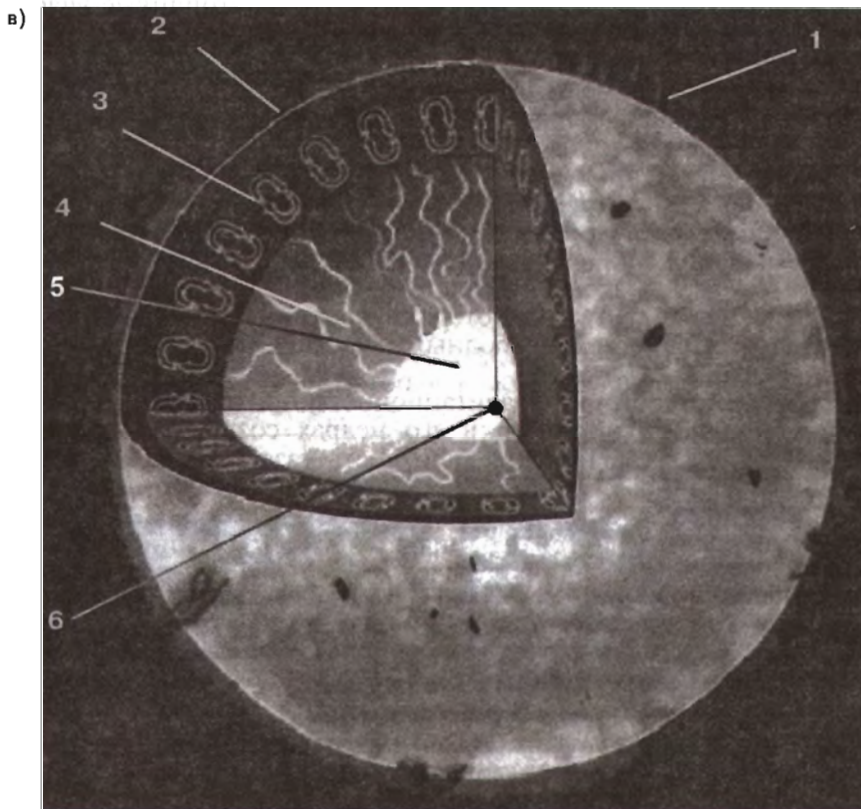
Внутренние слои Солнца условно можно разделить на четыре примерно одинаковые по протяженности части (рис. 106, в).

1. Центральное водородно-гелиевое ядро размером  $1/3$  радиуса Солнца — *зона ядерных реакций*.

2. *Лучистая зона* (от  $1/3$  до  $2/3$  радиуса Солнца). Энергия, выделенная в ядре, передается во внешние слои только за счет процессов поглощения и переизлучения энергии.



**Рис. 106.** Солнце: а) хромосфера; б) активная область на краю диска; в) схема внутреннего строения: 1 — хромосфера 14 000 км; 2 — фотосфера 200—300 км; 3 — зона конвекции; 4 — зона переноса лучистой энергии; 5 — зона ядерных реакций; 6 — центр Солнца



3. *Конвективная зона* доходит до самой видимой границы Солнца. В этой зоне наряду с излучением важную роль в выносе энергии наружу играет конвекция — активное перемещение вещества (горячая плазма поднимается вверх, более холодная опускается вовнутрь).

4. *Атмосфера* начинается сразу за конвективной зоной и простирается далеко за пределы видимого диска Солнца.

Нижняя часть атмосферы — *фотосфера* (сфера света) — примыкает к внешним слоям конвективной зоны, где температура около  $8000^{\circ}\text{C}$ . Толщина фотосферы 200—300 км (это менее  $1/2000$  радиуса Солнца). Наименьшего значения температура фотосферы достигает в верхних слоях (около  $4000^{\circ}\text{C}$ ), средняя плотность вещества оценивается в  $10^{-3}$ — $10^{-4}$  кг/м<sup>3</sup>. При температуре ниже  $8000^{\circ}\text{C}$  в плазме ионизованы только атомы металлов, водород почти не ионизован. Из фотосферы исходит почти вся та энергия Солнца, которая воспринимается нами как видимое излучение. На фотографии фотосферы (рис. 107) хорошо заметна ее тонкая структура в виде ярких «зернышек» — *гранул*. Размеры гранул 1500—2000 км, они разделены длинными тонкими межгранульными дорожками — следствие проникновения в нее конвективных потоков.

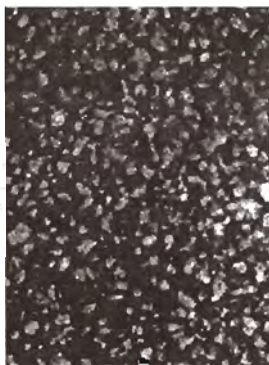


Рис. 107. Грануляция — тонкая структура солнечной фотосферы

За фотосферой располагается *хромосфера*, она в 100 раз протяженнее фотосферы и в десятки раз более разреженная. Хромосфера прозрачна для видимого излучения. Температура в хромосфере выше, чем в фотосфере, и быстро повышается с высотой. Наконец, самая разреженная и протяженная часть солнечной атмосферы — это горячая и протяженная *солнечная корона* (температура ее достигает 1—2 млн градусов). Она наблюдается в виде жемчужного сияния вокруг Солнца в редкие моменты полных солнечных затмений (см. рис. 56 и вклейку VI). Фактически мы живем окруженные плазменным потоком самой внешней части атмосферы Солнца. Через этот поток оно осуществляет свое мощное воздействие на нас и нашу среду обитания.

★ **Теплообмен организма человека с окружающей средой.** Принимая пищу, человек пополняет свой организм энергией. Часть энергии выделяется из организма. В таблице 21 приведены некоторые потери энергии организмом человека. Как видно из таблицы, организм человека теряет энергию главным образом через кожу.

**Теплоотдача организма человека**

Потери энергии	Доля энергии в общем балансе, %
На дыхание и испарение воды	≈8
На работу внутренних органов и систем	≈2
На нагрев выдыхаемого воздуха	≈1
На испарение воды с поверхности кожи	≈17
На нагрев окружающего пространства	≈30
На излучение	≈40

Одним из способов регулирования температуры тела у человека является теплообмен за счет конвективного охлаждения кожи: в результате циркуляции крови по капиллярным сосудам энергия отводится из внутренних органов к поверхностям тела и затем в окружающую среду.

Довольно часто человек страдает от перегрева: при высокой температуре окружающей среды, напряженной физической работе, некоторых видах заболевания. Борьба с перегревом осуществляется в основном путем увеличения испарения. Потоотделение — важный фактор терморегуляции организма, поскольку благодаря испарению пота кожа охлаждается.

Существует другая проблема — значительные потери энергии организмом человека. У животных для уменьшения потерь энергии имеются покровы из шерсти, пуха, жировой ткани — это теплоизолирующие прослойки между организмом животного и окружающей средой. У человека эту функцию выполняют одежда, жилище. Воздух в помещении служит теплоизолирующей прослойкой между телом человека и более холодной окружающей средой. Стены, крыша и пол жилища служат для предохранения воздуха от участия в конвективном переносе энергии из помещения на улицу.

● Используя рисунок 106, в, ответьте на вопросы: 1) Каковы основные зоны Солнца? 2) Каково строение солнечной атмосферы? 3) Как изменяется температура и плотность вещества в атмосфере? 4) Назовите основные виды теплообмена внутри Солнца.

### **§ 33. ПЕРВЫЙ ЗАКОН ТЕРМОДИНАМИКИ**

В механических часах потенциальная энергия сжатой пружины преобразуется в кинетическую энергию движущихся деталей. При резком торможении колеса автомобиля не ка-

тятся, а скользят по дороге до полной остановки. В этом случае кинетическая энергия автомобиля переходит во внутреннюю энергию резины и асфальтового покрытия — резина покрывшек и асфальт нагреваются. Все эти примеры относятся к неживой природе.

С давних времен люди обращали внимание, что после наступления темноты море начинает светиться. Оказалось, это светятся бактерии и рачки, живущие в море: они превращают химическую энергию в световую. Химическая энергия преобразуется в электрическую в нервных клетках, световая — в электрическую в сетчатке глаза. Химическая энергия может превращаться и в механическую энергию. Работа мышц животных и человека осуществляется за счет энергии, выделяемой в организме в результате химических превращений веществ.

На основе анализа различных явлений и наблюдений был сформулирован один из фундаментальных законов природы — *закон сохранения энергии*:

энергия не исчезает и не создается, она превращается из одного вида в другой или переходит от одного тела к другому.

Закон сохранения энергии для систем, в которых существенное значение имеют тепловые процессы, получил название *первого закона термодинамики*:

изменение внутренней энергии системы при переходе ее из одного состояния в другое равно сумме работы внешних сил и количества теплоты, переданного системе.

Математически это записывается так:



$$\Delta U = A_{\text{вн.с}} + Q,$$

где  $\Delta U$  — изменение внутренней энергии;  $A_{\text{вн.с}}$  — работа внешних сил;  $Q$  — количество теплоты, переданное системе.

Вместо работы внешних сил над системой часто рассматривается работа самой системы (газа, пара) ( $A_{\text{сист}}$ ). Работы равны по абсолютному значению, но противоположны по знаку. Если газ (пар) расширяется, то  $A_{\text{сист}} > 0$ , а  $A_{\text{вн.с}} < 0$ :

$$A_{\text{сист}} = -A_{\text{вн.с}}$$

Учитывая это соотношение, запишем первый закон термодинамики в следующем виде:



$$Q = \Delta U + A_{\text{сист}}$$

Количество теплоты, переданное системе, идет на изменение ее внутренней энергии и на совершение системой работы над внешними силами.

\* Первый закон термодинамики был сформулирован Юлиусом Майером в 1842 г., а затем более строго Германом Гельмгольцем в 1847 г.

Ю. Майер (1814—1878) — немецкий врач и физиолог. В 1840 г. он отправился в плавание на остров Ява в качестве судового врача. Находясь в тропиках, Майер заметил, что кровь местных жителей содержит больше кислорода, чем кровь людей, живущих в Европе. Исследования этого явления натолкнули Майера на открытие эквивалентности теплоты и работы (теплота и работа способны взаимно превращаться). Дальнейшие исследования привели его к открытию закона сохранения и превращения энергии, или, по его терминологии, «закона сохранения сил».

Г. Гельмгольц (1821—1894) — немецкий ученый. В первой работе по физике «О сохранении силы» в 1847 г. Гельмгольц ставит своей задачей показать применимость «закона сохранения силы» ко всем известным в то время физическим явлениям.

Гельмгольц открыл нервную клетку и установил, что возбуждение по нерву распространяется не мгновенно, а с конечной скоростью. Он разработал теорию пространственного и цветового зрения.

Вспомним опыт, который мы рассматривали в § 30 (см. рис. 92). При вылете пробки образуется туман. Образование тумана свидетельствует о том, что внутренняя энергия уменьшается. Процесс расширения водяных паров происходит достаточно быстро, и система не успевает обменяться энергией с окружающей средой.

Процесс, при котором система не получает тепло извне и не отдает его, называется адиабатным процессом (от греч. *adiábatos* — непреходимый).

Охлаждение газа при адиабатном расширении в земной атмосфере происходит в грандиозных масштабах. Нагретый воздух поднимается вверх и расширяется, так как атмосферное давление падает с увеличением высоты. Это расширение сопровождается значительным охлаждением, в результате чего водяные пары конденсируются и образуются облака.

Проведем эксперимент. На дно прозрачного цилиндра положим смоченный эфиром кусочек ваты. Затем сверху вста-

вим плотно пригнанный поршень. Если резко опустить поршень вниз, то пары эфира воспламяются (рис. 108). Поскольку процесс происходит достаточно быстро, то воздух не сможет обменяться теплотой с окружающей средой ( $Q = 0$ , процесс адиабатный — адиабатное сжатие). При этом работа внешних сил идет на увеличение внутренней энергии ( $A_{\text{вн.с}} = \Delta U$ ), температура повышается, а пары эфира воспламеняются.

### Пример решения задачи

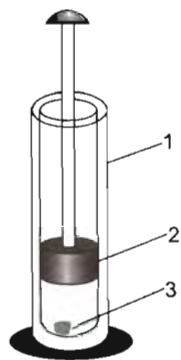
При передаче газу теплоты, равной  $4 \cdot 10^3$  Дж, он совершил работу  $1,5 \times 10^3$  Дж. Чему равно изменение внутренней энергии газа? Что произошло с газом: нагревание или охлаждение?

$$\begin{array}{l} \Delta U - ? \\ A_{\text{сист}} = 1,5 \cdot 10^3 \text{ Дж} \\ Q = 4 \cdot 10^3 \text{ Дж} \end{array}$$

*Решение*

$$\begin{array}{l} Q = \Delta U + A_{\text{сист}}, \\ \Delta U = Q - A_{\text{сист}}, \\ [\Delta U] = \text{Дж} - \text{Дж} = \text{Дж}, \\ \Delta U = 4 \cdot 10^3 - 1,5 \cdot 10^3 = 2,5 \cdot 10^3 \text{ (Дж)}. \end{array}$$

**Ответ.** Изменение внутренней энергии равно  $2,5 \cdot 10^3$  (Дж). Газ нагрелся, так как  $\Delta U > 0$ .



**Рис. 108.** Опыт с воздушным огнивом: 1 — толстостенный сосуд; 2 — поршень; 3 — кусочек ваты, смоченный эфиром

1. При сообщении газу теплоты, равной  $6 \cdot 10^4$  Дж, он расширился, совершив работу  $5 \cdot 10^4$  Дж. На сколько изменилась внутренняя энергия газа? Что произошло с газом: нагревание или охлаждение?

2. При нагревании газовой горелкой колбы с водой образовавшийся пар выталкивает пробку. От пламени воде передано количество теплоты, равное 250 МДж. При выталкивании пробки была совершена работа, равная 10 МДж. На сколько изменилась внутренняя энергия воды и пара?

3. Газ сжали, совершив работу, равную 5,2 кДж. В процессе сжатия в окружающую среду было передано количество теплоты, равное 4,1 кДж. Рассчитайте изменение внутренней энергии газа. Нагрелся газ или охладился?

4. В процессе адиабатного сжатия над газом совершается работа, равная 3 МДж. Рассчитайте изменение внутренней энергии газа. Что произошло с газом: нагревание или охлаждение?

5. При закачивании воздуха в толстостенную колбу (см. рис. 92) была совершена работа, равная  $2 \cdot 10^7$  Дж. Считая процесс адиабатным, рассчитайте изменение внутренней энергии воздуха. Что произошло с газом: нагревание или охлаждение?



### § 34. КАК РАССЧИТАТЬ КОЛИЧЕСТВО ТЕПЛОТЫ ПРИ ТЕПЛООБМЕНЕ

В процессе теплообмена, когда не происходит изменения агрегатного состояния вещества, количество теплоты, полученное телом при нагревании и отданное при охлаждении, прямо пропорционально массе тела и изменению его температуры:

$$Q \sim m, Q \sim \Delta t,$$

следовательно, пропорционально произведению этих величин.

Количество теплоты, полученное телом при нагревании или отданное при охлаждении, рассчитывается по формуле



$$Q = cm\Delta t,$$

где  $c$  — коэффициент пропорциональности — *удельная теплоемкость вещества*;  $m$  — масса тела;  $\Delta t$  — разность температур ( $\Delta t = t_2 - t_1$ ,  $t_1$  — начальная температура тела;  $t_2$  — конечная температура тела).

Из формулы расчета количества теплоты выразим удельную теплоемкость вещества:

$$c = \frac{Q}{m\Delta t}.$$

Отсюда следует, что единица удельной теплоемкости вещества:  $[c] = \text{Дж}/(\text{кг} \cdot ^\circ\text{C})$ .

Удельная теплоемкость вещества показывает, какое количество теплоты потребуется для нагревания 1 кг вещества на  $1^\circ\text{C}$  (или какое количество теплоты выделится при охлаждении 1 кг вещества на  $1^\circ\text{C}$ ).

В достаточно большом интервале температур удельная теплоемкость данного вещества остается величиной постоянной. В таблицах 22—25 приведены значения удельных теплоемкостей разных веществ.

Таблица 22

#### Удельная теплоемкость жидкостей

(при нормальном атмосферном давлении и температуре  $20^\circ\text{C}$ )

Жидкость	Удельная теплоемкость $c$ , $10^3 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot ^\circ\text{C})$
Азотная кислота (100%)	1,72
Ацетон	2,2
Бензин авиационный	2,1

Жидкость	Удельная теплоемкость $c$ , $10^3$ Дж/(кг · °С)
Вода дистиллированная	4,2
Вода морская	3,9
Глицерин	2,4
Керосин	2,1
Кефир	3,8
Масло касторовое	2,2
Масло подсолнечное рафинированное	1,8
Нафталин расплавленный (80—90 °С)	1,7
Ртуть	0,1
Сливки (35%)	3,5
Сметана	3,0
Спирт этиловый	2,5
Эфир этиловый	2,3

Таблица 23

**Удельная теплоемкость некоторых твердых веществ**  
(при температуре 20 °С)

Химический элемент, вещество	Удельная теплоемкость $c$ , $10^3$ Дж/(кг · °С)	Химический элемент, вещество	Удельная теплоемкость $c$ , $10^3$ Дж/(кг · °С)
Алюминий	0,9	Кирпич	0,8
Бериллий	1,8	Латунь	0,4
Вольфрам	0,1	Парафин	2,9
Железо	0,5	Пробка	2,0
Золото	0,1	Свинец (0 °С)	0,1
Медь	0,4	Сера	0,7
Титан	0,6	Сталь	0,5
Углерод (графит)	0,7	Стекло оконное	0,7
Цинк	0,9	Стекло лабораторное	0,8
Асфальт	0,9	Чугун	0,5
Бетон	0,9	Уголь	
Бумага	0,9	древесный	1,0
Гранит	0,8	Шифер	0,8
Древесина (ель, сосна)	2,7	Эбонит	1,4

**Удельная теплоемкость некоторых овощей, фруктов и ягод**  
(ориентировочные значения)

Продукт	Удельная теплоемкость $c, 10^3 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot ^\circ\text{C})$
Абрикосы	3,8
Апельсины	3,8
Арбуз	3,9
Вишня	3,6
Капуста поздняя	3,9
Картофель поздний	3,4
Клубника	3,8
Морковь	3,8
Огурцы	4,0
Помидоры	4,0
Смородина черная	3,6
Яблоки	3,8

**Удельная теплоемкость**  
**некоторых продовольственных продуктов**

Продукт	Удельная теплоемкость $c, 10^3 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot ^\circ\text{C})$
Ветчина	2,1
Масло сливочное	3,0
Мясо говяжье	2,5
Рыба жирная	3,0
Сахар	1,3
Творог	3,2
Телятина	3,2
Хлеб формовой (мякиш)	2,8
Хлеб формовой (корка)	1,7

*Пример решения задачи*

В кастрюлю вместимостью 5 л налили воду при температуре  $18^\circ\text{C}$  и поставили на газовую плиту. Через некоторое время вода закипела. Рассчитайте количество теплоты, переданное воде до момента закипания.

$Q = ?$ $V = 5 \text{ л} = 5 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$ $t_1 = 18 \text{ }^\circ\text{C}$ $t_2 = 100 \text{ }^\circ\text{C}$ $\rho = 1000 \text{ кг/м}^3$ $c = 4,2 \cdot 10^3 \text{ Дж/(кг} \cdot \text{ }^\circ\text{C)}$	<p style="text-align: right; margin: 0;"><i>Решение</i></p> $Q = cm\Delta t$ , или $Q = cm(t_2 - t_1)$ . Так как $\rho = m/V$ , то $m = \rho V$ . Тогда $Q = c\rho V(t_2 - t_1)$ , $[Q] = \frac{\text{Дж} \cdot \text{кг} \cdot \text{м}^3 \cdot \text{ }^\circ\text{C}}{\text{кг} \cdot \text{ }^\circ\text{C} \cdot \text{м}^3} = \text{Дж}$ . $Q = 4,2 \cdot 10^3 \cdot 1000 \cdot 5 \cdot 10^{-3} \cdot 82 =$ $= 1\,722\,000 \text{ (Дж)} \approx 1,7 \text{ МДж}$ .
--	---

*Ответ.* При нагревании воде было передано количество теплоты, примерно равное 1,7 МДж.

**?** 1. Запишите формулу расчета количества теплоты, полученного телом при нагревании или отданного при охлаждении. Поясните величины, входящие в эту формулу. Назовите единицу каждой величины. 2. Что означают утверждения: «Удельная теплоемкость титана равна 600 Дж/(кг · °C)», «Удельная теплоемкость глицерина равна 2,4 кДж/(кг · °C)»? 3. Используя данные таблиц 22—25, найдите удельную теплоемкость ацетона, вольфрама, вишни, творога. Каков смысл значений удельных теплоемкостей этих веществ? 4. Железный, медный и алюминиевый шарики одинаковой массы нагрели в кипящей воде, а затем вынули и положили на парафиновую пластинку. Под каким из шариков расплавится больше парафина? Ответ обоснуйте.

**■** 1. Деталь из титана массой 1,5 кг нагрели до 50 °C, а затем поставили на подставку. Температура в помещении 20 °C. Какое количество теплоты передала деталь окружающей среде и подставке?

