

УДК 373.167.1:501  
ББК 20я72  
Т45

**Титов, С. А.**

**Т45** Естествознание. Базовый уровень. 11 кл. : учебник / С. А. Титов, И. Б. Агафонова, В. И. Сивоглазов. — 3-е изд., испр. — М. : Дрофа, 2019. — 416 с. : ил. — (Российский учебник).

ISBN 978-5-358-18069-7

Учебник соответствует Федеральному государственному образовательному стандарту среднего общего образования.

Учебник адресован учащимся 11 класса и рассчитан на преподавание предмета из расчета 3 часа в неделю.

Учебник объединяет сведения об основных законах и закономерностях, наиболее важных открытиях и достижениях в области химии, физики, астрономии, что формирует у учащихся представление о природе как целостной системе, а также о взаимосвязи человека, природы и общества.

Современное оформление, многоуровневые вопросы и задания, дополнительная информация и возможность параллельной работы с электронным приложением способствуют эффективному усвоению учебного материала.

УДК 373.167.1:501  
ББК 20я72

---

РОССИЙСКИЙ УЧЕБНИК

Учебное издание

**Титов Сергей Алексеевич, Агафонова Инна Борисовна  
Сивоглазов Владислав Иванович**

**ЕСТЕСТВОЗНАНИЕ**

**Базовый уровень**

**11 класс**

**Учебник**

Ответственные редакторы *Н. Ю. Спиридонова, И. Б. Морзунова*  
Младший редактор *Н. М. Михалева*. Художественный редактор *М. Г. Мицкевич*  
Обложка *Ю. В. Христинич*. Макет *М. Г. Мицкевич*. Художники *А. В. Пряхин, Л. Я. Александрова*. Технические редакторы *С. А. Толмачева, А. А. Боровикова*  
Компьютерная верстка *Т. М. Дородных*. Корректор *И. В. Андрианова*

Подписано к печати 22.02.19. Формат 70 × 100 <sup>1</sup>/<sub>16</sub>. Гарнитура «Школьная».

Печать офсетная. Усл. печ. л. 35,0. Тираж 1500 экз. Заказ №

ООО «ДРОФА». 123112, г. Москва, Пресненская набережная,  
дом 6, строение 2, помещение № 1, этаж 14.



[rosuchebnik.rf/метод](http://rosuchebnik.rf/метод)

Предложения и замечания по содержанию и оформлению книги  
можно отправлять по электронному адресу: [expert@rosuchebnik.ru](mailto:expert@rosuchebnik.ru)

По вопросам приобретения продукции издательства обращайтесь:  
тел.: 8-800-700-64-83; e-mail: [sales@rosuchebnik.ru](mailto:sales@rosuchebnik.ru)

Электронные формы учебников, другие электронные материалы и сервисы:  
[lecta.rosuchebnik.ru](http://lecta.rosuchebnik.ru), тел.: 8-800-555-46-68

В помощь учителю и ученику: регулярно пополняемая библиотека дополнительных  
материалов к урокам, конкурсы и акции с поощрением победителей, рабочие программы,  
вебинары и видеозаписи открытых уроков [rosuchebnik.rf/метод](http://rosuchebnik.rf/метод)