2. Стальному бруску массой 200 г сообщили количество теплоты, равное 6 кДж. При этом он нагрелся до 80 °C. Какова была начальная температура бруска?

3. Латунный цилиндр массой 150 г нагрели в кипящей воде и опустили в сосуд с водой. Вода в сосуде нагрелась до 40 °C. Какое количество теплоты отдал цилиндр воде при охлаждении? Нагреванием воздуха и сосуда пренебречь.

4. Стальной шарик нагрели и опустили в воду, находящуюся в мензурке так, как показано на рисунке 109. Рассчитайте количество теплоты, отданное воде. Плотность стали примите равной 7600 кг/м<sup>3</sup>. Нагреванием мензурки пренебречь.

5. Из морозильной камеры вынули пакет с вишней массой 0,5 кг и поставили на стол. Температура в камере была равна -18 °C. Какое количество теплоты потребуется для нагревания вишни до комнатной температуры 20 °C? Необходимые дополнительные данные найдите в таблице.

6. Утром в саду собрали абрикосы массой 2 кг и решили сохранить их до вечера. Для этого абрикосы положили в стеклянную банку массой 0,5 кг и поставили в холодильник, где температура была равна

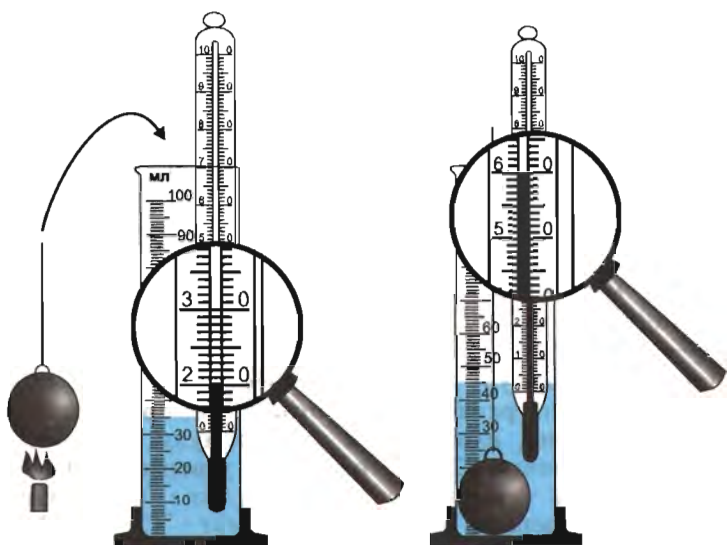


Рис. 109. Нагревание воды в мензурке

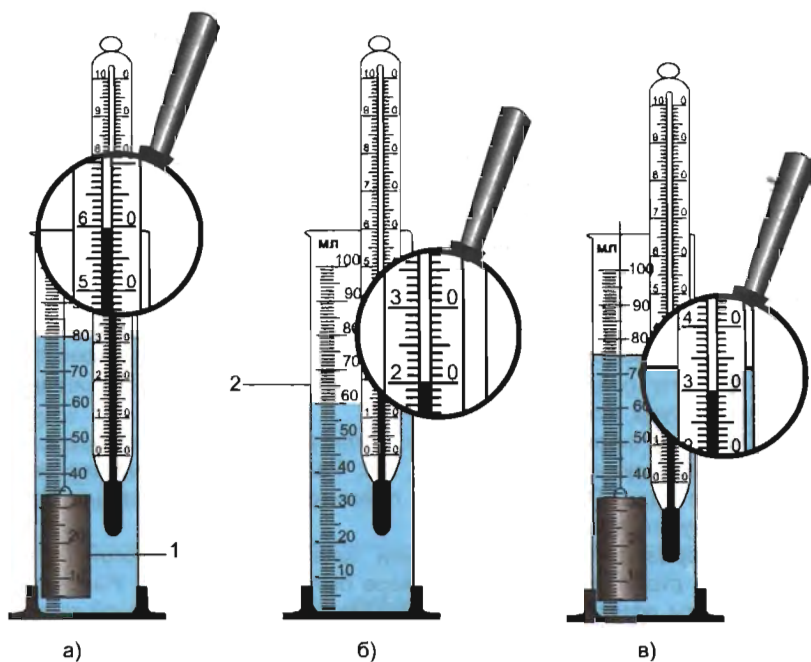


Рис. 110. Определение удельной теплоемкости глицерина:  
1 — железный цилиндр; 2 — мензурка с глицерином

4 °С. Вечером абрикосы вынули из холодильника и поставили на кухонный стол. Температура на кухне 25 °С. Какое количество теплоты требуется для нагревания абрикосов и стеклянной банки до комнатной температуры? Необходимые данные для расчетов найдите в таблицах (стекло оконное).

7. В бассейне вместимостью 1200 м<sup>3</sup> температура морской воды 15 °С. Какое количество теплоты необходимо сообщить воде, чтобы ее температура стала равной 25 °С? Плотность морской воды примите равной 1010 кг/м<sup>3</sup>.

\* 8. Железный цилиндр 1 поместили в мензурку 2, в которой находился глицерин (рис. 110, б). Уровень глицерина поднялся (рис. 110, в). Рассчитайте удельную теплоемкость глицерина. Полученный результат сравните с табличным значением. Если результат не совпал с табличным значением, то объясните причину этого. Плотность железа примите равной 7800 кг/м<sup>3</sup>, а плотность глицерина — 1260 кг/м<sup>3</sup>.

\* 9. Какое количество теплоты отдаст окружающей среде асфальтовое покрытие дороги площадью 100 м<sup>2</sup> при понижении температуры на 10 °С? Толщина покрытия 10 см. Плотность асфальта примите равной 1500 кг/м<sup>3</sup>.

● 1. Повторите § 22 и ответьте на вопросы: 1) Что такое кипение? 2) Каковы внешние признаки кипения? 3) Каковы причины увеличения объема и подъема пузырька? 4) Что понимают под температурой кипения жидкости? Что можно сказать о значении температуры жидкости, когда она кипит?

2. Повторите § 27 и ответьте на вопросы: 1) Что такое плавление? 2) Что такое отвердевание (кристаллизация)? 3) Как объяснить процесс плавления (кристаллизации) тела на основе атомно-молекулярного учения о строении вещества? 4) Что называется температурой плавления (кристаллизации)? 5) Почему в таблицах достаточно указывать только значение температуры плавления вещества?

### § 35. **КАК РАССЧИТАТЬ КОЛИЧЕСТВО ТЕПЛОТЫ ПРИ ИЗМЕНЕНИИ АГРЕГАТНОГО СОСТОЯНИЯ ВЕЩЕСТВА**

**Кипение и конденсация.** В процессе кипения (парообразования) при постоянной температуре к веществу подводится энергия путем теплообмена, в процессе конденсации тело отдает тепло окружающей среде. Количество теплоты, полученное телом при кипении или отданное при конденсации, прямо пропорционально массе вещества:

$$Q \sim m.$$

Количество теплоты, полученное в процессе парообразования или отданное при конденсации, рассчитывается по формуле



$$Q = rm,$$

где  $r$  — коэффициент пропорциональности — *удельная теплота парообразования*;  $m$  — масса вещества.

Из формулы расчета количества теплоты выразим удельную теплоту парообразования и ее единицу:

$$r = Q/m, \quad [r] = \text{Дж/кг}.$$

Удельная теплота парообразования показывает, какое количество теплоты потребуется для того, чтобы 1 кг данного вещества превратить в пар при температуре кипения (или какое количество теплоты выделится при превращении 1 кг пара в жидкость при температуре, равной температуре кипения).

В таблице 26 приведены значения температуры кипения и удельной теплоты парообразования различных веществ.

Таблица 26

**Удельная теплота парообразования различных веществ**  
(при температуре кипения и нормальном атмосферном давлении)

Вещество	Температура кипения, °С	Удельная теплота парообразования $r$ , $10^3$ Дж/кг
Азот	−195,8	199,3
Алюминий	2520,0	9210,0
Вода дистиллированная	100,0	2256,0
Водород	−252,8	454,0
Воздух	от −192 до −195	197,0
Глицерин (при 100 °С)	290,0	830,0
Метан	−161,5	511,0
Ртуть	356,7	293,1
Свинец	1745,0	860,0
Скипидар	161,0	287,2
Серебро	2443,0	2177,0
Спирт этиловый	78,3	906,0
Цинк	906,0	1800,0

**Плавление и отвердевание (кристаллизация).** Вы знаете, что в процессе плавления и кристаллизации температура остается постоянной. Подводимая к веществу энергия расходуется на разрушение кристаллической решетки. При этом возрастает энергия взаимодействия между частицами. Часть подводимой энергии расходуется на совершение работы по

изменению объема тела. *В процессе кристаллизации — восстановлении кристаллической решетки — энергия выделяется.*

Полученная или выделенная энергия прямо пропорциональна массе вещества:

$$Q \sim m.$$

Количество теплоты, полученное при плавлении или выделившееся при кристаллизации, рассчитывается по формуле



$$Q = \lambda m,$$

где  $\lambda$  — коэффициент пропорциональности — *удельная теплота плавления вещества* ( $\lambda$  — буква греческого алфавита, читается «лямбда»);  $m$  — масса вещества.

Из формулы расчета количества теплоты выразим удельную теплоту плавления и ее единицу:

$$\lambda = Q/m, \quad [\lambda] = \text{Дж/кг}.$$

Удельная теплота плавления показывает, какое количество теплоты необходимо, чтобы расплавить 1 кг вещества при температуре плавления (или какое количество теплоты выделится при кристаллизации 1 кг вещества при температуре, равной температуре плавления).

В таблице 27 приведены значения температуры плавления и удельной теплоты плавления различных веществ.

Таблица 27

### Удельная теплота плавления различных веществ

(при температуре плавления и нормальном атмосферном давлении)

Вещество	Температура плавления, °С	Удельная теплота плавления $\lambda$ , $10^3$ Дж/кг
Азот	−210,0	25,9
Алюминий	660,6	393,0
Ацетон	−95,0	96,3
Бром	−7,2	67,8
Вода (лед)	0	332,4
Водород	−259,2	58,6
Вольфрам	3421,0	185,0
Воск	61—64	176,0
Железо	1539,0	270,0
Магний	648,8	372,6
Медь	1084,9	213,0



Вещество	Температура плавления, °С	Удельная теплота плавления $\lambda$ , $10^3$ Дж/кг
Олово	232,0	58,2
Парафин	38—56	147,0
Ртуть	-38,9	11,7
Свинец	327,5	24,3
Серебро	961,9	87,3
Цезий	28,4	15,9
Цинк	419,6	112,2
Эфир этиловый	-116,0	113,0

### Пример решения задачи

На графике зависимости температуры от времени показано изменение состояния вещества (рис. 111, а).

1. Используя график, определите: а) состояние вещества на участках *AB*, *BC*, *CD*; б) какое это вещество.

2. Используя табличные данные, запишите: а) удельную теплоту парообразования; б) удельную теплоемкость вещества; в) удельную теплоту плавления.

3. Рассчитайте количество теплоты, выделенное при охлаждении 4 кг вещества.

*Анализ графика зависимости температуры от времени.* На участке *BC* линия графика направлена вниз, следовательно, вещество охлаждается. На участке *AB* при температуре 1745 °С вещество конденсируется, образуется жидкость. На участке *BC* жидкость охлаждается до температуры 327,5 °С, и при этой температуре вещество кристаллизуется.

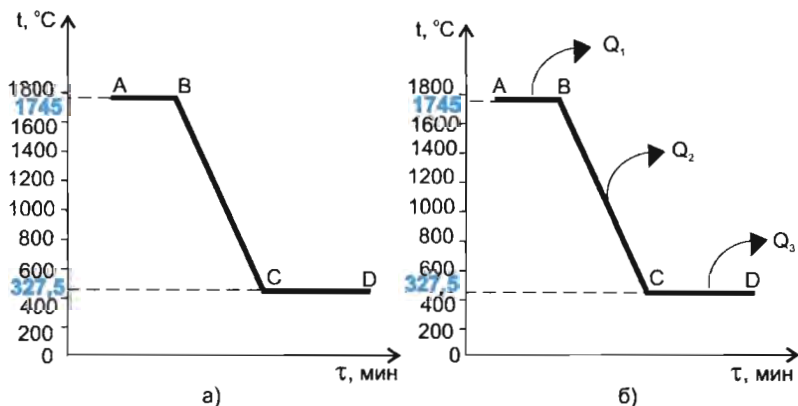


Рис. 111

По таблицам 26 и 27 определяем, что это свинец. Используя данные таблиц 23, 26 и 27, записываем значения: удельная теплоемкость свинца  $c = 0,1 \cdot 10^3 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot ^\circ\text{C})$ ; удельная теплота парообразования свинца  $r = 860 \cdot 10^3 \text{ Дж}/\text{кг}$ ; удельная теплота плавления свинца  $\lambda = 24,3 \cdot 10^3 \text{ Дж}/\text{кг}$ .

*Производим подсчеты, используя формулы расчета количества теплоты.* На рисунке III, б показано, что на каждом из участков вещество отдает тепло окружающей среде, поэтому в расчетной формуле количество теплоты берется по модулю.

$Q - ?$	<i>Решение</i>
$m = 4 \text{ кг}$	$Q =  Q_1  +  Q_2  +  Q_3 ,$ (1)
$\Delta t = 1417,5 \text{ }^\circ\text{C}$	$Q_1 = rm,$ (2)
$c = 0,1 \cdot 10^3 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot ^\circ\text{C})$	$Q_2 = cm\Delta t,$ (3)
$r = 860 \cdot 10^3 \text{ Дж}/\text{кг}$	$Q_3 = \lambda m,$ (4)
$\lambda = 24,3 \cdot 10^3 \text{ Дж}/\text{кг}$	(2), (3), (4) $\Rightarrow$ (1).
	Получаем расчетную формулу
	$Q = rm + cm\Delta t + \lambda m.$
	Проверим единицу: $[Q] =$
	$= \text{Дж}/\text{кг} \cdot \text{кг} + \text{Дж}/(\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}) \cdot \text{кг} \cdot ^\circ\text{C} +$
	$+ \text{Дж}/\text{кг} \cdot \text{кг} = \text{Дж} + \text{Дж} + \text{Дж} = \text{Дж}.$
	Произведем подсчеты: $Q =$
	$= 860 \cdot 10^3 \cdot 4 + 0,1 \cdot 10^3 \cdot 4 \cdot 1417,5 +$
	$+ 24,3 \cdot 10^3 \cdot 4 = 4104,2 \cdot 10^3 \text{ (Дж)} \approx$
	$\approx 4,1 \text{ МДж}.$

*Ответ.* При конденсации, охлаждении и кристаллизации свинца выделилось количество теплоты, равное примерно 4,1 МДж.

**?** 1. Запишите формулу расчета количества теплоты, полученного веществом в процессе парообразования (или отданного при конденсации). Поясните величины, входящие в эту формулу. Назовите единицу каждой из величин. 2. Что означают утверждения: «Удельная теплота парообразования серебра равна  $2177 \cdot 10^3 \text{ Дж}/\text{кг}$ », «Удельная теплота парообразования скипидара равна  $287,2 \text{ кДж}/\text{кг}$ »? 3. Запишите формулу расчета количества теплоты, полученного веществом в процессе плавления (или выделенного при кристаллизации). Поясните величины, входящие в эту формулу. Назовите единицу каждой из величин. 4. Что означают утверждения: «Удельная теплота плавления магния равна  $372,6 \cdot 10^3 \text{ Дж}/\text{кг}$ », «Удельная теплота плавления воска равна  $176 \text{ кДж}/\text{кг}$ »? 5. Почему кусочек льда можно расплавить, держа в руке? 6. Почему воск, парафин, свинец можно расплавить в алюминиевой ложке?

1. Одинаковое ли количество теплоты потребуется для парообразования 2 кг серебра и алюминия? Ответ обоснуйте.

2. Одинаковое ли количество теплоты потребуется для плавления цинкового и свинцового брусков равной массы? Ответ обоснуйте.

3. Какое количество теплоты выделится при кристаллизации 5 кг меди?

4. Азоту, находящемуся в твердом состоянии, сообщили количество теплоты, равное 7770 Дж. Какая масса азота при этом расплавится?

\* 5. В процессе парообразования водороду было передано количество теплоты, равное 122,58 кДж. Какой объем паров водорода образуется при этом? Выразите объем паров водорода в единицах:  $\text{м}^3$  и л. Плотность водорода примите равной  $0,09 \text{ кг/м}^3$ .

6. На графике зависимости температуры от времени показано изменение состояния вещества (рис. 112).

1) Используя график, определите состояние вещества на участках  $AB$  и  $BC$ .

2) Используя табличные данные, определите, какое это вещество.

3) Что означает направление стрелок  $Q_1$  и  $Q_2$ ?

4) Рассчитайте общее количество теплоты, полученное 2 кг данного вещества.

7. На графике зависимости температуры от времени показано изменение состояния вещества (рис. 113).

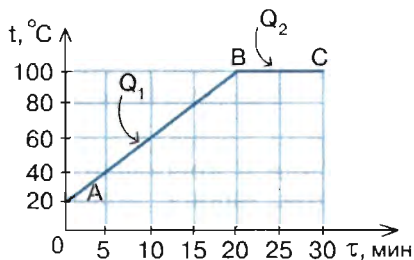


Рис. 112

но изменение состояния вещества (рис. 113).

1) Используя график, определите состояние вещества на участках  $AB$  и  $BC$ .

2) Используя табличные данные, определите, какое это вещество.

3) Что означает направление стрелок  $Q_1$  и  $Q_2$ ?

4) Рассчитайте общее количество теплоты, отданное 0,5 кг дан-

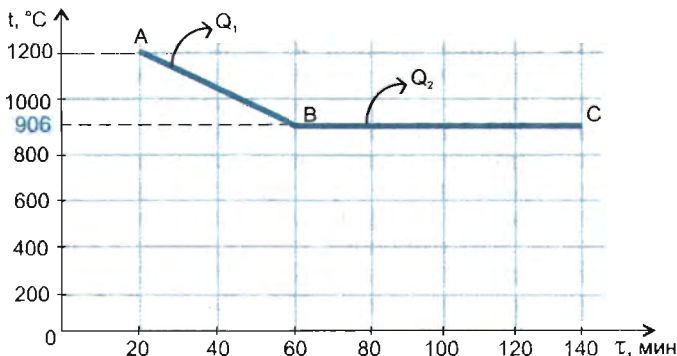


Рис. 113

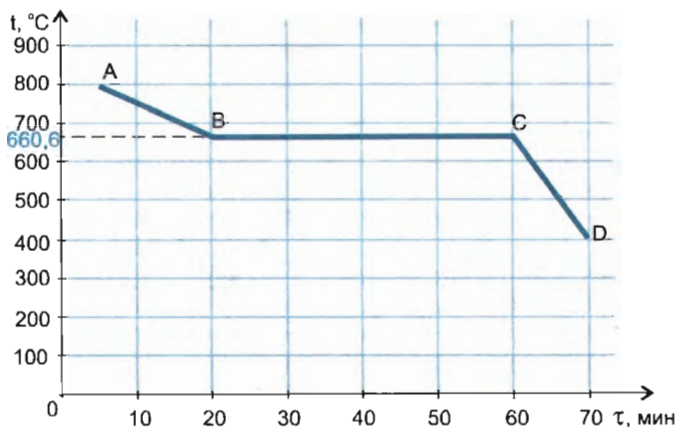


Рис. 114

ного вещества. Удельная теплоемкость вещества в жидком состоянии  $0,5 \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}}$ .

8. На рисунке 114 представлен график зависимости температуры от времени.

- 1) Какой процесс изображен на графике и для какого вещества?
- 2) Какую температуру имело вещество в начальный момент наблюдения?
- 3) Через какое время следовали друг за другом отсчеты температуры?
- 4) Через какое время после начала наблюдения температура вещества достигла  $660,6^\circ\text{C}$ ?

5) Сколько времени продолжался процесс перехода вещества из одного агрегатного состояния в другое?

6) В каком состоянии находилось вещество на участках  $AB$ ,  $BC$ ,  $CD$ ?

9. На графике зависимости температуры от времени (рис. 115) показано изменение состояния вещества.

- 1) С помощью графика определите состояние вещества на участках  $AB$  и  $BC$ .
- 2) Используя табличные данные, определите, какое это вещество.
- 3) Что означает направление стрелок  $Q_1$  и  $Q_2$ ?
- 4) Рассчитайте общее количество теплоты, отданное 3 кг данного вещества.

\* 10. На графике зависимости температуры от времени показано изменение состояния вещества (рис. 116).

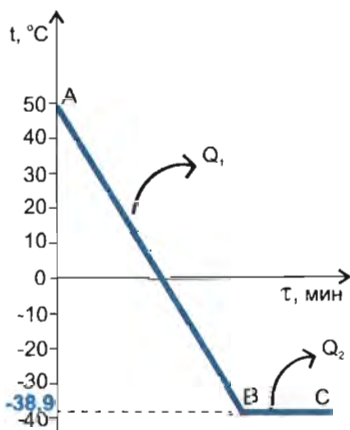


Рис. 115

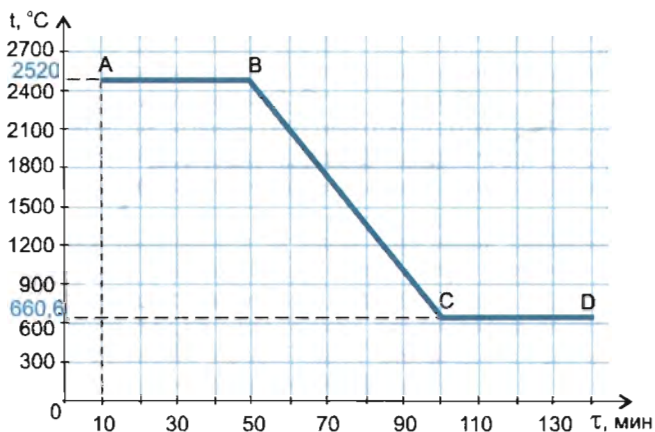


Рис. 116

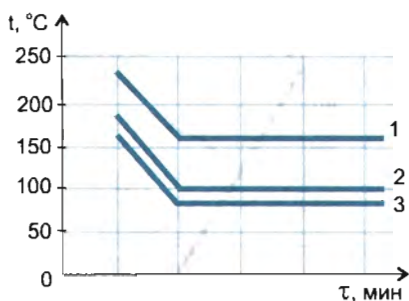


Рис. 117

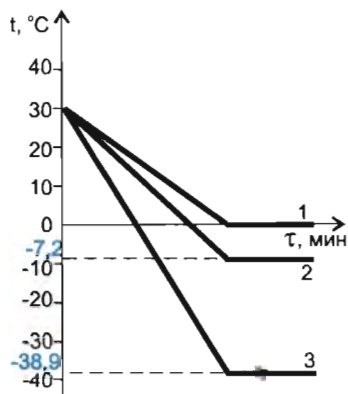


Рис. 118

1) С помощью графика определите состояние вещества на участках  $AB$ ,  $BC$ ,  $CD$ .

2) Используя табличные данные, определите, какое это вещество.

3) Рассчитайте общее количество теплоты, отданное 3 кг данного вещества. Считать, что на участке  $CD$  вещество полностью перешло из одного агрегатного состояния в другое.

11. На рисунке 117 изображены графики зависимости температуры от времени для процессов охлаждения и конденсации паров воды, скипидара и этилового спирта.

1) Какой из графиков построен для воды, какой — для скипидара, какой — для этилового спирта?

2) Сравните количество теплоты, выделившееся при конденсации паров воды, скипидара и этилового спирта одинаковой массы. Ответ обоснуйте.

12. На рисунке 118 изображены графики зависимости температуры от времени для процессов охлаждения и кристаллизации брома, воды и ртути.

1) Какой из графиков построен для брома, какой — для воды, какой — для ртути? Ответ обоснуйте.

2) Сравните количество теплоты, выделившееся при кристаллизации брома, воды, ртути одинаковой массы. Ответ обоснуйте.

◆\* 1. От парафиновой свечи отрежьте небольшой кусок и положите его на алюминиевую столовую ложку. В каком состоянии находится парафин при комнатной температуре? Какого цвета парафин?

1) Расположите ложку с куском парафина над пламенем спиртовки так, как показано на рисунке 119. Что происходит с парафином при нагревании? При какой температуре произошло плавление парафина? В каком агрегатном состоянии находится парафин при температуре плавления? Какого цвета парафин в расплавленном состоянии?

2) Вылейте парафин в холодную воду. (Предварительно воду охладите в холодильнике!) Что будет происходить с парафином при этом и почему? Какого цвета парафин в этом случае?

3) Почему ложка во время эксперимента не расплавилась?

2. При замерзании вода, чай, молоко и другие жидкости переходят в твердое состояние. При последующем нагревании они снова переходят в жидкое состояние: образуются опять вода, чай и молоко. Выскажите гипотезу о том, что образуется в результате конденсации паров кипящего чая или раствора поваренной соли.

С целью подтверждения или опровержения своей гипотезы выполните два эксперимента.

1) насыпьте на дно стакана сухой чай и залейте его крутым кипятком (кипящей водой). Накройте стакан сухим ненагретым чистым блюдцем. Подождите 10—15 мин. Когда стакан с чаем остынет, снимите с него блюдце и рассмотрите его поверхность. На что вы обратили внимание? Запишите результаты наблюдений в тетрадь.

2) Приготовьте в химическом стакане раствор поваренной соли в воде такой крепости, чтобы на вкус он был очень соленым. Доведите раствор до кипения, а затем поставьте на подставку. Накройте

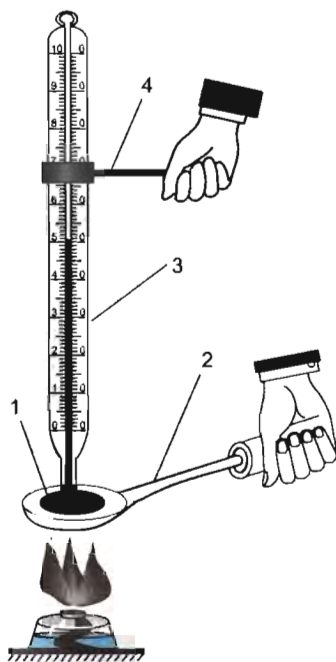


Рис. 119. Плавление парафина: 1 — парафин; 2 — ложка; 3 — термометр; 4 — держатель

сосуд сухим ненагретым блюдцем. Когда раствор остынет, снимите блюдце. Попробуйте на вкус сначала капельки жидкости, осевшие на поверхности блюдца, а затем воду в стакане. Какой вывод вы можете сделать из этого эксперимента?

3) Подтвердилась ли ваша гипотеза? Запишите выводы в тетрадь.

### **§ 36. КАК РАССЧИТАТЬ ЭНЕРГИЮ, ВЫДЕЛИВШУЮСЯ ПРИ СГОРАНИИ ТОПЛИВА**

**Топливо и последствия его сгорания.** Основным источником энергии для человека — Солнце: оно поддерживает в необходимых для его выживания пределах температуру поверхности планеты; аккумулированную солнечную энергию в виде полезных ископаемых человек использует для поддержания локального теплового баланса, работы транспорта, приготовления пищи и т. д.

*Топливо — это горючие вещества, применяемые с целью получения энергии при их сжигании.* Запасы топлива в природе достаточны для экономически выгодного и экологически безопасного их использования в течение многих десятилетий. При сгорании топлива выделяется значительная энергия, которую используют в быту, промышленности, сельском хозяйстве, автомобильном транспорте, на электростанциях. Основные потребители топлива — тепловые электростанции, вырабатывающие 70—80% всей потребляемой электроэнергии.

По происхождению топливо делится на природное (нефть, уголь, природный газ, горючие сланцы, торф, древесина) и искусственное (кокс, моторное топливо и др.), по агрегатному состоянию — на твердое, жидкое и газообразное.

Интенсивное использование природного и искусственного топлива ведет к истощению природных ресурсов и загрязнению окружающей среды. Наибольший вред наносят тепловые электростанции и котельные, загрязняющие окружающую среду газообразными продуктами сгорания, аэрозолями, золой, шлаками, выделением тепла. В состав дымовой смеси обычно входят оксиды азота  $\text{NO}_x$  ( $\approx 18\%$ ), оксиды углерода  $\text{CO}_x$  ( $\approx 12\%$ ), диоксид серы  $\text{SO}_2$  ( $\approx 0,2\%$ ), вода ( $\approx 1\%$ ), взвешенные частицы и десятки соединений с малой концентрацией. При сжигании углеродсодержащего топлива выделяются углекислый газ  $\text{CO}_2$ , угарный газ  $\text{CO}$ , оксиды азота ( $\text{NO}$ ,  $\text{NO}_2$ ), диоксид серы ( $\text{SO}_2$ ). Избыток углекислого газа вызывает парниковый эффект. Оксиды азота и серы, соединяясь с водяными парами, образуют кислотные дожди. Большие сложности возникают с отходами топочной золы и шлаками, занимающими при хранении большие территории и загрязняющими почву и воду.

Кроме газов, аэрозолей и золы, в окружающую среду выделяется огромное количество тепла, вызывая тепловое загрязнение атмосферы, гидросферы и литосферы. В частности, из-за повышения температуры водоемов развиваются водоросли, снижающие содержание кислорода в воде. А это приводит к снижению интенсивности окислительных процессов и способности водной среды к самоочищению. Многие водоемы (реки, водохранилища), на которых расположены тепловые электростанции, не замерзают из-за большого сброса тепла.

При сжигании топлива принимаются меры по очистке отходящих газов, утилизируются отходы: сажа идет на производство резины, сернистый газ и другие содержащие серу вещества используются в производстве серной кислоты, твердые оксиды металлов и неметаллов — в стекольной и цементной промышленности.

**Расчет энергии, выделившейся при сгорании топлива.** Основная характеристика топлива — *удельная теплота сгорания*. Обозначается буквой латинского алфавита  $q$  (читается «ку»).

Количество теплоты, выделившееся при полном сгорании топлива, вычисляется по формуле



$$Q = qm,$$

где  $q$  — удельная теплота сгорания топлива;  $m$  — масса топлива.

Из формулы расчета количества теплоты, выделившегося при полном сгорании топлива, выразим удельную теплоту сгорания и ее единицу:

$$q = Q/m, \quad [q] = \text{Дж/кг}.$$

Удельная теплота сгорания показывает, какое количество теплоты выделяется при полном сгорании 1 кг топлива.

В таблице 28 приведены значения удельной теплоты сгорания различных видов топлива.

Таблица 28

**Удельная теплота сгорания различных видов топлива**

Вид топлива	Удельная теплота сгорания $q$ , $10^3$ Дж/кг
<i>Твердое</i>	
Антрацит	26 800—31 400
Бурый уголь	15 700
Дрова (30% влажности)	12 300



Вид топлива	Удельная теплота сгорания $q$ , $10^3$ Дж/кг
<i>Твердое</i>	
Каменный уголь	20 900—30 150
Сланцы горючие	7330—15 100
Твердое ракетное топливо	4190—10 500
Торф в брикетах	15 100
<i>Жидкое</i>	
Бензин авиационный	43 500—44 400
Дизельное топливо	42 700
Мазут	38 900—39 800
Спирт этиловый	26 000
<i>Газообразное</i>	
Водород	119 700
Доменный газ	3100
Биогаз	25 000
Коксовый газ	8080
Метан	49 800
Природный газ (на 90% из метана)	45 600

### Пример решения задачи

Какое количество теплоты выделится при полном сгорании этилового спирта объемом 0,5 л? Плотность спирта 789,4 кг/м<sup>3</sup>.

$Q$ — ?	Решение
$V = 0,5 \text{ л} = 5 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3$ $q = 26 \cdot 10^6 \text{ Дж/кг}$ $\rho = 789,4 \text{ кг/м}^3$	$Q = qm$ . (1) Из формулы расчета плотности $\rho = m/V$ выразим массу спирта: $m = \rho V$ , (2) (2) $\Rightarrow$ (1), <span style="border: 1px solid black; padding: 2px;"><math>Q = q\rho V</math></span> , $[Q] = \frac{\text{Дж}}{\text{кг}} \cdot \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \cdot \text{м}^3 = \text{Дж}$ . $Q = 26 \cdot 10^6 \cdot 789,4 \cdot 5 \cdot 10^{-4} =$ $= 10\,262\,200 \text{ (Дж)} \approx 10 \text{ МДж}$ .

**Ответ.** При полном сгорании этилового спирта данного объема выделяется количество теплоты, примерно равное 10 МДж.

**\* Зачем мы употребляем пищу?** Энергия, за счет которой поддерживаются обменные функции организма человека, выделяется в ходе химической реакции окисления (сгорания) содержащихся в пище углеводов, жиров и белков. В человеческом организме роль горючего, содержащего энергию в ак-

кумулятивной и готовой к употреблению форме, играет пища. Разные виды пищи, как и разные виды топлива, содержат различный запас энергии. В таблице 29 приведены значения удельной теплоты сгорания различных пищевых продуктов.

Таблица 29

**Удельная теплота сгорания пищевых продуктов**

Продукт	Удельная теплота сгорания $q$ , $10^3$ Дж/кг
<i>Хлеб</i>	
Ржаной	8884
Пшеничный	9261
<i>Мясо-молочные продукты</i>	
Баранина	9537
Говядина	7524
Кефир, простокваша	2700
Масло сливочное	32 690
Молоко	2796
Мясо курицы	5380
Творог жирный	9755
<i>Рыба</i>	
Окунь	3520
Щука	3500
<i>Овощи</i>	
Картофель	3776
Морковь	1720
Огурцы свежие	572
Редис	1050
<i>Фрукты, ягоды</i>	
Виноград	2400
Вишня	2625
Земляника	1730
Малина	1920
Смородина черная	2470
Черника	1820
Яблоки средней полосы	2010
<i>Прочие продукты</i>	
Масло подсолнечное	38 900
Мед	14 980
Мороженое сливочное	7498
Сахар	17 150
Яйцо	6904

Каждый из нас должен знать «энергоемкость» пищевых продуктов и уметь составлять разнообразные способы питания для компенсации энергетических затрат организма. В таблице 30 приведены ориентировочные значения энергозатрат человека (массой 70 кг) за 1 ч при различных видах его деятельности.

Таблица 30

**Энергетические затраты  
при различных видах деятельности человека**

Вид деятельности	Энергозатраты, $10^3$ Дж
Управление мотоциклом	600
Езда на велосипеде	2000
Ходьба по ровной местности	1000
Сон	300
Сидение (в покое)	400
Спокойное лежание	300
Физическая зарядка	2000
Мытье посуды	600
Чтение про себя	400
Подготовка к урокам	400
Бег (на 100 м)	150
Плавание (на 100 м)	400
Плавание (на 200 м)	600
Лыжные гонки (на 10 км)	4000

**!** *Обратите внимание!* В физике часто используются внесистемные единицы количества теплоты: кал (калория) и ккал (килокалория):

$$1 \text{ кал} = 4,1868 \text{ Дж} \approx 4,2 \text{ Дж},$$

$$1 \text{ ккал} = 4,1868 \cdot 10^3 \text{ Дж} \approx 4,2 \cdot 10^3 \text{ Дж}.$$

**Пример решения задачи**

Теплота сгорания суточного рациона питания для школьников вашего возраста составляет 1,2 МДж. Достаточно ли для вас потребление в течение дня 100 г творога, 100 г свежих огурцов, 50 г пшеничного хлеба и 200 г сливочного мороженого? Ответ обоснуйте.

$Q - ?$

$$\begin{aligned} Q_{\text{сут}} &= 1,2 \cdot 10^6 \text{ Дж} \\ m_1 &= 100 \text{ г} = 0,1 \text{ кг} \\ q_1 &= 9755 \cdot 10^3 \text{ Дж/кг} \\ m_2 &= 100 \text{ г} = 0,1 \text{ кг} \\ q_2 &= 572 \cdot 10^3 \text{ Дж/кг} \\ m_3 &= 50 \text{ г} = 0,05 \text{ кг} \\ q_3 &= 9261 \cdot 10^3 \text{ Дж/кг} \\ m_4 &= 200 \text{ г} = 0,2 \text{ кг} \\ q_4 &= 7498 \cdot 10^3 \text{ Дж/кг} \end{aligned}$$

*Решение*

Рассчитаем общее количество теплоты, выделившееся при «сгорании» каждого вида продуктов:

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

$$Q = q_1 m_1 + q_2 m_2 + q_3 m_3 + q_4 m_4,$$

$$\begin{aligned} [Q] &= \text{Дж/кг} \cdot \text{кг} + \text{Дж/кг} \cdot \text{кг} + \\ &+ \text{Дж/кг} \cdot \text{кг} + \text{Дж/кг} \cdot \text{кг} = \text{Дж} + \\ &+ \text{Дж} + \text{Дж} + \text{Дж} = \text{Дж}. \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Q &= 9755 \cdot 10^3 \cdot 0,1 + 572 \cdot 10^3 \cdot 0,1 + \\ &+ 9261 \cdot 10^3 \cdot 0,05 + 7498 \cdot 10^3 \cdot 0,2 = \\ &= 975,5 \cdot 10^3 + 57,2 \cdot 10^3 + 463,05 \cdot 10^3 + \\ &+ 1499,6 \cdot 10^3 = 2995,35 \cdot 10^3 \approx \\ &\approx 3 \cdot 10^6 \text{ (Дж)} \approx 3 \text{ МДж}. \end{aligned}$$

Сравним суточный рацион питания и потребленную энергию:

$$Q > Q_{\text{сут}}$$

*Ответ.* Так как  $Q > Q_{\text{сут}}$ , то вы восстановите запас энергии.

**?** 1. Что такое топливо? Какие виды топлива вам известны? Какие потребители энергии, выделяемой при сгорании топлива, вам известны? 2. Запишите формулу расчета количества теплоты, выделившегося при полном сгорании топлива. Поясните величины, входящие в эту формулу. Запишите единицу каждой величины. 3. Что означают утверждения: «Удельная теплота сгорания дизельного топлива равна 42 700 кДж/кг», «Удельная теплота сгорания дров равна 12 300 кДж/кг», «Удельная теплота сгорания коксового газа равна 8,08 МДж/кг»?

**■** 1. Какое количество теплоты выделится при полном сгорании 20 кг каменного угля?

2. Какое количество теплоты выделится при полном сгорании 1 т антрацита?

3. Какую массу биогаза надо сжечь, чтобы выделилось количество теплоты, равное 50 МДж?

4. Какое количество теплоты выделится при полном сгорании метана объемом 50 л? Плотность метана примите равной 0,7 кг/м<sup>3</sup>.

5. Какое количество теплоты выделится при сгорании мазута объемом 5 л? Плотность мазута примите равной 890 кг/м<sup>3</sup>.

6. На стаканчике с йогуртом написано: энергетическая ценность 72 ккал. Выразите энергетическую ценность продукта в джоулях (Дж).

7. На коробке конфет написано: калорийность 100 г — 580 ккал. Выразите калорийность продукта в джоулях (Дж).

**\*** 8. Изучите этикетки разных пищевых продуктов. Запишите энергетическую ценность (калорийность) продуктов, выразив ее в джоулях или калориях (кал).

\* 9. Теплота сгорания суточного рациона питания для школьников вашего возраста составляет около 1,2 МДж.

1) Достаточно ли для вас потребление в течение дня 100 г жирного творога, 50 г пшеничного хлеба, 50 г говядины и 200 г картофеля? Необходимые дополнительные данные найдите в таблице 29 учебника.

2) Достаточно ли для вас потребление в течение дня 100 г окуня, 50 г свежих огурцов, 200 г винограда, 100 г ржаного хлеба, 20 г подсолнечного масла и 150 г сливочного мороженого?

\* 10. При езде на велосипеде за 1 ч вы тратите энергию, примерно равную 2 МДж. Восстановите ли вы запас энергии, если съедите вишню массой 200 г?

\* 11. На уроке физкультуры вы пробежали 100 м. Восстановится ли запас энергии, если вы съедите яблоко массой 70 г?

\* 12. При подготовке к урокам в течение 2 ч вы тратите около 800 кДж энергии. Восстановится ли запас энергии, если вы выпьете 200 мл обезжиренного молока и съедите 50 г пшеничного хлеба? Плотность обезжиренного молока равна  $1036 \text{ кг/м}^3$ .

\* 13. Авиационный бензин из мензурки перелили в паяльную лампу и полностью его сожгли. На сколько градусов нагреется чугунный брусок, находящийся в пламени паяльной лампы (рис. 120)? Можно считать, что вся энергия, выделявшаяся при сгорании бензина, пошла на нагревание чугунного бруска. Объем бруска  $0,001 \text{ м}^3$ ,  $\rho_{\text{бенз}} = 710 \text{ кг/м}^3$ ,  $\rho_{\text{чуг}} = 7000 \text{ кг/м}^3$ .