ISBN 978-5-358-18069-7

© ООО «ДРОФА», 2013

© ООО «ДРОФА», 2019, с изменениями



## ВВЕДЕНИЕ

*Дорогие старшеклассники!*

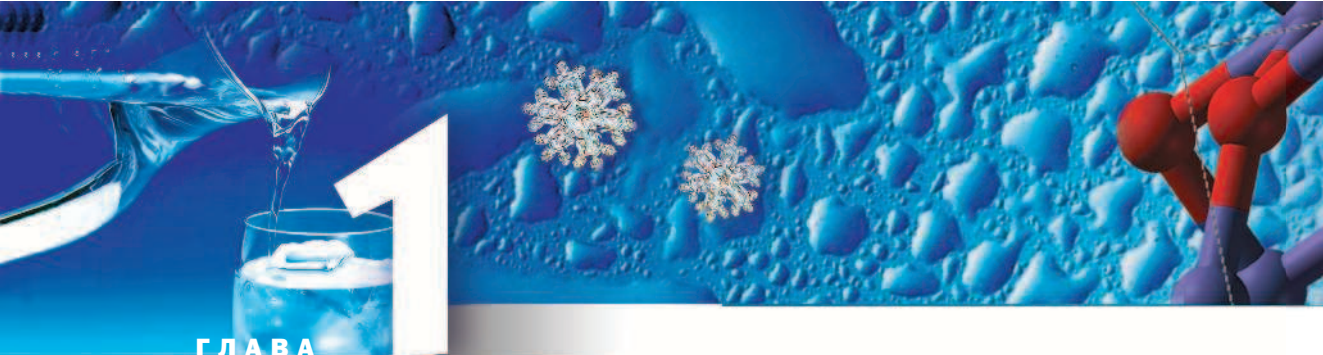
В прошлом году вы познакомились с основными законами физики, узнали, как устроены элементарные частицы, из которых состоит наш мир, какие силы влияют на их движение и расположение в пространстве. Вы узнали также о том, как протекают основные химические реакции и каким образом из атомов формируются молекулы — от самых простых, как молекулы воды, до сложных полимеров, деятельность которых лежит в основе работы живого организма. Вы познакомились со строением Земли, Солнечной системы и Вселенной в целом.

В этом году мы рассмотрим более сложные процессы, которые основаны на уже известных вам физических законах. Мы попытаемся понять, что означают слова «порядок» и «беспорядок» в естественных системах и как можно оценить соотношение того и другого. Мы узнаем, что в природе существуют системы, способные к самоорганизации, т. е. к созданию порядка внутри самих себя. Наиболее сложными такими системами являются живые организмы.

В этом году мы поговорим об основных закономерностях, свойственных всему живому. Вы узнаете о природе наследственности и познакомитесь с основами экологии.

Наконец, вы узнаете о происхождении и развитии человека, который способен не только адаптироваться к окружающим его условиям, но и изменять их, создавая для этой цели сложные технические приспособления и устройства. Мы расскажем об особенностях человека как живого организма, о его здоровье и заболеваниях, а также об истории создания и принципах работы технических устройств, сыгравших наиболее важную роль в истории человечества. Вы узнаете о том, что представляет собой ноосфера — область человеческого разума, которая в наше время охватывает весь земной шар и даже околоземное пространство, оказывая огромное влияние на жизнь других живых организмов и на неживую природу.

Работая с учебником, постоянно оценивайте свои достижения. Довольны ли вы ими? Что нового вы узнаете при изучении новой темы? Как могут пригодиться вам эти знания в повседневной жизни? Если какой-то материал покажется вам сложным, обратитесь за помощью к учителю или воспользуйтесь справочной литературой и ресурсами Интернета. Список рекомендуемых интернет-сайтов вы найдёте в конце учебника.



# ПОРЯДОК И САМООРГАНИЗАЦИЯ В ПРИРОДЕ

## § 1

### ПОРЯДОК И БЕСПОРЯДОК В СТРОЕНИИ ВЕЩЕСТВ

Лотос, священный цветок Индии, символизирует четыре первоэлемента. Лотос уходит своими корнями в **Землю**, растёт в **Воде**, раскрывается на **Воздухе** под воздействием **Огня** Солнца.

Как вам известно, все вещества состоят из молекул, атомов или ионов. При этом атомы или ионы в кристаллах некоторых веществ могут быть соединены прочными связями и образовывать жёсткие неизменяемые структуры со строго установленным порядком. Атомы или молекулы других веществ могут свободно перемещаться в пространстве, взаимодействуя с другими атомами или молекулами только тогда, когда случайно с ними столкнутся. В зависимости от типа взаимодействия молекул или атомов вещества могут находиться в определённом **агрегатном состоянии**. Существует три основных агрегатных состояния вещества — твёрдое, жидкое и газообразное. Иногда их называют также фазовыми состояниями.

**Твёрдые тела.** Твёрдые тела образованы веществами, находящимися в твёрдом агрегатном состоянии. Они обладают формой, не растекаются и не разлетаются по объёму окружающего их сосуда (рис. 1). Их атомы или молекулы сохраняют своё положение относительно других атомов или молекул благодаря межмолекулярным взаимодействиям. Наибольший порядок расположения атомов существует в **кристаллических** твёрдых телах: зная, где находится один атом, можно с большой точностью определить, где находится такой же другой. Атомы или молекулы в кристаллах располагаются в вершинах многогранников, образуя правильную структуру, которую называют кристаллической решёткой. Иногда одни и те же элементы могут образовывать кристалличе-



ские решётки различной формы, что существенно сказывается на свойствах вещества. Например, алмаз и графит состоят только из атомов углерода. Различие их свойств обусловлено отличиями в строении их кристаллических решёток (см. рис. 131, учебник 10 класса<sup>1</sup>). Самое известное и распространённое кристаллическое вещество — это лёд.