\* 14. Дистиллированную воду из мензурки перелили в сосуд, нагреваемый пламенем спиртовки, и испарили. Рассчитайте массу сгоревшего

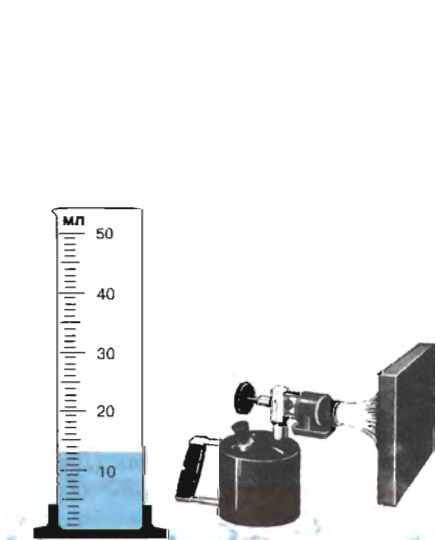


Рис. 120. Нагревание бруска в пламени паяльной лампы

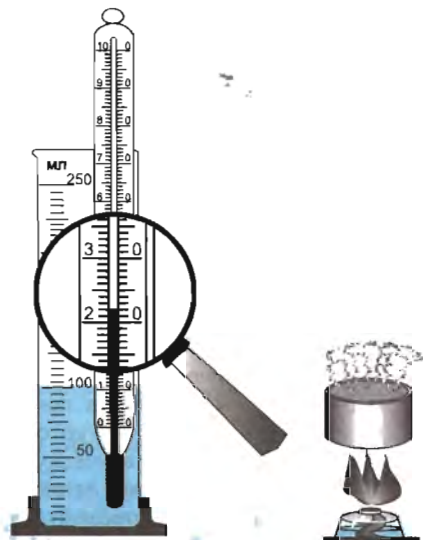
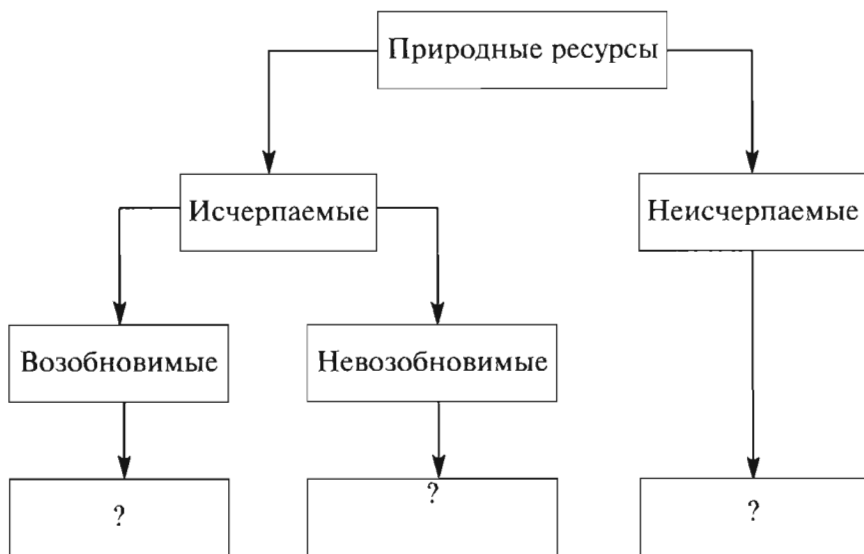


Рис. 121. Испарение воды в пламени спиртовки

этилового спирта. Нагреванием сосуда и потерями на нагревание воздуха можно пренебречь. Необходимые данные вы можете получить из анализа рисунка 121 и табличных значений.

1. Продолжите заполнение схемы.

Схема



2. «Интенсивное использование природного и искусственного топлива ведет к истощению природных ресурсов и загрязнению окружающей среды». Приведите факты и примеры, иллюстрирующие справедливость этого утверждения.

3. На рисунке 122 показана схема теплового загрязнения окружающей среды при работе тепловой электростанции (ТЭС). Поясните рисунок, указав основные части теплового загрязнения.

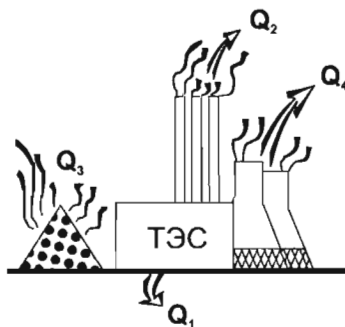


Рис. 122. Схема теплового загрязнения окружающей среды при работе тепловой электростанции (ТЭС)

◆\* 1) Поставьте зажженную свечу на стол (рис. 123, а). Заметьте размер и вид пламени.

2) Положите с двух сторон от свечи два карандаша. Наденьте сверху на свечу стеклянную трубку, поставив ее

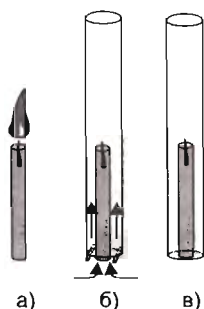


Рис. 123. Горение свечи

нижний край на карандаши (рис. 123, б). Изменяется ли размер и вид пламени?

3) Поднесите к щели с внешней стороны трубки зажженную спичку. Как поведет себя пламя спички? Чем это объясняется?

4) Уберите карандаши из-под стеклянной трубки (рис. 123, в). Что вы наблюдаете в этом случае?

5) Замените трубку более высокой и повторите эксперименты. Что изменилось в этом случае?

6) Нашло ли подобное явление применение в промышленности? Подготовьте доклад «Тяга в дымовой трубе».

## § 37. ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ ЦИКЛИЧЕСКОГО ТЕПЛООВОГО ДВИГАТЕЛЯ

**Тепловые двигатели.** Много веков люди использовали для выполнения механической работы энергию движущегося воздуха (ветра) или движущейся воды. Только в начале XVIII в. с этой целью стали использовать внутреннюю энергию нагретого тела. На рисунке 124 показана схема опыта преобразования внутренней энергии в механическую работу. Между водой и пламенем спиртовки осуществляется теплообмен, при этом внутренняя энергия воды увеличивается. При температуре, близкой к  $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ , вода кипит. Водяной пар, вырываясь из трубки, совершает работу, вращая вертушку. В этом случае внутренняя энергия пара преобразуется в кинетическую энергию вертушки.

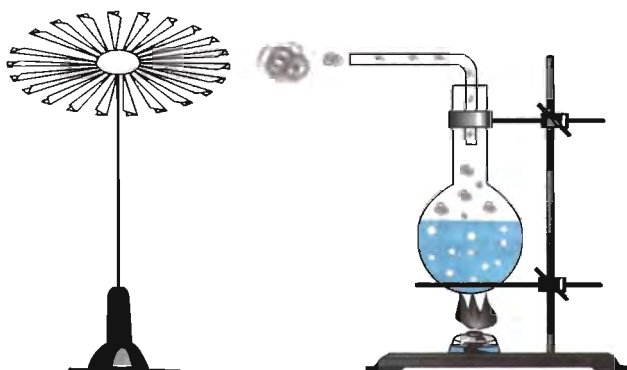


Рис. 124. Схема простейшего опыта для преобразования внутренней энергии в механическую работу

**Карно Никола́ Леонард Сади** (1796—1832) — французский физик и инженер, один из создателей термодинамики. В 1824 г. опубликовал работу «Размышления о движущей силе огня и машинах, способных развивать эту силу» (под движущей силой в то время подразумевалась энергия). В этом труде впервые показал, что полезная работа совершается лишь в том случае, когда тепло переходит от нагретого тела к более холодному; только разность температур нагревателя и холодильника обуславливает отдачу тепловой машины, природа же рабочего тела не играет никакой роли. Показал преимущество применения в паровых машинах пара высокого давления и его многократного расширения, сформулировал принцип работы газовых тепловых машин.



Развитие термодинамики было в большей степени связано с анализом работы тепловых машин. В 1824 г. Сади Карно осуществил этот анализ.

Все тепловые машины по своему назначению делятся на два типа: *тепловые двигатели* и *холодильные установки*. Мы остановимся на рассмотрении только тепловых двигателей.

Тепловыми двигателями называются машины, в которых внутренняя энергия топлива превращается в механическую энергию.

Первым в истории человечества тепловым двигателем была паровая машина. В настоящее время используется несколько видов тепловых двигателей: двигатель внутреннего сгорания, паровая или газовая турбина, реактивный двигатель.

**Принцип действия циклического теплового двигателя.** Что объединяет все тепловые двигатели?

1. В любом тепловом двигателе происходит превращение энергии, выделяющейся при сгорании топлива, в механическую энергию. Энергия топлива сначала превращается во внутреннюю энергию газа или пара, нагретого до высокой температуры.

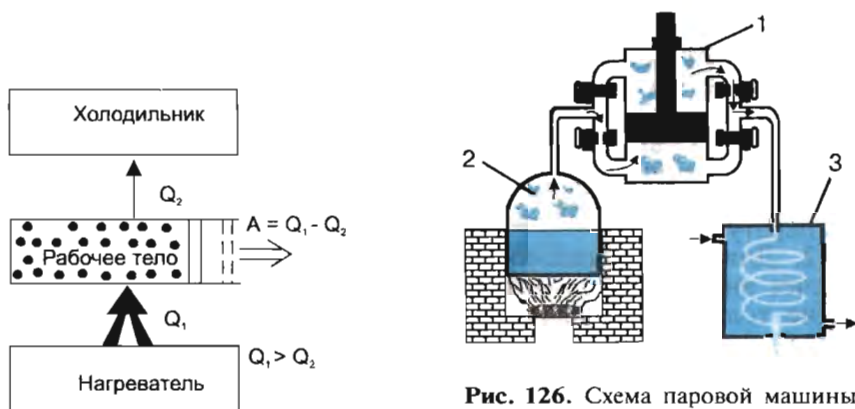
2. Для непрерывного изменения механической энергии за счет внутренней энергии тела необходимо, чтобы установка не только получала энергию от *нагревателя* (источника тепла — тепло может быть получено в результате сгорания топлива, от Солнца и др.), но и отдавала часть энергии другому телу (или более холодной среде) — *холодильнику*. Часть теплоты неизбежно рассеивается в окружающей среде. Температура холодильника всегда ниже температуры нагревателя.



В самом тепловом двигателе тепло поглощается веществом, которое в результате нагревания совершает работу: приводит в движение поршень, вал турбины и т. д. Это вещество называется *рабочим телом*. Обычно рабочим телом служит *пар* (в паровых машинах и паровых турбинах) или *продукты сгорания топлива* (в газовых турбинах, двигателях внутреннего сгорания).

В процессе работы теплового двигателя рабочее тело забирает у нагревателя некоторое количество теплоты  $Q_1$ . Часть полученной от нагревателя теплоты рабочее тело, расширяясь, затрачивает на механическую работу и приведение в движение движущихся частей машины. Процесс расширения рабочего тела продолжается ограниченное время. Для того чтобы машина работала долго, этот процесс нужно сделать периодическим, т. е. каждый раз, после того как рабочее тело совершит работу, его необходимо возвращать в первоначальное состояние — сжать рабочее тело. Перед сжатием рабочее тело охлаждают, «отбирая» у него с помощью холодильника некоторое количество теплоты  $Q_2$  ( $Q_2 < Q_1$ ). На механическую работу  $A$  затрачивается количество теплоты  $Q_1 - Q_2$ ;  $A = Q_1 - Q_2$ .

3. Работа любого теплового двигателя состоит из повторяющихся циклов («цикл» от греч. *kyklos* — круг, замкнутый процесс) изменения состояния рабочего тела (например, газа или пара). За счет полученной энергии от нагревателя рабочее тело, расширяясь, совершает работу. Неиспользованная энергия передается холодильнику (рис. 125). Передав неиспользованную энергию холодильнику, рабочее тело возвращается в исходное состояние. Далее процесс повторяется.



**Рис. 126.** Схема паровой машины: 1 — цилиндр с поршнем; 2 — паровой котел — нагреватель; 3 — холодильник

**Рис. 125.** Схема работы циклического теплового двигателя



**Ползунов Иван Иванович** (1728—1766) — русский теплотехник, один из изобретателей теплового двигателя. В 1763 г. разработал проект первой в мире тепловой машины непрерывного действия. В 1765 г. построил первую в России паротепловую установку для заводских нужд, проработавшую 43 дня. 7 августа 1766 г. — дата пуска первой в истории паровой машины.



**Уатт Джеймс** (1736—1819) — шотландский изобретатель. Выдвинул идею применения расширения пара в цилиндре. В 1784 г. создал универсальный паровой двигатель с непрерывным вращением. Ввел первую единицу мощности — лошадиную силу. Сконструировал ряд приборов: ртутный открытый манометр, водомерное стекло в котлах, индикатор давления.

---

**Паровая машина.** Первая паровая машина была создана в 1766 г. русским изобретателем Иваном Ползуновым. В 1784 г. Джеймс Уатт создал более совершенную паровую машину, получившую широкое применение.

На рисунке 126 изображена схема простейшей паровой машины. Основными частями ее являются: цилиндр с поршнем (1), паровой котел — нагреватель (2), холодильник (3). Пар образуется и нагревается в паровом котле за счет энергии сжигаемого топлива. Из парового котла пар поступает в цилиндр, здесь он расширяется и перемещает поршень вверх или вниз (в зависимости от того, через какое отверстие он поступает). При этом пар, расширяясь, охлаждается, и его внутренняя энергия уменьшается. Пар, совершивший работу по перемещению поршня, выходит из цилиндра в холодильник и конденсируется.

В XIX в. паровые машины были основными двигателями, используемыми в промышленности и на транспорте. Создание паровой машины способствовало быстрому развитию промышленности и изобретению более совершенных тепловых двигателей.

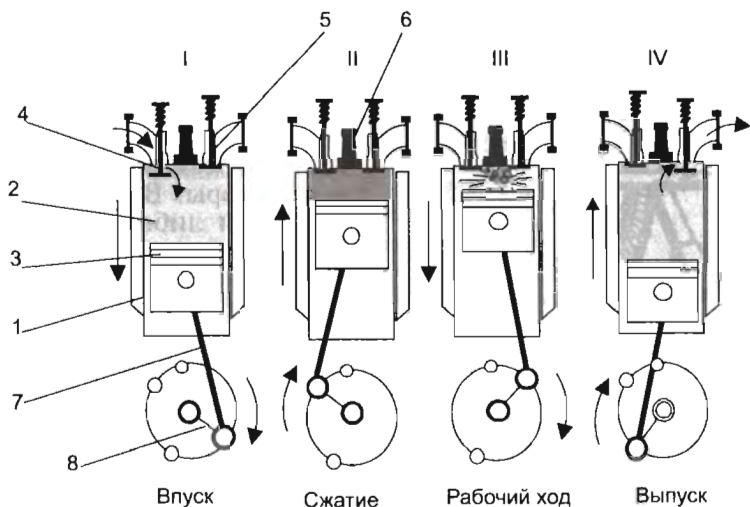
**Двигатель внутреннего сгорания.** Чтобы понять принцип действия двигателя внутреннего сгорания, проведем эксперимент. На дно прозрачного цилиндра положим смоченный эфиром кусочек ваты. Затем сверху вставим плотно пригнанный поршень. Если резко опустить поршень вниз, то пары эфира воспламятся (см. рис. 108). Поскольку процесс происходит достаточно быстро, то воздух не успевает обмениваться теплотой с окружающей средой ( $Q = 0$ , процесс адиабатный). При этом работа внешних сил идет на увеличение внутренней энергии ( $A_{\text{вн.с}} = \Delta U$ ), температура повышается, а пары эфира воспламеняются.

Нагревание воздуха при быстром сжатии нашло применение в двигателях внутреннего сгорания — *дизелях*. Внедрил их в практику немецкий изобретатель Рудольф Дизель (1858—1913) в 1897 г. В этих двигателях в цилиндр засасывается атмосферный воздух (I такт работы). К концу такта сжатия воздуха (II такт работы) в цилиндр с помощью специальной форсунки впрыскивается жидкое топливо. К этому моменту температура возрастает до  $1000^\circ\text{C}$  и горючее воспламеняется. Образовавшиеся газы (продукты сгорания) толкают поршень и совершают работу. Отработанные газы с температурой  $500\text{--}600^\circ\text{C}$  выбрасываются в атмосферу. Затем цикл повторяется. В дизелях нагревателем служат продукты сгорания топлива, холодильником — атмосфера.

Дизельные двигатели применяются на судах, тепловозах, грузовых автомобилях, тракторах, дизельных электростанциях.

---

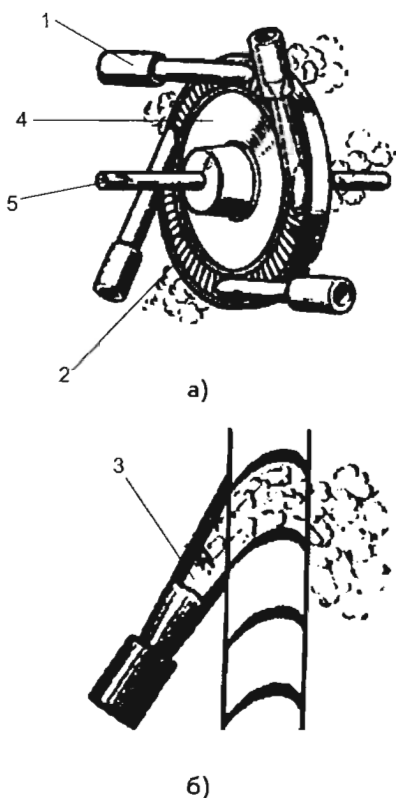
\* На автомобилях также используют двигатель внутреннего сгорания — *карбюраторный четырехтактный двигатель*. Первый четырехтактный газовый двигатель внутреннего сгорания в 1876 г. сконструировал немецкий инженер Николаус Отто (1832—1891). Рассмотрим упрощенную схему работы четырехтактного карбюраторного двигателя (рис. 127). *I такт — впуск горючей смеси в цилиндр двигателя*. Поршень 3 движется вниз из крайнего верхнего положения, входной клапан 4 открыт. При опускании поршня через клапан в камеру сгорания 2 всасывается горючая смесь — пары бензина с воздухом. Этот такт называется *всасыванием*. В конце такта клапан 4 закрывается, выходной клапан 5 тоже закрыт. *II такт — сжатие горючей смеси*. Поршень поднимается вверх; перед тем как поршень придет в крайнее верхнее положение, в запальной свече 6 проскакивает искра, происходит воспламенение горючей смеси в цилиндре двигателя. *III такт — рабочий ход* (расширение газов, образовавшихся при сгорании топлива). У газообразных продуктов сгорания температура достигает  $1600\text{--}1800^\circ\text{C}$ , внутри создается высокое давление. Газообразные продукты



**Рис. 127.** Схема работы четырехтактного автомобильного двигателя: 1 — цилиндр двигателя; 2 — камера сгорания; 3 — поршень, совершающий возвратно-поступательное движение; 4 — входной клапан; 5 — выходной клапан; 6 — запальная свеча; 7 — шатун; 8 — кривошип, соединенный с коленчатым валом

сгорания с большой силой давят на поршень, который опускается вниз и с помощью шатуна 7 и кривошипа 8 приводит во вращение коленчатый вал. *IV такт — выпуск отработанных газов.* В конце рабочего хода, когда поршень приходит в крайнее нижнее положение, открывается выходной клапан 5. Поршень, поднимаясь вверх, выталкивает отработанные газы в атмосферу, после чего начинается снова первый такт — всасывание горючей смеси. За полный цикл совершается только один рабочий такт, остальные три являются подготовительными. Такой двигатель не может самостоятельно начать работу — его вал надо раскрутить, для этого используется специальный электрический двигатель (стартер).

**Паровая или газовая турбина** («турбина» от лат. turbo — вихрь, вращение с большой скоростью). Основной частью турбины является диск 4, по окружности которого расположены изогнутые лопатки 2. На лопатки турбины направляется струя пара или газа, выходящая из трубок, называемых соплами 1 (рис. 128). Пар или газ — рабочее тело. Попадая на лопатки, струя пара (или газа) 3 уменьшает свою скорость и изменяет направление движения. За счет уменьшения кинетической энергии пара (или газа) лопатки приходят в движение и диск вращается.



**Рис. 128.** Паровая турбина:  
 а) схема устройства паровой турбины: 1 — сопло; 2 — лопатки; 3 — пар из котла; 4 — диск; 5 — вал; б) схема движения пара на лопатки турбины

У паровой турбины нагревателем служит паровой котел, а холодильником — атмосфера или специальные устройства для охлаждения и конденсации отработанного пара — конденсаторы. В паровом котле сжигают либо твердое топливо (уголь, сланцы, торф), либо жидкое топливо (нефть, мазут), либо природный газ.

С реактивным двигателем вы ознакомитесь в 8 классе.

**Коэффициент полезного действия тепловых двигателей.** В тепловых двигателях не вся внутренняя энергия пара или газа превращается в механическую энергию, а только ее часть. Пар или газ, совершивший работу, всегда отдает холодильнику часть своей внутренней энергии. Важнейшей характеристикой любого теплового двигателя является *коэффициент полезного действия (КПД)*.

Коэффициентом полезного действия теплового двигателя называется отношение совершенной работой телом работы ко всей энергии, полученной при сгорании топлива.

Коэффициент полезного действия (КПД) обозначается буквой греческого алфавита  $\eta$  (читается «эта»).

Формула расчета КПД

$$\eta = \frac{A_{\text{соверш.}}}{Q_{\text{затр.}}}$$

где  $A_{\text{соверш}}$  — полезная работа;  $Q_{\text{затр}}$  — энергия, полученная при сгорании топлива.

Часто КПД теплового двигателя выражают в процентах. В этом случае формула расчета КПД записывается так:

$$\eta = \frac{A_{\text{соверш}}}{Q_{\text{затр}}} \cdot 100\%.$$

Так как  $A_{\text{соверш}} = |Q_1| - |Q_2|$ , а  $Q_{\text{затр}} = Q_1$ , то формула расчета КПД может быть записана так:

$$\eta = \frac{|Q_1| - |Q_2|}{|Q_1|} \cdot 100\%.$$

КПД паровой машины равен 8—12%, паровой или газовой турбины — 20—40%, двигателей внутреннего сгорания — 20—25% (у бензиновых, карбюраторных), 30—36% (у дизеля).

КПД теплового двигателя показывает, какая часть энергии, полученной при сгорании топлива, идет на совершение работы.

Например, КПД дизельного двигателя  $\eta = 30\%$  (или 0,3). Это означает, что всего лишь 0,3 всей энергии топлива идет на совершение работы.

Как видно из формулы расчета КПД теплового двигателя, чтобы его повысить, необходимо повысить количество теплоты, переданное от нагревателя рабочему телу, и снизить количество теплоты, отданное холодильнику.

### Пример решения задачи

Тепловой двигатель получает от нагревателя количество теплоты, равное 0,4 МДж, и отдает холодильнику количество теплоты, равное 0,3 МДж. Чему равен КПД такого двигателя? Что означает полученный результат?

$\eta - ?$ $Q_1 = 4 \cdot 10^5 \text{ Дж}$ $Q_2 = 3 \cdot 10^5 \text{ Дж}$	<p style="text-align: right;"><i>Решение</i></p> $\eta = \frac{ Q_1  -  Q_2 }{ Q_1 },$ $\eta = (4 \cdot 10^5 - 3 \cdot 10^5) / 4 \cdot 10^5 = 1/4 = 0,25.$ <p>Выразим КПД в процентах:</p> $\eta = 0,25 \cdot 100\% = 25\%.$
--	--

**Ответ.** КПД теплового двигателя равен 25%. Это означает, что 0,25 всей полученной от нагревателя энергии идет на совершение работы рабочим телом.

---

? 1. Что понимают под тепловыми двигателями? 2. Какие виды тепловых двигателей вам известны? 3. Что объединяет все тепловые двигатели? Поясните принцип действия циклического теплового двигателя. 4. Почему в тепловых двигателях в качестве рабочего тела используется газ или пар, а не жидкость или твердое тело? 5. Что называется коэффициентом полезного действия теплового двигателя? 6. Как можно рассчитать коэффициент полезного действия теплового двигателя? Поясните величины, входящие в формулу КПД. 7. Может ли КПД теплового двигателя быть равным или большим 100%? Почему? 8. Что означает утверждение: «КПД газовой турбины 40%»?

---

● 1. Объясните принцип действия паровой машины. Что является нагревателем, рабочим телом, холодильником?

2. Объясните принцип действия двигателя внутреннего сгорания — дизеля. Что является нагревателем, рабочим телом, холодильником?

3. С помощью рисунка 128 объясните принцип действия паровой турбины. Что является нагревателем, рабочим телом, холодильником?

---

■ 1. Тепловой двигатель получает от нагревателя количество теплоты, равное 0,5 МДж, и отдает холодильнику количество теплоты, равное 0,4 МДж. Рассчитайте КПД такого двигателя. Что означает полученный результат?

2. КПД теплового двигателя 20%. Рабочее тело получило от нагревателя количество теплоты, равное 20 кДж. Рассчитайте работу, совершенную рабочим телом.

3. КПД теплового двигателя 36%. Рабочее тело получило от нагревателя количество теплоты, равное 3 МДж. Какое количество теплоты отдано холодильнику?

---

## § 38. ТЕПЛОВЫЕ ДВИГАТЕЛИ И ОХРАНА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

Любое транспортное средство преобразует один вид энергии в другой. Например, в автомобиле энергия сгорания топлива превращается в механическую (кинетическую) энергию и неизбежную потерю энергии в окружающую среду. В среднем потеря энергии во всех видах транспортных средств составляет около 70%: потери на преодоление трения, рассеивание внутренней энергии (тепла), вибрацию, шум, неполное сгорание топлива в тепловых двигателях и др. Все эти потери загрязняют окружающую среду. Одни из них локализируются вблизи транспортных средств (тепло, вибрация), другие (шум, отработанные газы) могут распространяться на большие расстояния.

Автомобиль не роскошь, а средство передвижения. Это всем хорошо известно. Но автотранспорт — один из главных загрязнителей атмосферного воздуха. Автомобили выбрасывают в атмосферу десятки миллионов тонн вредных веществ в год. С одной стороны, автомобиль облегчает человеку жизнь, а с другой — отравляет ее в самом прямом смысле слова. Только один легковой автомобиль ежегодно поглощает из атмосферы в среднем 4 т кислорода, выбрасывая с отработанными газами 800 кг оксидов углерода, около 40 кг оксидов азота и почти 200 кг различных углеводородов. Представьте, какова степень угрозы для живых организмов всех автомобилей планеты! В выхлопных газах двигателей внутреннего сгорания ученые обнаружили около 200 компонентов: оксиды углерода, оксиды азота, углеводороды, альдегиды, сажа, свинец, кадмий и др.

Причины повышенного «дымления» автомобилей различны — неисправность двигателя, неотлаженность системы питания или зажигания. Нарушение технологической дисциплины приводит к тому, что в атмосферу выбрасываются ядовитые вещества. Плохо накачанные шины не только быстрее изнашиваются, но и увеличивают сопротивление движению, а значит, больше сжигается горючего.

Для уменьшения вредных выбросов в атмосферу разработаны специальные *катализаторы*, снижающие уровень, например, угарного газа (СО) на 80%, оксидов азота (NO<sub>x</sub>) на 50%.

Можно ли уменьшить загрязнение окружающей среды при использовании двигателей внутреннего сгорания? Специалисты рассматривают самые разнообразные варианты. Остановимся на некоторых из них.

1. *Перевод автомобилей на дизельные двигатели.* В топливе дизельных двигателей нет свинцовых приставок, на 50—90% ниже выброс оксидов углерода и углеводородов. Одна из проблем уменьшения токсичности выбросов — повышение качества моторных топлив и масел. Существуют разработки с использованием новых видов горючего — смеси дизельного топлива и природного газа.

2. *Газ вместо бензина.* Проводятся эксперименты по переводу автомобильного транспорта на природный и сжиженный газ. Газ лучше бензина смешивается с воздухом, полнее сгорает в двигателе, а значит, меньше отработанных газов выбрасывается в атмосферу.

3. *Использование электромобилей*, которые снабжены специальным зарядным устройством — преобразователем электрического тока.

4. *Применение электродвигателей* в поездах на магнитной и воздушной подвеске.

Паровые и газовые турбины в основном используются на тепловых электростанциях и на крупных судах. Они приводят



в движение роторы генераторов электрического тока. Около 80% электроэнергии в нашей стране вырабатывается именно на тепловых электростанциях.

Топки электростанций выбрасывают в атмосферу вредные для живых организмов вещества. Кроме того, применение паровых и газовых турбин на электростанциях требует больших площадей под водоемы для охлаждения отработанного пара. При увеличении мощности электростанции возрастает потребность в воде и газе. С целью экономии занимаемой площади и водных ресурсов сооружают комплексы электростанций с замкнутым циклом водоснабжения.

Промышленные отходы и выхлопные газы, выделенная энергия не только загрязняют атмосферу, но и могут привести к глобальному изменению климата. Влияние человеческой цивилизации на климат Земли — реальность. Глобальное потепление атмосферы Земли происходит в результате повышения содержания в ней углекислого газа из-за вырубки лесов, сжигания топлива. Углекислый газ и другие загрязнители действуют подобно пленке или стеклу в парниках: они пропускают солнечное излучение к Земле и удерживают его.

Глобальное потепление способствует раннему таянию снегов, теплые воздушные массы сдвигаются к северу, что приводит к заметному перемещению в более высокие широты основных географических зон северного полушария. Потепление окажет существенное влияние на континентальные и морские льды, а это приведет к интенсивному их таянию и повышению уровня Мирового океана, к изменению природных комплексов.

Задача человечества — создать здоровую среду обитания. Для этого необходимо разумно использовать все виды энергии, беречь невозобновляемые природные ресурсы, переходить на энергосберегающие, малоотходные и безотходные технологии.

---

● **1.** На конкретных примерах покажите влияние на окружающую среду (атмосферу, гидросферу, литосферу, биосферу) работы тепловых двигателей: двигателя внутреннего сгорания, паровой турбины.

**2.** Можно ли уменьшить загрязнение окружающей среды при использовании тепловых двигателей? Приведите примеры.

**3.** В настоящее время растет число различных транспортных средств (легковых и грузовых автомобилей, танкеров, самолетов и др.). Как это влияет на окружающую среду? Ответ обоснуйте.

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

### **ЧЕЛОВЕК И ОКРУЖАЮЩАЯ СРЕДА**

Устойчивость окружающей среды определяется многими параметрами: среднегодовой температурой атмосферы, высотой над уровнем моря, среднегодовой влажностью воздуха, освещенностью, газовым составом атмосферы, гравитационным и электромагнитным полями, космическим излучением, количеством видов животных и растений на определенной территории, минеральным составом природных вод и др. Устойчивая окружающая среда обладает свойством восстанавливать свое состояние после воздействия на нее. Задача всего человечества, а также и наша с вами — сберечь устойчивую окружающую среду, обеспечивающую сохранение и развитие жизни на Земле.

**Влияние человека на окружающую среду.** Планета Земля, на которой мы живем, очень сложная система. Эволюция этой системы определяется, с одной стороны, взаимодействием составляющих ее природных сред: атмосферы, гидросферы, литосферы, биосферы, а с другой стороны непрерывным воздействием на нее человека.

Нынешнее поколение людей убедилось в том, что окружающая нас среда не обладает бесконечной невосприимчивостью (иммунитетом) к ее изменениям.

Необходимые спутники цивилизации — автотранспорт, тепловые и атомные электростанции — оставляют нам опасное наследство. Раньше неоправданно считали, что природа способна служить резервуаром для хранения огромных количеств вредных веществ. Поэтому широко использовали методы захоронения в земле различных отходов и считали, что это безопасно и надежно. Теперь мы убеждаемся, что это ложный путь.

К каким же последствиям приводит загрязнение Земли? Во-первых, к сокращению естественной среды обитания живых существ. Во-вторых, загрязнение какого-либо района создает опасность для соседних с ним территорий из-за миграции загрязнений, например через подпочвенные водоносные горизонты. В-третьих, загрязнение воздуха вредными газами, включая метан и оксиды углерода, способствующими созданию парникового эффекта, может привести к глобальным изменениям окружающей среды — повышению температуры. Избыточное содержание озона в приземном слое вызывает бронхолегочные заболевания, заболевание дыхательного тракта, а его недостаток делает опасным прямое воздействие солнечных лучей на живые организмы.

Обостряющийся в настоящее время глобальный экологический кризис уже не первый в истории существования на

Земле живого и его эволюции. Существование биосферы Земли насчитывает около 3—4 млрд лет. Один из первых экологических кризисов, по мнению ученых, был на Земле в те древнейшие времена, когда в процессе эволюции живые клетки различных организмов выделяли в огромных количествах кислород и тем самым создавали кислородную атмосферу. До этого на Земле существовало много форм бескислородных организмов, и для них создание чуждой кислородной атмосферы было катастрофическим событием — глобальным экологическим кризисом, приведшим к вымиранию большинства этих форм. В ходе последующей эволюции биосферы установилось равновесие ее составных частей.

Глобальные экологические катастрофы в истории Земли вызывались разными естественными планетарными событиями (в частности, сменяющимися эпохами горообразования и движения различных участков литосферы, изменениями в составе атмосферы и климата, наступлением и отступлением Мирового океана и т. п.).

Теперь главнейший фактор глобального экологического кризиса на Земле — человек, и в этом заключается главное отличие настоящего кризиса от всех предыдущих. Неразумная антропогенная деятельность вносит огромный дисбаланс в равновесие земной биосферы. Литосфера является основой биосферы — сферы жизни на Земле. На горных породах как на основании формируются почвы, ландшафты, развиваются растительные и животные сообщества.

Индустриальная революция в мире привела к глобальному вмешательству человека в литосферу, прежде всего при добыче полезных ископаемых. Так, количество извлекаемого материала в литосфере Земли при добыче полезных ископаемых и строительстве превышает 100 млрд т в год, что примерно в 4 раза больше массы материала, сносимого водами рек в океаны. Ежегодный объем наносов, перемещаемых всеми текучими водами, на земной поверхности в 30 раз меньше, чем переносится горных пород при строительстве и добыче полезных ископаемых. При этом надо иметь в виду, что суммарная мощность производства в мире удваивается каждые 14—15 лет.

На огромных площадях поверхности Земли и в ее недрах происходит ускорение различных неблагоприятных процессов и явлений: образование оползней, селей, подтопление и заболачивание территорий, засоление почв и т. п., которые были вызваны или активизированы человеком.

Широко бытует мнение, что в отличие от растений или животных, которые более или менее чутко реагируют на вызванные человеком воздействия, сама «земля» — верхние горизонты литосферы, горные породы и почвы — может «выдержать» что угодно: и сброс загрязнений, и подземные

ядерные взрывы, и захоронение всевозможных токсичных или просто ненужных отходов, и безудержную эксплуатацию недр, откуда извлекаются в гигантских масштабах многие полезные ископаемые, и т. д. Но это глубоко ошибочное мнение. У человечества хватило здравого смысла запретить ядерные испытания в атмосфере и гидросфере. Но до последнего времени некоторые страны проводили и проводят испытания в литосфере.

Но, кроме подземных ядерных испытаний, не меньшую тревогу должны вызывать такие воздействия на литосферу, как свалки твердых бытовых отходов, загрязнение промышленными стоками подземных вод и вследствие этого сокращение запасов питьевой воды, механическое, термическое, электромагнитное и другие воздействия на верхние горизонты земной коры. Одни лишь коммунальные отходы, накапливающиеся на свалках, представляют собой существенный фактор воздействия, а их утилизация — серьезную проблему во всем мире. В результате Земля превращается в гигантскую свалку, литосфера начинает испытывать необратимые негативные изменения, экологические последствия которых труднопредсказуемы.

С каждым годом интенсивность воздействия человека на литосферу все более возрастает. Если к 1985 г. суммарная площадь суши, покрываемая всеми видами инженерных сооружений (здания, дороги, водохранилища, каналы и т. п.), составляла 8%, то к 1990 г. она превысила 10%, а в 2000 г. возрасла до 15%, т. е. приблизилась к 1/6 площади суши Земли. Если сюда прибавить площади, используемые под сельское хозяйство, то получится, что этими видами деятельности затронуто около половины суши (без Антарктиды). При этом надо иметь в виду, что поверхность и подземное пространство литосферы «осваиваются» очень неравномерно.

«Освоение» литосферы идет не только вширь, но и вглубь. Полезные ископаемые добываются все с большей глубины. Растет число шахт и карьеров глубокого заложения, увеличивается глубина буровых скважин (достигших отметки 12 км). Из-за недостатка площадей в городах человек все в большей степени осваивает и использует подземное пространство (метро, переходы, тоннели, хранилища, архивы). Наибольшее по масштабам воздействие человека на литосферу обусловлено прежде всего такими видами деятельности, как горно-техническая (добыча и переработка полезных ископаемых), инженерно-строительная, сельскохозяйственная и военная. Все они действуют как мощный геологический фактор, меняющий лик Земли, состав, состояние и свойства литосферы, как фактор, влияющий на состояние экосистем.

Можно привести много примеров, раскрывающих масштабы антропогенных воздействий на литосферу. Ограничимся

лишь некоторыми. В настоящее время общая протяженность железных дорог на Земле составляет более 1 400 000 км, т. е. в 3,5 раза больше, чем расстояние от Земли до Луны. И на всем этом протяжении нарушается почвенный покров, меняются геологические условия прилегающих к дороге территорий. Протяженность автомобильных дорог в мире еще больше. Подсчитано, что при прокладке 1 км дороги нарушается около 2 га растительного и почвенного покрова.

Суммарная длина берегов искусственных водохранилищ, построенных на территории бывшего СССР к середине 80-х гг., равнялась длине экватора Земли. Протяженность магистральных оросительных и судоходных каналов на территории СНГ намного больше и составляет около 3/4 расстояния от Земли до Луны.

Антропогенная деятельность может приводить даже к возникновению таких грандиозных и опасных явлений, как землетрясения, известные под названием «наведенная сейсмичность». Чаще всего такие землетрясения возникают в связи со строительством крупных и глубинных водохранилищ. Наведенная сейсмичность проявляется, постепенно снижаясь, в течение 3—5 лет после окончания заполнения водохранилища. Впервые наведенная сейсмичность была зафиксирована в Алжире (достигшая 7 баллов), а позднее — в России, Италии, Франции, Греции, Швейцарии, Китае, Японии, Пакистане, Австралии, США. Сейсмические колебания возникают и при подземных ядерных испытаниях.

Человек в огромных объемах производит искусственные грунты — перемещенные или созданные массы горных пород, отвалы, насыпи, намывные грунты, шлаки, золу и т. п. Характерным примером образования огромных масс искусственных грунтов является строительство крупных топливно-энергетических комплексов. Сжигаемый уголь превращается в золу и шлаки. Их утилизация — серьезная экологическая проблема на Земле.

**Космический мусор.** В современную эпоху выхода человека в космос возникла проблема очистки околоземного космического пространства от возможного заражения земными бактериями и от множества остатков ракет, космических аппаратов. Отработавшие спутники ракет-носителей, сброшенные детали при полетах спутников и пилотируемых кораблей, а также фрагменты, возникшие при их столкновениях, составляют часть космического мусора. Единственные объекты, которые сейчас специально возвращают на Землю, — это пилотируемые космические корабли, а также очень немногие автоматические аппараты, данные о которых не могут быть переданы по радио.

Большая часть мусора, летающего на низких орбитах, удаляется из космоса естественным путем. Он теряет скорость

за счет торможения в разреженных слоях атмосферы, в результате опускается в более плотные слои и испаряется благодаря трению о воздух. Осколки, летящие на орбитах выше тысячи километров от поверхности Земли, могут оставаться там сотни, тысячи и даже миллионы лет.

Исследования показали, что вокруг Земли обращается свыше 10 тыс. осколков размером с теннисный мяч и более, а также десятки миллионов мелких. Вследствие больших скоростей, с которыми они несутся по орбитам, осколки размером с теннисный мяч способны полностью вывести из строя спутник. Кусочек металла размером в сантиметр, летящий со скоростью 10 км/с, характерной для сравнительно низких орбит, вполне может пробить космический скафандр.

**Здоровье человека и окружающая среда.** Ежедневно с пищей, водой, а также через дыхательные пути в организм человека поступают микроколичества самых разнообразных соединений, необходимых для жизнедеятельности. Однако избыток какого-либо элемента вызывает определенное расстройство или заболевание.

Вследствие хозяйственной деятельности человека миграция вредных веществ в окружающей среде, в частности в системе *почва — вода — атмосфера — живое вещество*, приобрела гигантские масштабы.

Неблагоприятное влияние на организм человека оказывают свинец и соединения свинца. До 90% от общего количества выброса свинца принадлежит к продуктам сгорания бензина с примесью свинцовых соединений. Появление значительных количеств рассеянного свинца в геосфере привело к повышению накопления этого металла в организме человека, животных и растений.

Все живые организмы аккумулируют *тяжелые металлы* (свинец, цинк, кобальт, ртуть и др.) вдоль пищевой цепи. Человек, представляющий одно из последних звеньев пищевой цепи, испытывает на себе опасность воздействия тяжелых металлов. Органические соединения свинца поступают в организм человека через кожу и слизистые оболочки, с пищей и водой, неорганические (например, содержащиеся в выхлопных газах) — через дыхательные пути и пищеварительный тракт.

В атмосферном воздухе *свинец* содержится почти исключительно в виде неорганических соединений. Поступая в кровь, соединения свинца снижают активность ферментов, нарушают обменные процессы в организме, вызывают заболевания нервной и кровеносной систем.

*Ртуть* может попадать в организм при вдыхании, с пищей и через кожу. Особенно токсичны органические соединения ртути, образующиеся в природе. В организме ртуть циркулирует в крови, соединяясь с белками, частично откла-

дывается в печени, почках, селезенке, ткани мозга. При отравлениях ртутью или ее соединениями наблюдаются признаки поражения центральной нервной системы, эмоциональная неустойчивость, раздражительность, снижение работоспособности, нарушение сна, снижение обоняния, головные боли.

Повышенное содержание *кадмия* может привести к серьезным заболеваниям нервной системы и костных тканей.

*Оксид углерода*, попадая в кровь, так действует на красные кровяные шарики — эритроциты, что они теряют способность транспортировать кислород. В результате наступает кислородное голодание организма, а это сказывается на центральной нервной системе. Когда мы вдыхаем *оксиды азота*, то они в дыхательных путях соединяются с водой и образуют азотную или азотистую кислоту. В результате возникают не только раздражение слизистых оболочек, но и тяжелые заболевания.

Типичным представителем канцерогенных веществ, т. е. веществ, способствующих образованию раковых опухолей, является *бенз(а)пирен*. Он также содержится в выхлопах двигателей внутреннего сгорания.

Автомобили используют на колесах шипованную резину. При движении автомобилей изнашиваются шины и асфальтовые покрытия автомобильных дорог, а это увеличивает количество взвешенной в воздухе и осевшей на поверхность пыли.

В крупных городах возникает *смог* (фотохимический туман). Для его образования необходим солнечный свет, вызывающий сложные фотохимические превращения в смеси углеводородов и оксидов азота автомобильных выбросов. В ходе фотохимических реакций образуются новые вещества, значительно превышающие по своей токсичности исходные атмосферные загрязнения.

Смог влияет на организм человека, растения, вызывает коррозию металлов, растрескивание красок, резиновых и синтетических изделий, портит одежду, нарушает работу транспорта.

Во время смога появляется запах, резко ухудшается видимость, у людей воспаляются глаза, слизистые оболочки носа и горла, отмечаются симптомы удушья, обострение легочных заболеваний, нарушение работы органов кровообращения. Смог отрицательно действует на нервную систему, вызывает обострение бронхиальной астмы.