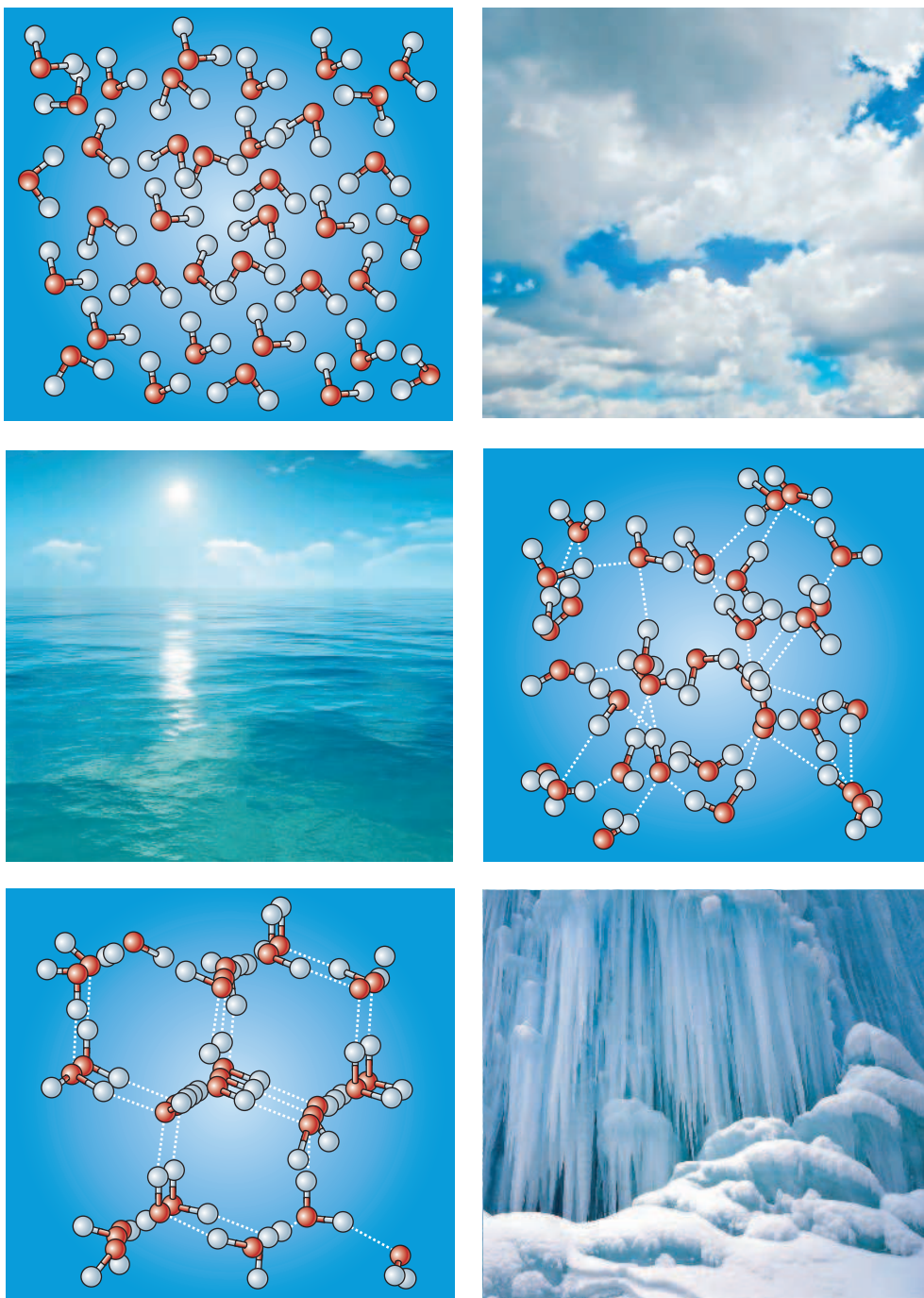
Другим видом твёрдых тел являются *аморфные*. Точки равновесия, вокруг которых колеблются составляющие их молекулы, расположены беспорядочно. Аморфные тела не имеют упорядоченной кристаллической структуры и ведут себя подобно очень вязким жидкостям. Примерами таких тел может служить стекло, а также различные смолы и клеи.

**Жидкости.** Другим агрегатным состоянием вещества является *жидкое состояние*. В отличие от твёрдых тел, жидкости не имеют постоянной формы, а принимают форму сосуда, в котором они находятся. Однако объём жидкости, как бы её ни разливали и не переливали из одного сосуда в другой, остаётся постоянным. Также этот объём не зависит от того, под каким давлением находится жидкость. Поэтому говорят, что жидкости несжимаемы. Между молекулами жидкости существует притяжение, достаточно сильное для того, чтобы удерживать их на близком расстоянии, но недостаточное для образования жёсткой структуры. Жидкости могут служить растворителями для многих веществ. Самым распространённым растворителем в природе является вода — в ней растворяются многие органические и неорганические вещества. Если в жидкости ничего не растворено и она представляет собой однородное химическое вещество, её называют чистой жидкостью. В противном случае она называется смесью. Смеси могут

---

<sup>1</sup> Здесь и далее: Естественное знание. 10 класс / С. А. Титов, И. Б. Агафонова, В. И. Сивоглазов. — М.: Дрофа.





**Рис. 1.** Агрегатные состояния воды (газообразное, жидкое, твёрдое) и связи молекул в различных агрегатных состояниях

существовать в виде растворов (если растворённое вещество присутствует в виде отдельных молекул или ионов) или взвесей (если в растворителе находятся более крупные частицы). Примером раствора может служить морская вода, а примером взвеси — молоко, состоящее из воды и мельчайших капель жира.

**Газы.** Наконец, существует агрегатное состояние, при котором молекулы почти никак не связаны между собой и находятся в хаотическом движении. Иногда они сталкиваются и при этом резко меняют



**Рис. 2.** Плазма

направление своего движения. Вещества, находящиеся в этом состоянии, называют *газами*, а само состояние — *газообразным*. Газ не способен сохранять ни свою форму, ни свой объём, который может значительно меняться при малейшем изменении температуры или давления. Находясь в сосуде, газ не образует поверхности, как это делает жидкость, а стремится заполнить весь сосуд целиком (см. рис. 1).

**Плазма.** Существует ещё один вид вещества, который иногда рассматривают как частный случай газообразного, но часто выделяют в особое, четвёртое, агрегатное состояние, называемое *плазмой*. Плазма представляет собой ионизированный газ, в котором часть электронов покидает оболочки своих атомов и оказывается в свободном состоянии. Плазма, таким образом, состоит из свободно передвигающихся электрических зарядов (электронов) и ионов, поэтому является проводящей средой и в гораздо большей степени взаимодействует с электрическими и магнитными полями, чем вещества в других агрегатных состояниях. По современным представлениям в состоянии плазмы находится около 99,9% всего вещества Вселенной. Из плазмы состоят все звёзды, и даже межзвёздное пространство, в котором носятся мельчай-



**Рис. 3.** Огни святого Эльма (гравюра XIX в.)

шие электрически заряженные частицы пыли, тоже можно считать плазмой, хотя и очень разреженной.

Из хорошо известных нам явлений примером плазмы, смешанной с раскалённым газом, является огонь (рис. 2). Другой вид плазмы — это молнии, образующиеся в ионизированной атмосфере при возникновении электрического поля из-за неравномерного скопления положительных и отрицательных зарядов. Плазмой является также коронный разряд, имеющий вид светящихся пучков или кисточек на острых концах высоких предметов, таких как мачты кораблей, башни, высокие деревья или вершины скал. Такой разряд возникает, если напряжённость электрического поля в атмосфере достигает очень большой величины, что чаще всего бывает во время грозы или при её приближении. Он получил название огня святого Эльма от имени католического покровителя моряков (рис. 3). Моряки считали, что эти огни предвещают успех в плавании, а в случае опасности — спасение. Плазма составляет также значительную часть ионосферы — верхней части атмосферы. Таким образом, в отсутствие электрического воздействия плазма представляет собой хаотически движущиеся заряженные частицы, а в электрическом поле она приобретает направленное движение, как, например, разряд молнии.