Задача каждого из нас — осознать, что здоровье человека зависит от состояния окружающей среды. Участь человечества и всей жизни на Земле в значительной степени зависит от установления равновесия между удовлетворением своих потребностей и ограничениями экологического характера.

---

● 1. Обоснуйте справедливость утверждения: «Человек оказывает существенное влияние на окружающую среду: атмосферу, гидросферу, литосферу, биосферу, ближнее космическое пространство». Приведите примеры.

2. «Окружающая среда оказывает существенное влияние на здоровье человека». Обоснуйте это утверждение, приведите примеры.

При ответе обратите внимание на:

а) влияние свинца и его соединений на здоровье человека; б) влияние ртути на здоровье человека; в) влияние кадмия и оксидов углерода, азота на здоровье человека; г) влияние смога (фотохимического тумана) на здоровье человека; д) влияние влажности и изменения атмосферного давления на здоровье человека.



## ПОВТОРИТЕЛЬНО-ОБОБЩАЮЩИЙ РАЗДЕЛ

**?** 1. «Человек — часть Вселенной». Как вы понимаете это утверждение? Ответ обоснуйте примерами.

2. Физика — наука о природе. Какие основные методы изучения природы используются в физике? Ответ обоснуйте примерами.

3. Для описания явлений, процессов, объектов в науке используются разнообразные модели. Приведите примеры моделей, которые использовались в курсе физики.

4. Приведите примеры опытов, явлений, доказывающих дискретное строение вещества.

5. Сформулируйте основные положения атомно-молекулярного учения о строении вещества. Приведите примеры, подтверждающие справедливость каждого из этих положений.

6. Объясните явление диффузии на основе атомно-молекулярного учения о строении вещества.

7. Объясните броуновское движение на основе атомно-молекулярного учения о строении вещества.

8. В чем сходство и в чем различие между броуновским движением и диффузией?

9. Каков порядок:

а) линейных размеров молекул различных веществ? Приведите примеры;

б) масс атомов и молекул различных веществ? Приведите примеры.

10. Назовите основные признаки газообразного состояния вещества. Какими свойствами обладают газы?

11. Объясните способность газов занимать весь предоставленный им объем на основе атомно-молекулярного учения о строении вещества.

12. Объясните способность газов оказывать давление на стенки сосуда на основе атомно-молекулярного учения о строении вещества.

13. Свойства газов нашли широкое применение в быту и технике. Приведите примеры.

**14.** Назовите основные признаки жидкого состояния вещества. Какими свойствами обладают жидкости?

**15.** Объясните плохую сжимаемость жидкостей на основе атомно-молекулярного учения о строении вещества.

**16.** На основе атомно-молекулярного учения о строении вещества объясните процессы испарения и конденсации.

**17.** Испарение и конденсация имеют существенное значение для живых организмов, в технике и быту. Приведите примеры.

**18.** Назовите основные внешние признаки кипения. Объясните кипение на основе атомно-молекулярного учения о строении вещества.

**19.** Влажность воздуха имеет существенное значение для живых организмов, нормального протекания производственных процессов, сохранения произведений искусства. Приведите примеры.

**20.** Поверхностное натяжение имеет огромное значение в природе, технике и быту. Приведите примеры.

**21.** На основе атомно-молекулярного учения о строении вещества объясните смачивание и несмачивание жидкостью материала капиллярной трубки.

**22.** Если на поверхность воды положить нить и по одну сторону от нее капнуть этиловый эфир, то нить начнет двигаться. Почему это происходит? В какую сторону начнет двигаться нить? Необходимые для объяснения данные найдите в таблице. Если есть возможность, проверьте выводы экспериментально.

**23.** Назовите основные признаки твердого состояния вещества. Какими свойствами обладают твердые тела? Приведите примеры.

**24.** На основе атомно-молекулярного учения о строении вещества объясните процессы плавления и кристаллизации.

**25.** Твердые тела испытывают различные виды деформаций. Какие виды деформаций вам известны? Приведите примеры проявления каждого вида деформаций.

**26.** Сравните различные агрегатные состояния вещества, ответив на вопросы:

1) Какое расстояние между частицами вещества в сравнении с размерами самих частиц?

2) Что можно сказать о взаимодействии частиц?

3) Каков характер движения частиц?

4) Каков порядок в расположении частиц (ближний или дальний)?

5) Какими свойствами обладают вещества?  
 Ответы на вопросы запишите в таблицу.

Агрегатное состояние вещества	Вопрос				
	1	2	3	4	5
Газообразное					
Жидкое					
Твердое					

Несмотря на различия, указанные в таблице, в движениях частиц газов, жидкостей и твердых тел имеется сходство. В чем их сходство?

**27.** Современной медицине часто требуются материалы с необычными свойствами. Такие материалы необходимы для создания искусственных органов: клапанов и желудочков сердца, кровеносных сосудов и т. д. Какими свойствами должны они обладать?

**28.** Снег и лед в конце концов могут исчезнуть с поверхности земли и асфальта, даже если температура воздуха все время остается ниже температуры кристаллизации воды. Объясните, как это может произойти.

**29.** В таблице приведены некоторые физические параметры, характеризующие организм человека.

Параметры	Значение
Средняя плотность тканей тела человека	1036 кг/м <sup>3</sup>
Плотность крови (при $t = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$ )	1050 кг/м <sup>3</sup>
Нормальная температура тела (для 90% людей)	36,3—37 °C
Температура кожи отдельных участков тела: ладонь руки лоб верхняя часть груди живот подмышечная впадина подошва	32,9 °C 33,4 °C 32,8 °C 31,1 °C 36,7 °C 30,2 °C
Температура плавления крови	?
Коэффициент поверхностного натяжения крови (при $t = 37\text{ }^{\circ}\text{C}$ )	?

Параметры	Значение
Масса воды, испаряемая с поверхности кожи и легких в сутки	0,8—2,0 кг
Наиболее благоприятная для жизни человека относительная влажность воздуха (при $t = 20—25\text{ }^{\circ}\text{C}$ )	?
Модуль упругости: сухожилия и связки мышцы кости	$(1,0—1,5) \cdot 10^9\text{ Па}$ $(8,0—10,0) \cdot 10^6\text{ Па}$ $23 \cdot 10^9\text{ Па}$
Предел прочности на растяжение: сухожилия и связки мышцы кости	$60 \cdot 10^6\text{ Па}$ $(0,5—1,0) \cdot 10^6\text{ Па}$ $120 \cdot 10^6\text{ Па}$

1) Используя табличные данные учебника, допишите недостающие величины.

2) Сравните механические свойства организма человека. Какой вывод вы можете сделать?

3) Сравните тепловые характеристики организма. Какой вывод вы можете сделать?

**30.** Что понимают под внутренней энергией тела? Какие способы изменения внутренней энергии вам известны? Приведите примеры.

**31.** Какие виды теплообмена вам известны? Приведите примеры проявления каждого вида теплообмена.

**32.** На рисунке 129 изображен известный вам опыт: нагревание стеклянной пробирки с воздухом. Какое свойство воздуха и стекла доказывает этот опыт?

**33.** На рисунке 130 изображен опыт, иллюстрирующий вращение бумажной вертушки в потоках горячего воздуха. Какой вид теплообмена при этом проявляется? В чем особенность этого вида теплообмена?

**34.** На дно пробирки положили кусочки льда, затем сверху налили воду комнатной температуры. Если нагревать воду так, как показано на рисунке 131, то она закипает. Почему лед при этом не тает? Какие свойства воды и стекла иллюстрирует данный опыт?

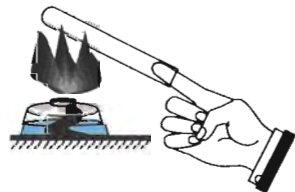


Рис. 129



Рис. 130

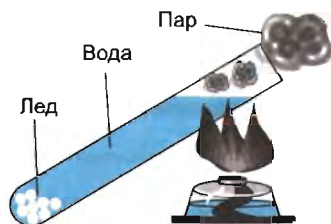


Рис. 131

35. Какие виды теплообмена человека с окружающей средой вам известны? Приведите примеры.

36. Каково влияние на окружающую среду продуктов сгорания топлива? Приведите примеры.

---

● *Выберите правильный ответ.*

1. Все тела состоят...
  - А. из маленьких шариков (металлических, пластмассовых или стеклянных).
  - Б. только из протонов.
  - В. из частиц (молекул, атомов и др.).
  - Г. только из электронов.
2. Явление диффузии доказывает...
  - А. только факт существования молекул.
  - Б. только факт движения молекул.
  - В. факт существования и движения молекул.
  - Г. факт взаимодействия молекул.
3. Диффузия происходит...
  - А. только в газах.
  - Б. только в жидкостях.
  - В. только в твердых телах.
  - Г. в газах, жидкостях и твердых телах.
4. В процессе диффузии...
  - А. молекулы (атомы) одного вещества проникают в межмолекулярное (межатомное) пространство другого вещества.
  - Б. молекулы (атомы) одного вещества проникают в молекулы (атомы) другого вещества.
  - В. молекулы (атомы) вещества находятся в состоянии покоя.
  - Г. молекулы (атомы) вещества увеличиваются в размерах.
5. Мелкие частицы, взвешенные в жидкостях, ...
  - А. хаотически движутся под действием молекул жидкости.
  - Б. всегда покоятся.
  - В. совершают колебательное движение около положения равновесия.
  - Г. совершают круговые движения.
- \* 6. Какое явление лежит в основе процесса обмена газов при дыхании низших растений?
  - А. Конвекция.
  - Б. Броуновское движение.
  - В. Диффузия.
  - Г. Фотосинтез.
7. Частицы, из которых состоит вещество, ...
  - А. начинают двигаться, если тело бросить вверх.
  - Б. находятся в покое, если тело нагреть до 100 °С.
  - В. при любой температуре движутся непрерывно и хаотично.

8. Какое из перечисленных ниже явлений может служить доказательством того, что между частицами вещества проявляются силы притяжения?

- А. Лед в теплом помещении тает.
- Б. Запах цветов распространяется в воздухе.
- В. Свинцовые цилиндры слипаются, если их прижать друг к другу свежими срезами.
- Г. При прохождении тока электрическая лампочка светится.

9. Железный брусок практически невозможно сжать. Это объясняется тем, что при сжатии частицы железа...

- А. начинают непрерывно хаотически двигаться.
- Б. начинают сильнее притягиваться друг к другу.
- В. имеют одинаковую массу и одинаковые размеры.
- Г. начинают сильнее отталкиваться друг от друга.

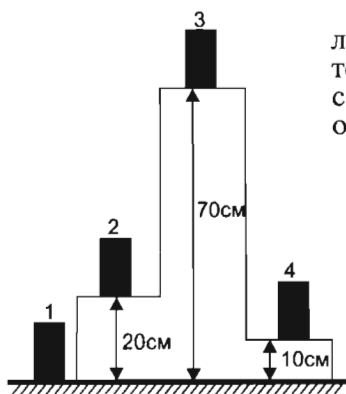


Рис. 132

10. На рисунке 132 показаны различные положения одного и того же тела. Температура тела и окружающей среды не меняется. Что можно сказать о внутренней энергии тела?

- А. Внутренняя энергия тела в положении 1 наибольшая.
- Б. Внутренняя энергия тела в положении 2 наибольшая.
- В. Внутренняя энергия тела в положении 3 наибольшая.
- Г. Внутренняя энергия тела в положении 4 наибольшая.
- Д. Внутренняя энергия тела в положениях 1, 2, 3 и 4 одинакова.

11. Во время обработки на токарном станке деталь нагревается. Как изменилась ее внутренняя энергия?

- А. Уменьшилась за счет теплопередачи.
- Б. Увеличилась за счет теплопередачи.
- В. Увеличилась за счет совершения работы.
- Г. Уменьшилась за счет совершения работы.

12. Какой вид теплообмена сопровождается переносом вещества?

- А. Только теплопроводность.
- Б. Только конвекция.
- В. Только лучистый теплообмен.
- Г. Теплопроводность и лучистый теплообмен.

13. Внутренние слои Солнца условно делят на три примерно одинаковые по протяженности части: зона ядерных ре-

акций, лучистая зона, конвективная зона. В какой из зон происходит перенос вещества?

- А. Во всех зонах.
- Б. В зоне ядерных реакций.
- В. В лучистой зоне.
- Г. В конвективной зоне.

14. На Земле в огромных масштабах осуществляется круговорот воздушных масс. С каким видом теплообмена преимущественно связано движение воздуха?

- А. Теплопроводность и лучистый теплообмен.
- Б. Теплопроводность.
- В. Лучистый теплообмен.
- Г. Конвекция.

15. Какой вид теплообмена в основном определяет передачу энергии от Солнца к Земле?

- А. Конвекция.
- Б. Лучистый теплообмен.
- В. Теплопроводность.
- Г. Теплопроводность и конвекция.

16. Для обогрева помещений используются батареи центрального отопления. Обогреву комнаты преимущественно способствует...

- А. Теплопроводность.
- Б. Конвекция.
- В. Лучистый теплообмен.
- Г. Лучистый теплообмен и теплопроводность.

17. Два одинаковых твердых тела, имеющие различные температуры, привели в соприкосновение тремя способами так, как показано на рисунке 133. Какое из перечисленных ниже утверждений является верным?

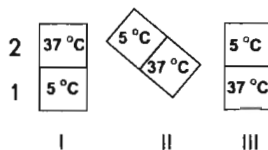


Рис. 133

- А. Теплопередача осуществляется только в положении I от тела 1 к телу 2.
- Б. Теплопередача осуществляется только в положении II от тела 2 к телу 1.
- В. Теплопередача осуществляется только в положении III от тела 1 к телу 2.
- Г. В любом положении тел теплопередача осуществляется от тела 2 к телу 1.

18. При измерении температуры жидкости рекомендуется подождать некоторое время, прежде чем записывать показания термометра. Это объясняется тем, что...

- А. должно наступить тепловое равновесие между термометром и жидкостью.



- Б. жидкость испаряется.
- В. жидкость конденсируется.
- Г. жидкость плохо сжимается.

19. Газ сжали, совершив работу, равную 3,6 кДж. В процессе сжатия в окружающую среду было передано количество теплоты, равное 3 кДж. Изменение внутренней энергии газа равно...

- А. 3,6 кДж.
- Б. 0,6 Дж.
- В. 3 кДж.
- Г. 6,6 кДж.

20. В процессе адиабатного сжатия над газом совершается работа, равная 30 МДж. При этом внутренняя энергия газа...

- А. становится равной нулю.
- Б. уменьшается на 30 МДж.
- В. увеличивается на 30 МДж.
- Г. может увеличиться или уменьшиться на 30 МДж.

21. На каком из графиков — А, Б, В или Г — можно найти участок, соответствующий кристаллизации ртути (рис. 134)?

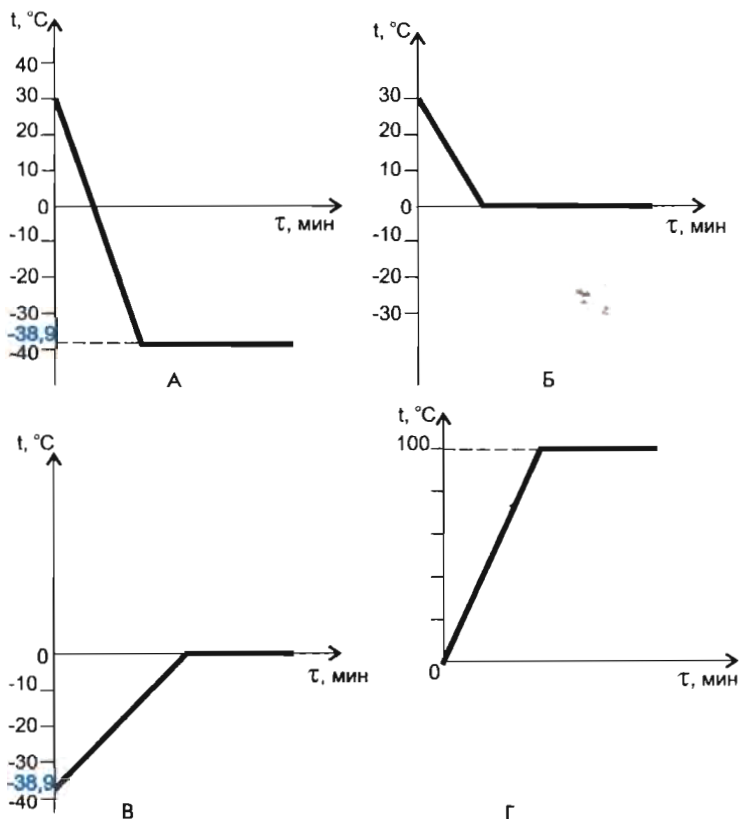


Рис. 134

- 22.** Удельная теплоемкость графита равна  $750 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot ^\circ\text{C})$ . Это означает, что...
- А.** для нагревания любой массы графита на  $1^\circ\text{C}$  требуется  $750 \text{ Дж}$  теплоты.  
**Б.**  $1 \text{ кг}$  графита при  $0^\circ\text{C}$  выделяет  $750 \text{ Дж}$  теплоты.  
**В.** любой массе графита при  $100^\circ\text{C}$  сообщается  $750 \text{ Дж}$  теплоты.  
**Г.** для нагревания  $1 \text{ кг}$  графита на  $1^\circ\text{C}$  потребуется  $750 \text{ Дж}$  теплоты.
- 23.** Нагретый кирпич массой  $4 \text{ кг}$ , охлаждаясь в воде на  $2^\circ\text{C}$ , отдает ей  $7040 \text{ Дж}$  энергии. Чему равна удельная теплоемкость кирпича?
- А.**  $880 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot ^\circ\text{C})$ . **Б.**  $56320 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot ^\circ\text{C})$ .  
**В.**  $\approx 0,001 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot ^\circ\text{C})$ . **Г.**  $3520 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot ^\circ\text{C})$ .
- 24.** Железный брусок массой  $120 \text{ г}$  нагрели на  $70^\circ\text{C}$ . Какое количество теплоты было сообщено бруску? Удельная теплоемкость железа  $460 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot ^\circ\text{C})$ .
- А.**  $3864000 \text{ Дж}$ . **Б.**  $3864 \text{ Дж}$ . **В.**  $\approx 18,3 \text{ Дж}$ . **Г.**  $\approx 0,05 \text{ Дж}$ .
- 25.** Из холодильника вынули пакет с  $200 \text{ г}$  кефира и поставили на стол. Температура в холодильнике  $4^\circ\text{C}$ . Какое количество теплоты получит кефир при нагревании до комнатной температуры  $24^\circ\text{C}$ ? Удельная теплоемкость кефира равна  $3800 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot ^\circ\text{C})$ .
- А.**  $3040 \text{ Дж}$ . **Б.**  $15,2 \text{ МДж}$ .  
**В.**  $15,2 \text{ кДж}$ . **Г.**  $18240 \text{ Дж}$ .
- 26.** Какую массу спирта необходимо сжечь, чтобы выделилось количество теплоты, равное  $5,4 \cdot 10^7 \text{ Дж}$ ? Удельная теплота сгорания спирта  $2,7 \cdot 10^7 \text{ Дж}/\text{кг}$ .
- А.**  $14,6 \cdot 10^{14} \text{ кг}$ . **Б.**  $0,5 \text{ кг}$ . **В.**  $2,1 \text{ г}$ . **Г.**  $2,1 \text{ кг}$ .
- 27.** Какое количество теплоты выделяется при полном сгорании  $5 \text{ т}$  антрацита? Удельная теплота сгорания антрацита  $3 \cdot 10^7 \text{ Дж}/\text{кг}$ .
- А.**  $15 \cdot 10^7 \text{ Дж}$ .  
**Б.**  $15 \cdot 10^{10} \text{ Дж}$ .  
**В.**  $6 \cdot 10^6 \text{ Дж}$ .  
**Г.**  $6 \cdot 10^3 \text{ Дж}$ .
- 28.** Плавление вещества происходит потому, что...
- А.** частицы с любыми скоростями покидают твердое тело.  
**Б.** частицы уменьшаются в размерах.  
**В.** разрушается кристаллическая решетка.  
**Г.** уменьшается потенциальная энергия частиц твердого тела.
- 29.** Удельная теплота плавления стали равна  $84000 \text{ Дж}/\text{кг}$ . Это утверждение означает, что...