Рассматривая четыре агрегатных состояния вещества, принятые в современной физике, можно заметить, что древние греки были не очень далеки от истины, считая, что все вещества состоят из четырёх первоэлементов — земли, воды, воздуха и огня. Теперь, когда мы знаем, что Земля является, по сути, твёрдым телом, вода — жидкостью, воздух — газом, а огонь — плазмой, мы уже не можем уверенно утверждать, что представления древнегреческих философов, включая Аристотеля, были слишком наивны.

## Проверьте свои знания

1. Каким фактором определяется агрегатное состояние вещества?
2. Сравните кристаллические и аморфные твёрдые тела.
3. Опишите взаимодействие молекул в жидкости.
4. Приведите примеры естественных явлений, основу которых составляет плазма.

## Задания

Исследуйте, как ведут себя кристаллические и аморфные вещества при нагревании. Для этого положите в морозильную камеру холодильника сосуд с водой и кусок парафина. Когда их температура сравняется и вода замёрзнет, достаньте предметы из холодильника и оставьте при комнатной температуре. Отметьте, что происходит с водой и парафином в процессе их нагревания.



## § 2

## ТЕПЛОТА И ТЕМПЕРАТУРА

Теплота состоит во внутреннем движении материи. Поскольку тела состоят из неразрушимой материи, то могут вращаться со сколь угодно большой скоростью. Поэтому не существует предельно высокой степени температуры. По необходимости должна существовать наибольшая, и последняя, степень холода. Однако и «высшей степени холода» на нашем земноводном шаре не существует.

*М. В. Ломоносов*

При изменении температуры или давления вещества могут менять своё агрегатное состояние. В качестве наиболее наглядного примера можно рассмотреть изменения агрегатного состояния воды. Как известно, при температуре ниже  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$  вода находится в твёрдом состоянии, т. е. представляет собой лёд. При такой температуре она не может находиться в жидком состоянии, но может ли находиться в газообразном? Казалось бы, на этот вопрос напрашивается отрицательный ответ. Однако это не так. Все хозяйки знают, что бельё, вывешенное на балконе или во дворе, даже при сильном морозе со временем высыхает. Это происходит потому, что, несмотря на то что молекулы воды довольно прочно удерживаются в кристаллах льда, время от времени им удаётся оторваться и покинуть свою льдину. Оторвавшиеся молекулы образуют водяной пар, который всегда присутствует вокруг куска льда, хотя в морозную погоду его количество весьма невелико.

Когда температура достигает  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ , вода скачкообразно переходит в жидкое состояние. Этот процесс называют *плавлением*. Тепловая энергия, которую в это время поглощает вода, целиком расходуется на разрушение кристаллической решётки льда, поэтому до той поры, пока лёд полностью не растает, его температура повышаться не будет. Такую теплоту называют *теплотой плавления*, она поглощается без изменения температуры. Когда вся вода перейдёт в жидкое состояние, дальнейшее её нагревание будет сопровождаться ростом температуры. При этом из жидкой воды, так же как и из льда, будет постоянно вылетать часть молекул. Для того чтобы молекула покинула жидкую среду, требуется затратить энергию. На *испарение* воды расходуется энергия в виде тепла, теряя которую вода остывает. Все знают, что при одной и той же температуре воздуха сухая одежда греет гораздо лучше, чем мокрая. Это известно и природе, которая для защиты организмов от перегрева создала механизм выделения пота. Теплота, расходуемая на испарение пота, забирается у организма и не даёт ему перегреться.

Когда температура воды достигнет  $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ , начнётся её *кипение*, т. е. резкий переход в газообразное состояние. Если при более низкой температуре вода испаряется только с поверхности, то при кипении

испарение происходит по всему объёму, что мы наблюдаем в виде постоянно образующихся, всплывающих и лопающихся пузырьков. Поступающую при этом к воде теплоту называют *теплотой парообразования*. Она будет целиком расходоваться на превращение воды в пар без изменения её температуры.

Лёд плавится (т. е. тает) при температуре  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ , а вода кипит при температуре  $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ , только если процесс протекает при нормальном атмосферном давлении ( $760\text{ мм рт. ст.}$ ). Если давление будет выше, то температуры плавления и кипения повысятся, а если ниже, то соответственно снизятся. Находясь в горах, сложно приготовить пищу, так как температура кипения воды будет ниже  $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Наоборот, в специальных аппаратах — автоклавах, где создаётся высокое давление, вода может кипеть при температуре  $110\text{ }^{\circ}\text{C}$  и выше. При этом погибают те бактерии, для которых температура  $100\text{ }^{\circ}\text{C}$  не является смертельной. Это позволяет производить консервы в пищевой промышленности и эффективно стерилизовать медицинские принадлежности.

Так как для плавления и испарения вещества требуется затратить энергию, следовательно, при прочих равных условиях газообразное состояние вещества обладает большей энергией, чем жидкое, а жидкое — большей энергией, чем твёрдое. Таким образом, при переходе вещества из газообразного состояния в жидкое (конденсации) энергия должна выделяться. То же самое будет наблюдаться при застывании (кристаллизации) вещества. Количество теплоты, выделяемое веществом во время конденсации и кристаллизации, в точности равно тому, которое расходуется на их испарение и соответственно на плавление. Это следует из закона сохранения энергии.

Такой процесс, заключающийся в резких переходах из одного агрегатного состояния в другое при изменении температуры, характерен для кристаллических веществ, к которым относится, в частности, вода. Аморфные тела меняют своё состояние постепенно. При низкой температуре они могут выглядеть как твёрдые тела, а в процессе её повышения происходит их постепенное размягчение, в результате которого они сначала начинают вести себя как вязкие жидкости, а при очень высоких температурах и вовсе становятся жидкостями. В качестве примера можно рассмотреть стекло, которое при обычных температурах является настолько твёрдым, что его можно принять за кристаллическое тело. Однако при нагревании оно постепенно становится всё мягче, приобретает пластичность, а затем и текучесть, что и используется в стеклодувном производстве, где из разогретого мягкого стекла изготавливают предметы любой желаемой формы (рис. 4).

Всем известно, что при нагревании тела расширяются. Это происходит потому, что при увеличении температуры молекулы веществ становятся подвижнее, им сложнее удерживаться в тесной близости друг к другу. При этом твёрдые тела увеличиваются в размерах не очень сильно, жидкости — больше, а газы даже при небольшом изменении температуры значительно меняют свой объём.



**Рис. 4.** Стеклодув может придать стеклянному изделию самую причудливую форму

С другой стороны, мы знаем, что, для того чтобы что-либо нагреть, надо затратить энергию. Эта энергия может передаваться непосредственно в виде некоторого количества теплоты, например, когда мы ставим кастрюлю на огонь. Теплота самым тесным образом связана с энергией — чем горячее тело, чем выше его температура, тем больше энергии в нём содержится. Но что это за энергия? Она не может быть ни электрической, ни химической, так как оба эти вида энергии превращаются в тепловую только при определённых условиях. Что же она собой представляет?

В XVII — начале XVIII в. большинство учёных считали, что теплота определяется движением молекул. Роберт Бойль писал в 1652 г.: *«То, что теплота заключается в некотором движении малых частиц тела, уже достаточно ясно»*. Но во второй половине XVIII в. стала популярной так называемая субстанциональная теория, согласно которой носителем теплоты является специальное вещество — теплород, обладающее такими удивительными свойствами, как невесомость и способность проникать во все вещества, одновременно расширяя их. Но эта теория просуществовала недолго, была поставлена под сомнение ещё в конце XVIII в. М. В. Ломоносовым и окончательно опровергнута в начале XIX в. английскими учёными Б. Румфордом и Г. Дэви. Проведённые ими эксперименты показали, что нагревание

тел может происходить в результате трения, т. е. механическое движение может переходить в теплоту (рис. 5). Но если при этом не происходит никаких химических превращений, то логично предположить, что механическое движение так и остаётся механическим движением, но движутся в этом случае молекулы нагреваемого вещества. Таким образом, было установлено, что *содержащаяся в каком-либо физическом теле тепловая энергия представляет собой не что иное, как суммарную кинетическую энергию составляющих тело молекул.*

Теперь выясним, что представляет собой физическая величина, которую называют температурой. Из курса физики вам известно, что температура характеризует среднюю кинетическую энергию движения молекул. Чем больше средняя кинетическая энергия молекул тела, тем больше их скорость и выше температура тела.



**Рис. 5.** Добывание огня трением

## Проверьте свои знания

1. Что такое теплота плавления и теплота парообразования? На какие процессы расходуется их энергия?
2. Как зависит температура плавления льда и испарения воды от атмосферного давления?
3. Почему при нагревании тела расширяются?
4. Какая точка зрения на природу теплоты была распространена в XVIII в.?
5. Что представляет собой тепловая энергия с молекулярной точки зрения?
6. Что характеризует температура тела?