- А. для плавления любой массы стали при температуре  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$  потребуется  $84\ 000$  Дж теплоты.  
 Б. для плавления любой массы стали при температуре  $100\text{ }^{\circ}\text{C}$  потребуется  $84\ 000$  Дж теплоты.  
 В. для плавления  $1$  кг стали при температуре  $1500\text{ }^{\circ}\text{C}$  потребуется  $84\ 000$  Дж теплоты.  
 Г. для плавления любой массы стали при температуре  $1500\text{ }^{\circ}\text{C}$  потребуется  $84\ 000$  Дж теплоты.
- 30.** Кристаллическое тело плавится при постоянной температуре. При этом подводимая к телу энергия преобразуется...
- А. в механическую энергию тела.  
 Б. во внутреннюю энергию тела.  
 В. в кинетическую энергию частиц тела.  
 Г. в потенциальную энергию частиц тела.
- 31.** Какое количество теплоты выделится при кристаллизации  $0,5$  кг ртути? Удельная теплота плавления ртути равна  $12 \cdot 10^3$  Дж/кг.
- А.  $24 \cdot 10^3$  Дж. Б.  $6 \cdot 10^3$  Дж.  
 В.  $\approx 4 \cdot 10^{-5}$  Дж. Г.  $12 \cdot 10^3$  Дж.
- 32.** Испарение жидкости происходит потому, что...
- А. самые массивные частицы покидают жидкость и переходят в газ.  
 Б. самые крупные частицы покидают жидкость и переходят в газ.  
 В. самые быстрые частицы покидают жидкость и переходят в газ.  
 Г. самые быстрые частицы переходят из газа в жидкость.
- 33.** Удельная теплота парообразования свинца  $860\ 000$  Дж/кг. Это утверждение означает, что...
- А. для парообразования  $1$  кг свинца при  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$  потребуется  $860\ 000$  Дж теплоты.  
 Б. для парообразования любой массы свинца при любой температуре потребуется  $860\ 000$  Дж теплоты.  
 В. для парообразования  $1$  кг свинца при  $1745\text{ }^{\circ}\text{C}$  потребуется  $860\ 000$  Дж теплоты.  
 Г. для парообразования любой массы свинца при  $1745\text{ }^{\circ}\text{C}$  потребуется  $860\ 000$  Дж теплоты.
- 34.** Какое количество теплоты потребуется для того, чтобы превратить в пар  $300$  г цинка при температуре кипения? Удельная теплота парообразования цинка равна  $1\ 800\ 000$  Дж/кг.
- А.  $5,7 \cdot 10^7$  Дж.  
 Б.  $5,4 \cdot 10^5$  Дж.  
 В.  $6000$  Дж.  
 Г.  $6 \cdot 10^6$  Дж.

35. На каком из графиков — А, Б, В или Г — можно найти участок, соответствующий процессу плавления свинцового образца (рис. 135)?

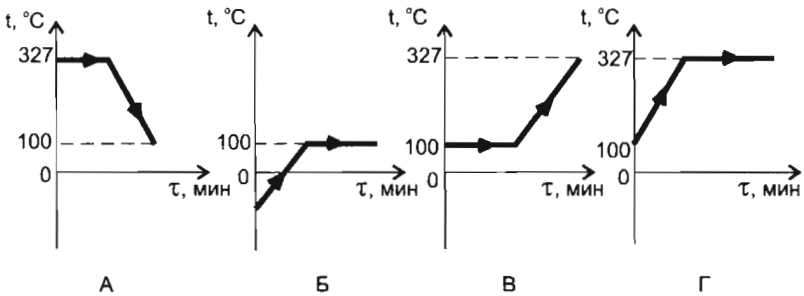


Рис. 135

36. На каком из графиков — А, Б, В или Г — можно найти участок, соответствующий процессу кипения жидкости (рис. 136)?

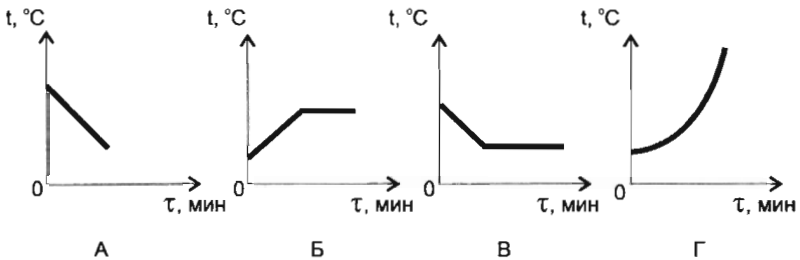


Рис. 136

37. На каком из графиков — А, Б, В или Г — можно найти участок, соответствующий плавлению льда при нормальных условиях (рис. 137)?

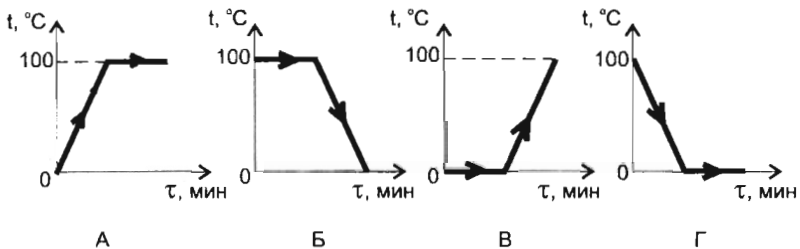


Рис. 137

● Изучение шкал измерительных приборов

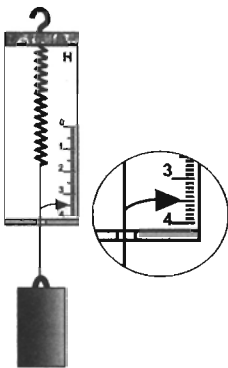


Рис. 138

1. С помощью рисунка 138 выполните задания.

1) Ответьте на следующие вопросы:

а) Как называется измерительный прибор? б) Каковы нижний и верхний пределы измерения данного прибора? в) Какова цена деления и инструментальная погрешность измерительного прибора?

2) Запишите в таблицу значение силы тяжести, действующей на груз. В каком интервале находится значение силы тяжести?

3) Чему равно значение силы упругости, действующей на груз? В каком интервале находится значение силы упругости?

Результаты анализа рисунка запишите в таблицу.

Название прибора	Предел измерения		Цена деления	Инструментальная погрешность	Значение силы тяжести	Значение силы упругости
	нижний	верхний				

Можно ли с помощью данного измерительного прибора определить силу тяжести, действующую на автомобиль «Волга» массой 1450 кг? Ответ обоснуйте.

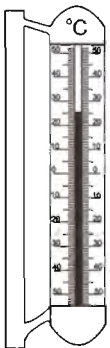


Рис. 139

2. С помощью рисунка 139 выполните задания.

1) Ответьте на следующие вопросы:

а) Как называется измерительный прибор? б) Каковы нижний и верхний пределы измерения данного прибора? в) Какова цена деления и инструментальная погрешность измерительного прибора?

2) Запишите в таблицу показание прибора. В каком интервале находится значение температуры воздуха (или жидкости), которую показывает данный термометр?

Результаты анализа рисунка запишите в таблицу.

Название прибора	Предел измерения		Цена деления	Инструментальная погрешность	Показание прибора
	нижний	верхний			

3) Можно ли с помощью данного термометра измерить температуру кипящей воды? Ответ обоснуйте.

4) Можно ли использовать этот термометр для измерения температуры в морозильной камере?

3. С помощью рисунка 140 выполните задания.

1) Ответьте на следующие вопросы:

а) Как называется измерительный прибор? б) Каковы нижний и верхний пределы измерения данного прибора? в) Какова цена деления и инструментальная погрешность измерительного прибора?

2) Запишите в таблицу значение длины блокнота. В каком интервале находится значение длины блокнота?

Результаты анализа рисунка запишите в таблицу.

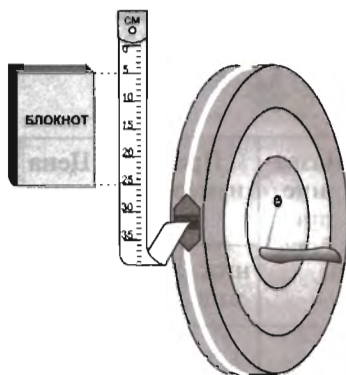


Рис. 140

Название прибора	Предел измерения		Цена деления	Инструментальная погрешность	Значение длины блокнота
	нижний	верхний			

Целесообразно ли с помощью данного измерительного прибора измерять расстояние от Земли до Солнца? Ответ обоснуйте.

4. С помощью рисунка 141 определите плотность вещества, из которого изготовлено тело.

1) Запишите формулу расчета плотности. Какие величины вам необходимо знать для определения плотности вещества?

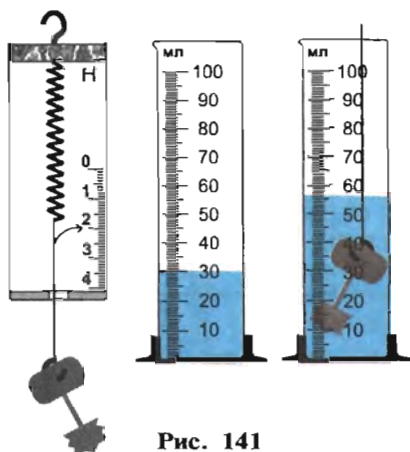


Рис. 141

2) Запишите в таблицу показания приборов.

3) Рассчитайте плотность вещества, выразив ее в единицах:  $\text{г/см}^3$ ,  $\text{кг/м}^3$ .

4) Сравните полученное вами значение плотности с табличными данными. Из какого вещества изготовлено тело?

Результаты анализа рисунков и подсчетов запишите в таблицу.

Название прибора	Предел измерения		Цена деления	Инструментальная погрешность	Показания прибора	Плотность вещества		Название вещества
	нижний	верхний				$\text{г/см}^3$	$\text{кг/м}^3$	

Можно ли таким же способом определить среднюю плотность вещества Луны?

■ 1. На рисунке 142 изображен график зависимости механического напряжения образца  $\sigma$  от относительного удлинения  $\epsilon$ . Используя данные графика, рассчитайте модуль упругости для данного материала. Из какого вещества изготовлен образец?

2. На рисунке 143 изображен график зависимости температуры от времени.

1) Используя график, определите: а) что происходит с веществом (нагревание или охлаждение); б) в каком состоянии находится вещество на участках 1—2, 2—3; в) какое это вещество.

2) Рассчитайте общее количество теплоты, отданное окружающей среде 0,5 кг данного вещества. Удельная теплоемкость вещества  $289 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}}$ .

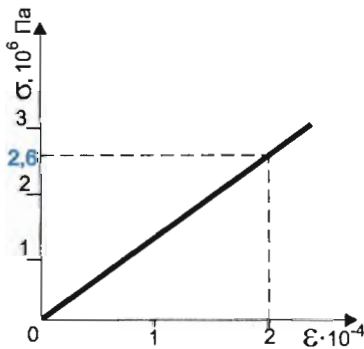


Рис. 142

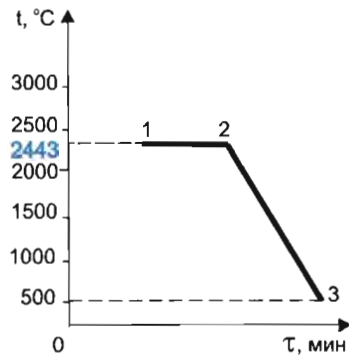


Рис. 143

3. На рисунке 144 изображен график зависимости температуры от времени.

1) Используя график, определите: а) что происходит с веществом (нагревание или охлаждение); б) в каком состоянии находится вещество на участках 1—2 и 2—3; в) какое это вещество.

2) Рассчитайте общее количество теплоты, полученное 5 кг данного вещества.

4. Какое количество теплоты выделится при полном сгорании 8 л дизельного топлива? Плотность дизельного топлива примите равной  $800 \text{ кг/м}^3$ .

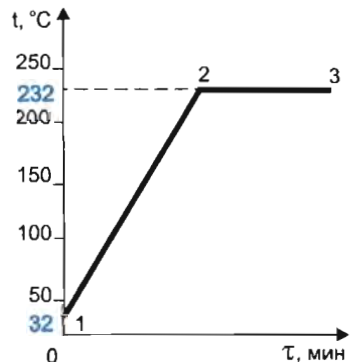


Рис. 144



5. Газу передано количество теплоты, равное 5 МДж. Расширяясь, газ совершил работу 3,2 МДж. Чему равно изменение внутренней энергии газа? Нагрелся газ или охладился?

6. При сообщении газу количества теплоты, равного 20 МДж, его внутренняя энергия увеличилась на 13 МДж. Какую работу совершил газ?

7. КПД теплового двигателя 30%. Рабочее тело получило от нагревателя количество теплоты, равное 5 МДж. Какую работу может совершить рабочее тело данного теплового двигателя?

8. КПД теплового двигателя 10%. Рабочее тело получило от нагревателя 25 МДж теплоты. Какое количество теплоты передано холодильнику?

9. Тепловой двигатель получает от нагревателя количество теплоты, равное 25 МДж, и отдает холодильнику количество теплоты, равное 20 МДж. Чему равен КПД такого двигателя? Что означает полученное вами числовое значение для КПД?

\* 10. КПД карбюраторного теплового двигателя равен 20%. Во сколько раз количество теплоты, полученное рабочим телом от нагревателя, больше количества теплоты, отданного холодильнику?

\* 11. В ванну налита вода объемом  $V_1 = 20$  л при температуре  $t_1 = 20$  °С. Затем в воду добавили кипяток ( $t_2 = 100$  °С) объемом  $V_2 = 5$  л. Какой будет температура воды после установления теплового равновесия? Теплообменом с ванной и воздухом пренебречь.

\* 12. В стакан объемом  $V = 0,2$  л налит кипяток при температуре  $t_1 = 100$  °С. Какое количество теплоты отдаст стакан с кипятком при остывании до комнатной температуры  $t_2 = 22$  °С? Теплоемкость стакана примите равной  $C_2 = 100$  Дж/°С. Ответ выразите в килоджоулях (кДж) и округлите до целых.

\* 13. Для определения удельной теплоемкости вещества тело массой 400 г, нагретое до температуры 100 °С, опустили в железный стакан калориметра, содержащий 200 г воды. Начальная температура калориметра с водой равна 30 °С. После установления теплового равновесия температура тела, воды и калориметра оказалась равна 37 °С. Чему равна удельная теплоемкость вещества исследуемого тела? Масса калориметра равна 100 г. Удельную теплоемкость железа считать равной 640 Дж/(кг · °С). Необходимые дополнительные данные вы найдете в таблицах.

\* 14. В медный стакан калориметра массой 200 г, содержащий воду массой 150 г, опустили кусок льда, имевший температуру 0 °С. Начальная температура калориметра с водой равна 25 °С. После того как весь лед растаял, температура воды и калориметра стала равна 5 °С. Чему равна масса льда? Ответ выразите в граммах. Необходимые дополнительные данные вы найдете в таблицах.

## ◆ 1. ИЗМЕРЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ

*Приборы и материалы:* лабораторный термометр, стеклянный стакан со льдом.

1. Определите нижний и верхний пределы измерения термометра, цену деления и инструментальную погрешность прибора.

2. Опустите термометр в стакан со льдом. Запишите значение температуры льда с учетом инструментальной погрешности.

3. Прямые или косвенные измерения вы проводили?

## 2. ИЗМЕРЕНИЕ ОБЪЕМА ТЕЛА

*Приборы и материалы:* мензурка, сосуд с водой, тело неправильной формы.

1. Определите нижний и верхний пределы измерения мензурки, цену деления и инструментальную погрешность прибора.

2. Налейте из сосуда в мензурку воду. Запишите значение объема налитой воды.

3. Опустите в мензурку тело неправильной формы. Запишите значение объема воды в мензурке.

4. Рассчитайте и запишите значение объема тела с учетом инструментальной погрешности измерительного прибора.

5. Прямые или косвенные измерения вы проводили?

## 3. ИЗМЕРЕНИЕ СИЛЫ

*Приборы и материалы:* лабораторный динамометр, груз.

1. Определите нижний и верхний пределы измерения динамометра, цену деления и инструментальную погрешность прибора.

2. Подвесьте груз к крючку динамометра. Запишите значение силы тяжести, действующей на груз, с учетом инструментальной погрешности прибора.

3. Запишите значение силы упругости, возникающей в пружине, с учетом инструментальной погрешности прибора.

4. Прямые или косвенные измерения вы проводили?

## 4. ИЗМЕРЕНИЕ ОТНОСИТЕЛЬНОЙ ВЛАЖНОСТИ ВОЗДУХА

*Приборы:* психрометр.

1. Расскажите об устройстве и принципе действия психрометра.

2. Определите нижний и верхний пределы измерения сухого и влажного термометров, цену деления и инструментальную погрешность приборов.

3. Снимите и запишите показания термометров.

4. Используя психрометрическую таблицу, определите и запишите значение относительной влажности воздуха.

5. Какое значение относительной влажности воздуха благоприятно для человека?

## **\* 5. ИЗМЕНЕНИЕ ПОВЕРХНОСТНОГО НАТЯЖЕНИЯ ВОДЫ**

*Приборы и материалы:* кристаллизатор с дистиллированной водой, пробирка с мелко натертой пробкой, сосуд с мыльным раствором, пипетка.

1. Насыпьте на поверхность воды тонкий и ровный слой пробки.

2. На середину кристаллизатора внесите с помощью пипетки мыльный раствор.

3. Зарисуйте то, что вы наблюдаете. Объясните причину наблюдаемого явления.

## **6. ИЗМЕРЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ПРИ ИСПАРЕНИИ ЖИДКОСТИ**

*Приборы и материалы:* термометр, кусок ваты, различные жидкости (вода, спирт и др.), пипетка.

1. Определите нижний и верхний пределы измерения термометра, цену деления и инструментальную погрешность прибора.

2. Измерьте и запишите температуру воздуха с учетом инструментальной погрешности прибора.

3. Оберните резервуар термометра ватой и с помощью пипетки смочите вату. Через некоторое время измерьте и запишите показания термометра с учетом его инструментальной погрешности.

4. Замените вату и смочите ее другой жидкостью. Запишите показания термометра с учетом его инструментальной погрешности.

5. Запишите выводы по результатам эксперимента.

## **7. ИЗМЕРЕНИЕ ОБЪЕМА ТЕЛА ПРАВИЛЬНОЙ ФОРМЫ**

*Приборы и материалы:* брусок в виде параллелепипеда, измерительная линейка.

1. Определите нижний и верхний пределы измерения линейки, цену деления и инструментальную погрешность.

2. Измерьте ширину, длину и толщину бруска. Запишите показания с учетом инструментальной погрешности линейки.

3. Рассчитайте объем бруска.

4. Прямые или косвенные измерения вы проводили?

## **8. КИПЕНИЕ ВОДЫ**

*Приборы и материалы:* пробирка с водой, термометр, штатив с двумя лапками, нагреватель (спиртовка или другой), часы.

1. Закрепите вертикально пробирку с водой в лапке штатива.

2. Определите нижний и верхний пределы измерения тер-

мометра, цену деления и инструментальную погрешность прибора.

3. Вставьте термометр в пробирку, закрепив его в другой лапке штатива.

4. Нагревайте воду в пробирке до кипения, измеряя температуру через каждые 30 с. Когда вода закипит, продолжайте наблюдать процесс кипения еще 3 мин. Запишите показания термометра до и во время кипения с учетом инструментальной погрешности прибора.

5. На основании экспериментальных данных постройте график зависимости температуры от времени. Какую закономерность вы можете указать?

6. Всегда ли вода кипит при  $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ ? От чего зависит температура кипения воды?

## **\* 9. ИЗМЕРЕНИЕ ОТНОСИТЕЛЬНОЙ ВЛАЖНОСТИ ВОЗДУХА**

*Приборы и материалы:* термометр, кусок ваты, пипетка, стакан с водой, психрометрическая таблица.

1. Определите нижний и верхний пределы измерения термометра, цену деления и инструментальную погрешность прибора.

2. Измерьте и запишите значение температуры окружающего воздуха с учетом инструментальной погрешности прибора.

3. Оберните резервуар термометра ватой и смочите ее водой с помощью пипетки. Через некоторое время снимите и запишите показание термометра.

4. Используя показания сухого и влажного термометров, психрометрическую таблицу, определите относительную влажность воздуха.

5. Какое значение относительной влажности воздуха наиболее благоприятно для организма человека?

## ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение 1

### ПРИСТАВКИ СИ И МНОЖИТЕЛИ ДЛЯ ОБРАЗОВАНИЯ КРАТНЫХ И ДОЛЬНЫХ ЕДИНИЦ

Наименование приставки	Обозначение	Множитель	Наименование множителя
Кратные (увеличения)			
экса	Э	$1\,000\,000\,000\,000\,000\,000 = 10^{18}$	квинтиллион
пета	П	$1\,000\,000\,000\,000\,000 = 10^{15}$	квадриллион
тера	Т	$1\,000\,000\,000\,000 = 10^{12}$	триллион
гига	Г	$1\,000\,000\,000 = 10^9$	миллиард
мега	М	$1\,000\,000 = 10^6$	миллион
кило	к	$1000 = 10^3$	тысяча
гекто	г	$100 = 10^2$	сто
дека	да	$10 = 10^1$	десять
Дольные (уменьшение)			
деци	д	$0,1 = 10^{-1}$	одна десятая
санти	с	$0,01 = 10^{-2}$	одна сотая
милли	м	$0,001 = 10^{-3}$	одна тысячная
микро	мк	$0,000001 = 10^{-6}$	одна миллионная
нано	н	$0,000000001 = 10^{-9}$	одна миллиардная
пико	п	$0,000000000001 = 10^{-12}$	одна триллионная
фемто	ф	$0,000000000000001 = 10^{-15}$	одна квадриллионная
атто	а	$0,000000000000000001 = 10^{-18}$	одна квинтиллионная

### ЗАПИСЬ БОЛЬШИХ И МАЛЫХ ЧИСЕЛ

Показатель степени обозначает, сколько раз надо число 10 умножить само на себя, чтобы получить искомое число:

$$10^n = \underbrace{10 \cdot 10 \cdot 10 \cdot \dots \cdot 10}_{n \text{ раз}}, \quad 10^m = \underbrace{10 \cdot 10 \cdot 10 \cdot \dots \cdot 10}_{m \text{ раз}}$$

Если показателем является натуральное число, то над степенями числа 10 совершаются действия:

**умножения** —  $10^n \cdot 10^m = 10^{n+m}$ ,

**деления** —  $10^n : 10^m = 10^{n-m}$  (при  $n > m$ ).

Десятичные дроби записываются в виде степени, показателем которой является отрицательное целое число:

$$0,1 = \frac{1}{10^1} = 10^{-1},$$

$$0,01 = \frac{1}{10^2} = 10^{-2},$$

$$0,001 = \frac{1}{10^3} = 10^{-3} \text{ и т. д.}$$

Запись числа с использованием числа 10 в степени называют записью числа в стандартном виде.