## Задания

1. Приведите примеры, иллюстрирующие нагревание предметов в результате трения.
2. Используя дополнительную литературу и ресурсы Интернета, выясните, что такое сварка трением. В чём преимущество этого типа сварки?
3. Прочитайте эпиграф к параграфу. Объясните, существует ли взаимосвязь между «земноводностью» нашей планеты и относительно стабильным температурным режимом на её поверхности.



## § 3

## ИДЕАЛЬНЫЙ ГАЗ И ЕГО ЗАКОНЫ

— Вы знаете, Зося, — сказал он, наконец, — на каждого человека, даже партийного, давит атмосферный столб весом в двести четырнадцать кило. Вы это замечали?

*И. Ильф, Е. Петров. Золотой телёнок*

Изучение тепловых явлений в жидкостях и твёрдых телах часто вызывает затруднения. В этих системах молекулы постоянно взаимодействуют и достаточно прочно удерживаются друг возле друга. Гораздо проще обстоит дело с газами, где молекулы свободно перемещаются и пробегают большие расстояния, а их взаимодействия ограничены только случайными столкновениями. Конечно, в реальных газах приходится учитывать возможную ионизацию и возникающие в результате неё силы электрического притяжения и отталкивания, а также размеры и массу молекул. Однако метод научного абстрагирования оказал науке неоценимую пользу. В своё время Галилей предложил не учитывать влияние трения, затем физики согласились не принимать во внимание размеры тел в уравнениях механики, сводя все их перемещения к движению «материальных точек». Аналогично была создана и модель *идеального газа*.

Эта модель предполагает, что потенциальной энергией молекул можно пренебречь по сравнению с их кинетической энергией. Между молекулами не действуют силы притяжения или отталкивания, а их случайные соударения являются абсолютно упругими. Таким образом, траектория движения каждой молекулы не зависит от движения других молекул. Кроме того, эти молекулы достаточно малы и симметричны, поэтому можно не принимать во внимание их вращение вокруг своей оси. Использование такой модели позволило сформулировать фундаментальные законы, которые во многих случаях достаточно точно объясняют свойства реальных газов.

**Законы идеального газа.** Три «газовых закона» устанавливают связь между объёмом, давлением и температурой определённой массы газа. Они названы в честь их первооткрывателей законами Бойля — Мариотта, Гей-Люссака и Шарля и являются частными по отношению к уравнению состояния идеального газа<sup>1</sup>.

Предположим, что в сосуде находится некоторое количество газа. Данное количество, т. е. суммарную массу всех молекул газа, будем считать постоянным. Это означает, что сосуд является закрытой системой,

---

<sup>1</sup> *Эдм Мариотт* (1620—1684) — французский физик; *Жозеф Луи Гей-Люссак* (1778—1850) — французский физик и химик, открывший много новых химических элементов; *Жак Шарль* (1746—1823) — французский физик и изобретатель.

т. е. газ не выходит из него и не входит в него. Тогда состояние газа можно в полной мере определить с помощью трёх характеристик: занимаемого им объёма, его температуры и давления, которое он оказывает на стенки сосуда. Что такое объём, понятно без дополнительных объяснений. Температура, как мы уже знаем, зависит от средней кинетической энергии всех находящихся в сосуде молекул газа. А что такое давление? Находящиеся в свободном движении молекулы газа время от времени ударяются о стенки сосуда, передавая им свои импульсы. Как вам уже известно, частное от деления изменения импульса на время, в течение которого он действует, представляет собой силу. Таким образом, находящийся в сосуде газ действует на стенки сосуда с некоторой силой. Очевидно, что эта сила пропорциональна площади стенки, так как чем больше площадь, тем больше молекул имеют шанс удариться о неё за единицу времени. Отношение действующей на стенку силы к площади этой стенки, т. е. силу, действующую на единицу площади, называют **давлением**.

Теперь представим себе довольно простой опыт. Возьмём наполненный воздухом сосуд, одна из стенок которого может быть подвижной. Назовём её поршнем. Поршень должен очень плотно прилегать к стенкам сосуда для того, чтобы избежать утечки воздуха. А для того чтобы не учитывать веса поршня, его надо расположить в вертикальной плоскости. В начале опыта температура и давление в сосуде и в окружающем воздухе одинаковы. Это значит, что за каждый промежуток времени число и сила ударов молекул по поршню с его внутренней стороны будут в среднем такие же, как и с внешней. А если силы давления на поршень с обеих сторон равны, то поршень будет находиться в равновесии, т. е. оставаться на месте. Конечно, он будет совершать небольшие колебания, потому что в какой-то момент в него может случайно ударить изнутри немного больше молекул, чем снаружи, и наоборот. Такие случайные отклонения от равновесия называют **флуктуациями**. Но поскольку число молекул, ударяющихся в каждый момент о поршень, огромно, такие небольшие отклонения от среднего значения практически невозможно обнаружить.

Теперь приложим к поршню с внешней стороны силу, т. е. начнём толкать его внутрь сосуда. Посмотрим, что произойдёт с заключённым в сосуде газом. Поршень будет перемещаться внутрь сосуда, уменьшая его объём и площадь его стенок. Так как число молекул в сосуде не изменилось, а поверхность стала меньше, то на каждый квадратный сантиметр этой поверхности будет приходиться больше ударов молекул. Следовательно, давление газа в сосуде будет возрастать. Но это ещё не всё. Молекулы, ударяющиеся в движущийся навстречу им поршень, будут отскакивать от него с большей скоростью, чем при ударе о неподвижный. Поэтому скорость молекул в сосуде будет увеличиваться, а, следовательно, температура в нём будет расти. Быстрые молекулы будут ударять в стенки сосуда с большей силой, а это будет служить дополнительной причиной возрастания давления. Таким образом, в рас-

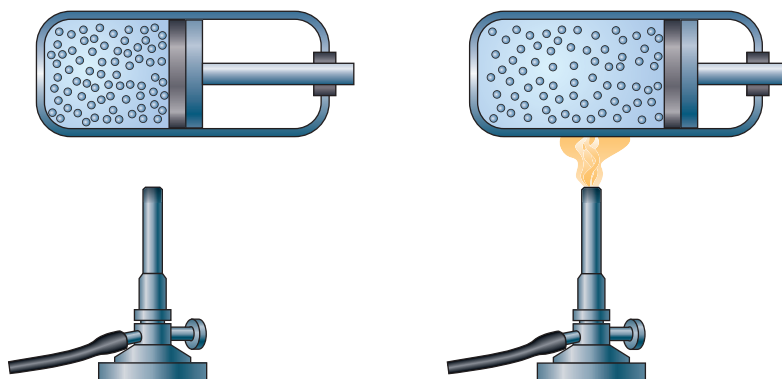


**Рис. 6.** Изотермическое сжатие газа

смаатриваемом процессе участвуют три взаимосвязанных фактора — объём, давление и температура. В этом взаимодействии не так просто разобраться, поэтому авторы законов идеального газа начали с того, что сравнивали их попарно.

**Изменение давления и объёма.** Попробуем сначала сжимать газ в сосуде таким образом, чтобы температура его при этом не менялась. Это можно сделать, если стенки сосуда хорошо проводят тепло, а поршень будет двигаться очень медленно. Тогда температура внутри сосуда будет выравниваться с температурой внешней среды и оставаться постоянной. Такой процесс называют *изотермическим сжатием* (от греч. «изос» — одинаковый и «термо» — температура, тепло). В этом случае увеличение давления будет вызвано только увеличением частоты ударов молекул о стенки сосуда, но не их силой, и поэтому будет пропорционально уменьшению объёма (рис. 6). Эта закономерность отражена в законе Бойля — Мариотта.

**Изменение объёма и температуры.** Теперь посмотрим, как будут связаны между собой объём и температура, если давление останется неизменным. Для этого будем нагревать газ в сосуде с движущимся поршнем. При нагревании кинетическая энергия молекул возрастёт, и вместе с ней возрастёт сила их ударов о поршень. Поскольку теперь на поршень изнутри действует большая сила, чем снаружи, он начнёт выталкиваться из сосуда. Давление в сосуде при этом будет оставаться постоянным, так как усиление ударов молекул компенсируется уменьшением частоты ударов из-за увеличения объёма, а следовательно, и поверхности сосуда (рис. 7). Такой процесс называют



**Рис. 7.** Изобарическое расширение газа