Под стандартным видом числа понимают запись

$$x = a \cdot 10^n,$$

где  $1 < a < 10$ ;  $n$  — любое целое число (положительное, отрицательное или нуль). При этом полагают, что  $10^0 = 1$ .

Правила умножения и деления значений величин, выраженных в стандартном виде:

**Умножение.** Пусть  $x = a \cdot 10^n$ ,  $y = b \cdot 10^m$ , тогда  $x \cdot y = a \cdot b \cdot 10^{n+m}$ .

**Деление.** Пусть  $x = a \cdot 10^n$ ,  $y = b \cdot 10^m$ , тогда

$$\frac{x}{y} = \frac{a}{b} \cdot 10^{n-m}.$$

## ОТВЕТЫ К ЗАДАЧАМ

- § 3. ■ 1.  $2,7 \text{ г/см}^3$ .  
2.  $1800 \text{ кг}$ .  
3.  $200 \text{ см}^3$ .
- § 23. ■ 1.  $\sigma = 12 \cdot 10^5 \text{ Па} = 1,2 \text{ МПа}$ .  
2.  $\epsilon \approx 2 \cdot 10^{-15}$ .  
3.  $E_1 = 3 \cdot 10^9 \text{ Па}$ , паутина;  $E_2 = 415 \cdot 10^9 \text{ Па}$ , вольфрам.  
4.  $E = 10^{10} \text{ Па} = 10 \cdot 10^9 \text{ Па}$ , образец изготовлен из льда при  $t = -4 \text{ }^\circ\text{C}$ . Уравнение  $\sigma = 10^{10} \epsilon$ , Па.  
5.  $E = 2 \cdot 10^{10} \text{ Па}$ .  
6.  $E = 12 \cdot 10^9 \text{ Па}$ , образец изготовлен из хлопка. Уравнение  $\sigma = 12 \cdot 10^9 \epsilon$ , Па.
- § 32. ■ 1.  $\Delta U = 10^4 \text{ Дж}$ ; так как  $\Delta U > 0$ , то газ нагрелся.  
2.  $\Delta U = 240 \text{ МДж}$ .  
3.  $\Delta U = 1,1 \text{ кДж}$ ; так как  $\Delta U > 0$ , то газ нагрелся.  
4.  $\Delta U = 3 \text{ МДж}$ ; так как  $\Delta U > 0$ , то газ нагрелся.  
5.  $\Delta U = -2 \cdot 10^7 \text{ Дж}$ ; так как  $\Delta U < 0$ , то газ охладился.
- § 33. ■ 1.  $Q = 27 \text{ кДж}$ .  
2.  $t_1 = 20 \text{ }^\circ\text{C}$ .  
3.  $Q = 3,6 \text{ кДж}$ .  
4.  $Q = 1520 \text{ Дж}$ .  
5.  $Q = 68,4 \text{ кДж}$ .  
6.  $Q \approx 167 \text{ кДж}$ .  
7.  $Q \approx 4,7 \cdot 10^{10} \text{ Дж}$ .  
8.  $c = 2,3 \cdot 10^3 \text{ Дж/(кг} \cdot \text{ }^\circ\text{C)}$ .  
9.  $Q = 135 \text{ МДж}$ .
- § 34. ■ 3.  $Q \approx 1,1 \text{ МДж}$ .  
4.  $m = 0,3 \text{ кг}$ .  
5.  $V = 3 \text{ м}^3$ ,  $V = 3 \cdot 10^3 \text{ л}$ .  
6. 4)  $Q \approx 5,2 \text{ МДж}$ .  
7. 4)  $Q_2 = 973,5 \text{ кДж}$ .  
9. 4)  $Q \approx 62 \text{ кДж}$ .  
10. 3)  $Q \approx 34 \text{ МДж}$ .
- § 35. ■ 1.  $Q = 418 \text{ МДж}$ .  
2.  $Q = 26 \text{ 800 МДж} = 26,8 \text{ ГДж}$ .  
3.  $m = 2 \text{ кг}$ .  
4.  $Q \approx 1,7 \text{ МДж}$ .  
5.  $Q \approx 173 \text{ МДж}$ .  
9. 1)  $Q \approx 2,6 \text{ МДж}$ ; так как  $Q > Q_{\text{сут}}$ , то запас энергии восстановится.  
2)  $Q \approx 3,7 \text{ МДж}$ ; так как  $Q > Q_{\text{сут}}$ , то запас энергии восстановится.  
10.  $Q = 525 \text{ кДж}$ ; так как  $Q < Q_{\text{затр}}$ , то запас энергии не восстановится.

11.  $Q \approx 141$  кДж; так как  $Q$  меньше энергетических затрат, то запас энергии не восстановится.

12.  $Q \approx 1042$  кДж; так как  $Q > Q_{\text{затр}}$ , то запас энергии восстановится.

13.  $\Delta t \approx 27,3$  °С.

14.  $m \approx 99,4 \cdot 10^{-4}$  кг  $\approx 9,9$  г.

§ 36. ■ 1.  $\eta = 0,2$ , или  $\eta = 20\%$ ; это означает, что 0,2 (20%) всей энергии топлива идет на совершение работы.

2.  $A = 4$  кДж.

3.  $Q_2 = 1,92$  МДж.

### Повторительно-обобщающий раздел

■ 1.  $E = 13 \cdot 10^9$  Па, образец изготовлен из шелковой нити.

2. 2)  $Q \approx 1,4$  МДж.

3. 2)  $Q = 521$  кДж.

4.  $Q \approx 273,3$  МДж.

5.  $\Delta U = 1,8$  МДж; так как  $\Delta U > 0$ , то газ нагрелся.

6.  $A_r = 7$  МДж.

7.  $A = 1,5$  МДж.

8.  $Q_2 = 22,5$  МДж.

9.  $\eta = 0,2$ , или  $\eta = 20\%$ ; это означает, что 0,2 (20%) всей энергии топлива идет на совершение работы.

\* 10. 1,25.

\* 11. 36 °С.

\* 12. 73 кДж.

\* 13.  $\approx 250 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{°С}}$ .

\* 14.  $\approx 40$  г.



## **ПРЕДМЕТНО-ИМЕННОЙ УКАЗАТЕЛЬ**

- Агрегатные состояния  
вещества 45, 58  
Адиабатный процесс 148  
Анизотропия 115  
*Аристотель* 11  
Астрономическая единица 18  
Астрономия 10, 11  
Атом 35
- Ближний порядок 100  
*Броун* 45  
Броуновское движение 47
- Взаимодействие 20  
Влажность 86  
Возгонка, или сублимация 123  
Вселенная 7
- Галилей* 12  
*Гассенди* 36  
*Гук* 108  
Гука закон 106
- Давление 21  
Давление газа 64  
Дальний порядок 100  
Двигатель внутреннего  
сгорания 176  
*Демокрит* 36  
Деформация 104  
Диффузия 44
- Единицы  
количества теплоты 134  
массы 15  
плотности 19  
работы 22  
энергии 134
- Жидкие кристаллы 117
- Закон сохранения энергии 147  
Звезды 129
- Измерения  
косвенные 25  
прямые 24  
Изотропия 116  
Испарение 80
- Калория 168  
Капиллярность 73  
*Карно* 173  
Кипение 93  
Количество теплоты 134  
Конвекция 137  
Конденсация 80  
Коэффициент  
поверхностного  
натяжения 70  
полезного действия 178  
теплового двигателя 179  
Кристаллизация 101  
Кристаллическая  
решетка 98  
Кристаллы 97
- Масса 15  
атома 41  
молекулы 41  
Материя 11  
Международный эталон  
длины 17  
Межзвездная пыль 61  
Метод атомных пучков 51  
Метрическая система мер 16  
Механические свойства  
материалов 105, 111, 114  
Молекула 35  
Монокристаллы 97

Наблюдения 13  
Нейтрон 37

Отвердевание 119

Первый закон  
термодинамики 147  
Перегретая жидкость 95  
*Перрен* 49  
Плавление 118  
Пластичность 105  
Плотность 19  
Поверхностно-активные вещества 77  
Поверхностное натяжение 69  
Погрешность  
инструментальная 25  
*Ползунов* 175  
Поликристаллы 97  
Протон 37  
Прочность 111  
Психрометр 88

Работа 21

Световой год 18  
Свойства  
газов 63  
жидкостей 67  
Сила 20  
упругости 106  
Смачивание 73  
Солнце 8, 144, 145  
*Струве* 62

Текучесть 68  
Тело аморфное 97  
кристаллическое 87  
Температура 54  
Тепловое движение частиц 49  
Тепловой двигатель 173  
Теплоемкость вещества  
удельная 150  
Теплообмен 134  
Теплообмен лучистый 138  
Теплопроводность 135  
Теплота удельная  
парообразования 156  
плавления вещества 157  
сгорания 165  
Термометр 54  
*Уатт* 175  
Упругость 105

*Федоров* 101  
Физика 7, 8  
Фотосфера 145  
*Френкель* 68

Хромосфера 145  
Хрупкость 114

Эволюция 9  
Эксперимент 13  
Энергия 22  
Энергия внутренняя 53, 132  
Эталон 15

*Юнг* 108  
Юнга модуль 108

## СЛОВАРЬ ОСНОВНЫХ ПОНЯТИЙ ЗА КУРС 7 КЛАССА

### А

*Адиабатный процесс* — процесс, при котором система не получает тепло извне и не отдает его.

*Атом* — мельчайшая частица вещества, сохраняющая его свойства.

### Б

*Броуновское движение* — хаотическое движение мелких частиц под действием молекул окружающей среды.

### В

*Вещество* — это то, из чего состоят тела.

*Внутренняя энергия* — сумма энергии хаотического (теплого) движения всех частиц тела и энергии взаимодействия этих частиц.

*Вселенная* — это весь окружающий нас мир, т.е. вся среда нашего существования, все, что мы видим или можем ощутить вокруг себя, все, о чем мы знаем, и даже все то, что на сегодняшний день пока еще находится за пределами нашего познания.

### Г

*Гипотеза* (от греч. hypothesis) — научно обоснованное предположение, выдвигаемое для объяснения каких-либо явлений и требующее проверки на опыте и подтверждения фактами, для того, чтобы стать достоверной научной теорией.

### Д

*Давление* — величина, равная отношению силы, действующей перпендикулярно поверхности, к площади этой поверхности.

*Давление насыщенного пара* — давление пара, при котором жидкость находится в равновесии с паром.

*Давление парциальное* — давление, которое производил бы газ или пар на стенки сосуда при отсутствии других газов.

*Деформация* — изменение формы и размеров тела под действием внешней силы

*Диффузия* — взаимное проникновение соприкасающихся веществ друг в друга, происходящее вследствие беспорядочного движения частиц вещества (атомов и молекул).

## **И**

*Испарение* (парообразование) — процесс, посредством которого молекулы жидкости высвобождаются из жидкости и превращаются в молекулы газа.

## **К**

*Кипение* — это испарение, происходящее не только с поверхности жидкости, но внутри самой жидкости.

*Количество теплоты* — энергия, переданная системе или полученная системой при теплообмене.

*Конвекция* — процесс теплообмена, осуществляемый путем переноса энергии потоками жидкости или газа.

*Конденсация* — процесс превращения пара в жидкость.

*Коэффициент полезного действия теплового двигателя* — это отношение совершенной рабочим телом работы ко всей энергии, полученной при сгорании топлива.

*Кристаллизация* — образование кристаллов из паров, растворов, расплавов, из веществ в твердом состоянии, а также при химических реакциях.

*Кристаллическая решетка вещества* — упорядоченное расположение частиц (атомов, молекул, ионов), характеризующееся пространственной повторяемостью.

*Кристаллы* — твердые тела, обладающие периодической структурой и имеющие правильную геометрическую форму.

## **Л**

*Лучистый теплообмен* — перенос энергии от одного тела к другому, обусловленный процессами испускания, распространения, рассеяния и поглощения электромагнитного излучения.

## **М**

*Материя* — это все, что реально существует в природе, все, что нас окружает, все, что мы можем ощутить непосредственно или с помощью специальных приборов.

*Метод* (от греч. *methodos* — путь, способ познания) — 1) научно поставленный опыт, наблюдение исследуемого явления; 2) прием или система приемов в какой-либо деятельности.

*Модель* (от франц. modele) — 1) исследуемый объект, представленный в общем виде; 2) копия, воспроизведение предмета, обычно в уменьшенном размере.

*Молекула* — наименьшая частица вещества, обладающая всеми его основными химическими свойствами и состоящая из атомов.

## **Н**

*Насыщенный пар* — пар, находящийся в динамическом равновесии с жидкостью.

## **О**

*Опыт* — познание объективной действительности; является как процессом практического воздействия человека на внешний мир, так и результатом этого воздействия в виде знаний и умений.

*Отвердевание* — переход вещества из жидкого состояния в твердое.

## **П**

*Плавление* — переход вещества из твердого состояния в жидкое.

*Пластичность* — свойство тел частично сохранять деформации при снятии внешней нагрузки.

*Плотность вещества* — отношение массы тела из данного вещества к объему этого тела.

*Погрешность измерения* — оценка отклонения результата измерения от истинного значения.

*Прочность* — способность материала сопротивляться разрушению, а также необратимому изменению формы при действии внешних нагрузок.

## **С**

*Сила тяжести* — сила, с которой Земля притягивает все тела, находящиеся на ней или вблизи нее.

*Сила упругости* — сила, возникающая при деформации тела и направленная в сторону, противоположную смещению частиц.

## **Т**

*Температура кипения* — температура, при которой жидкость кипит.

*Температура отвердевания (кристаллизации) вещества* — температура, при которой вещество отвердевает (кристаллизуется).

*Температура плавления вещества* — температура, при которой вещество плавится.

*Тепловое движение* — беспорядочное движение большой совокупности частиц (атомов, молекул и др.), из которых состоят тела.

*Тепловое равновесие* — это такое состояние, при котором все макроскопические параметры сколь угодно остаются неизменными.

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

*Теплообмен* — процесс изменения внутренней энергии без совершения работы над телом или самим телом.

*Теплопроводность* — явление передачи энергии от более нагретых участков тела к менее нагретым в результате теплового движения и взаимодействия частиц, из которых состоит тело.

*Топливо* — это горючие вещества, применяемые с целью получения энергии при их сжигании.

## У

*Удельная теплоемкость вещества* показывает, какое количество теплоты потребуется для нагревания 1 кг вещества на 1 °С (или какое количество теплоты выделится при охлаждении 1 кг вещества на 1 °С).

*Удельная теплота парообразования* показывает, какое количество теплоты потребуется для того, чтобы 1 кг данного вещества превратить в пар при температуре кипения (или какое количество теплоты выделится при превращении 1 кг пара в жидкость при температуре, равной температуре кипения).

*Удельная теплота плавления* показывает, какое количество теплоты необходимо, чтобы расплавить 1 кг вещества при температуре плавления (или какое количество теплоты выделится при кристаллизации 1 кг вещества при температуре, равной температуре плавления).

*Удельная теплота сгорания* показывает, какое количество теплоты выделяется при полном сгорании 1 кг топлива.

*Упругость* — свойство тел изменять форму, размеры под действием внешней нагрузки и восстанавливать исходную конфигурацию после прекращения внешней силы.

**Э**

*Эксперимент* (от лат. experimentum — проба, опыт, доказательство) — опыт, воспроизведение объекта познания, проверка гипотез и т. п.

**Я**

*Явление* — процесс изменений, которые происходят в природе.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

<i>Наши юные друзья!</i> .....	5
--------------------------------	---

### ВВЕДЕНИЕ

§ 1. Мир физики и астрономии .....	7
§ 2. Методы изучения природных явлений в физике и астрономии .....	12
§ 3. Физические и астрономические величины .....	15
§ 4. Основные понятия .....	19
§ 5. Роль измерений в физике и астрономии .....	24

### МОЛЕКУЛЯРНАЯ ФИЗИКА. ОСНОВЫ ТЕРМОДИНАМИКИ

#### Глава 1. ТЕПЛОВОЕ ДВИЖЕНИЕ. СТРОЕНИЕ И СВОЙСТВА ТЕЛ

§ 6. Что изучает молекулярная физика .....	35
§ 7. Атомы и молекулы .....	37
§ 8. Взаимодействие частиц вещества .....	42
§ 9. Диффузия .....	44
§ 10. Броуновское движение .....	47
§ 11. Скорость теплового движения частиц .....	50
§ 12. Температура. Измерение температуры .....	53
§ 13. Вещество во Вселенной .....	58
§ 14. Свойства газов .....	63
§ 15. Свойства жидкостей .....	67
*§ 16. Поверхностное натяжение жидкостей .....	69
*§ 17. Капиллярность .....	73
*§ 18. Значение поверхностного натяжения в природе, технике и быту .....	76
§ 19. Испарение и конденсация .....	79
§ 20. Значение испарения в жизни живых организмов, технике и быту .....	84
§ 21. Влажность воздуха .....	86
§ 22. Кипение .....	92
§ 23. Строение твердых тел .....	96
§ 24. Упругие и пластические деформации. Закон Гука .....	104
§ 25. Прочность .....	111
*§ 26. Анизотропия и изотропия тел .....	114
§ 27. Плавление и отвердевание твердых тел .....	118
*§ 28. Кристаллы в природе .....	125



## **Глава 2. ОСНОВЫ ТЕРМОДИНАМИКИ**

§ 29. Солнечное излучение и жизнь на Земле .....	128
§ 30. Внутренняя энергия. Способы изменения внутренней энергии .....	132
§ 31. Виды теплообмена .....	135
§ 32. Теплообмен в природе .....	142
§ 33. Первый закон термодинамики .....	146
§ 34. Как рассчитать количество теплоты при теплообмене .....	150
§ 35. Как рассчитать количество теплоты при изменении агрегатного состояния вещества .....	155
§ 36. Как рассчитать энергию, выделившуюся при сгорании топлива .....	164
§ 37. Принцип действия циклического теплового двигателя .....	172
§ 38. Тепловые двигатели и охрана окружающей среды	180

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

Человек и окружающая среда .....	183
----------------------------------	-----

## **ПОВТОРИТЕЛЬНО-ОБОБЩАЮЩИЙ РАЗДЕЛ** .....

Приложения .....	210
Ответы к задачам .....	212
Предметно-именной указатель .....	214
Словарь основных понятий за курс 7 класса .....	216

Учебное издание

Серия «Академический школьный учебник»

**Фадеева** Алевтина Алексеевна,  
**Засов** Анатолий Владимирович,  
**Киселев** Дмитрий Федорович

## **ФИЗИКА**

### **Молекулярная физика и термодинамика с основами общей астрономии**

Учебник для **7 класса**  
общеобразовательных учреждений

Зав. редакцией *В. И. Егудин*

Редактор *Т. П. Каткова*

Младший редактор *Т. И. Данилова*

Художественный редактор *Т. В. Морозова*

Художники *А. В. Щетинцева, В. В. Воробьев, Э. Н. Малания,  
О. К. Нихамовская*

Техническое редактирование и компьютерная верстка *О. А. Карповой,  
Н. В. Кондратьевой*

Корректоры *Н. В. Бурдина, Л. А. Ермолина, О. Н. Леонова, Н. И. Новикова*

Налоговая льгота — Общероссийский классификатор продукции ОК 005-93—953000. Изд. лиц. Серия ИД № 05824 от 12.09.01. Подписано в печать 16.11.2006. Формат 60×90<sup>1</sup>/<sub>16</sub>. Бумага офсетная. Гарнитура NewtonCSanPin. Печать офсетная. Уч.-изд. л. 12,45 + 0,87 вкл. + 0,40 форз. Тираж 10 000 экз. Заказ № 12584 (к-г).

Открытое акционерное общество «Издательство «Просвещение». 127521, Москва, 3-й проезд Марьиной рощи, 41.

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

**Учебно-методический комплект  
«ЛОМОНОСОВ» включает:**

А. А. Фадеева, А. В. Засов,  
Д. Ф. Киселев

◆ **Учебники для 7, 8 и 9 классов**

А. А. Фадеева, А. В. Засов

◆ **Книга для учителя. 7—9 классы**

А. А. Фадеева

◆ **Рабочие тетради для 7, 8 и 9 классов**

А. А. Фадеева

◆ **Карточки-задания**

**для 7, 8 и 9 классов**

# A

Российская академия наук  
Российская академия образования  
Издательство «Просвещение»

Академический школьный учебник



ISBN 5-09-014491-5



9 785090 144919

ПРОС  
ИЗДАТ

интернет-магазин  
**OZON.RU**



35285218