

## § 7. Строение и свойства твёрдых тел

В повседневной жизни мы считаем твёрдым любое тело, сохраняющее форму и объём в отсутствие внешних воздействий, например, тела, изготовленные из металлов, пластмассы, льда, стекла. Твёрдые тела делят на две группы, различающиеся по своим свойствам: кристаллические и аморфные. Чем же отличаются кристаллические твёрдые тела от аморфных?

**Кристаллы.** К кристаллическим телам относят минералы, например поваренную соль, медный купорос, кварц, квасцы (рис. 40), горный хрусталь и металлы в твёрдом состоянии.



Рис. 40

**Кристаллы** — твёрдые тела, атомы, ионы или молекулы которых совершают тепловые колебания около определённых, упорядоченных в пространстве положений равновесия.

Упорядоченное размещение частиц твёрдого кристаллического тела обуславливает его правильную геометрическую форму, вследствие чего поверхность кристалла образована плоскими гранями (рис. 41).

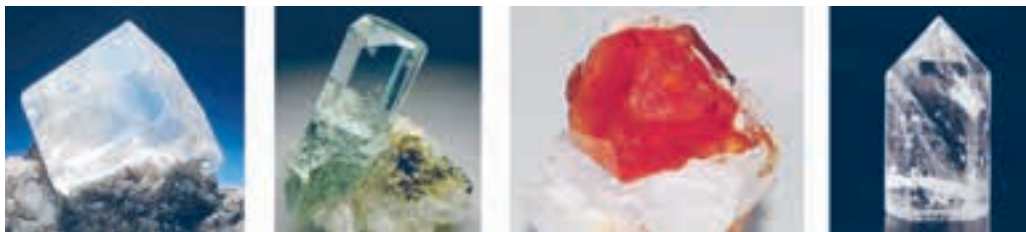


Рис. 41

Частицы кристалла удерживаются на определённом усреднённом расстоянии друг от друга ( $\sim 0,1$  нм) силами межатомного и межмолекулярного взаимодействий. Несмотря на тепловые колебания, они образуют упорядоченную

пространственную структуру. Геометрическим образом этой структуры является *кристаллическая решётка*. Узлы кристаллической решётки — положения устойчивого равновесия колеблющихся частиц (ионов, атомов или молекул), образующих кристалл.

Основой строения кристалла служит так называемая *элементарная кристаллическая ячейка* — многогранник наименьших размеров, последовательным переносом без изменения ориентации которого вместе с частицами, находящимися внутри этого многогранника, можно построить весь кристалл.

На рисунках 42 представлены самые простые элементарные ячейки: кубические (*a* — примитивная, *b* — объёмно-центрированная, *в* — гранецентрированная) и гексагональная призма (*г*).

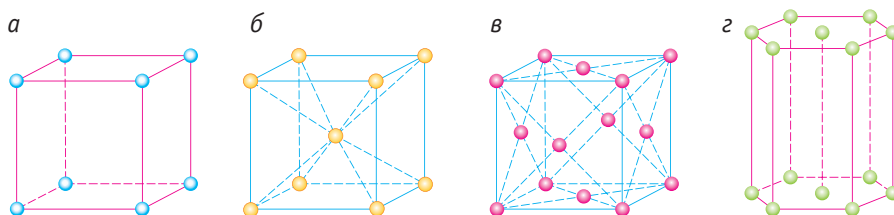


Рис. 42

В кристаллических телах упорядоченное размещение частиц повторяется во всём объёме кристалла, поэтому говорят, что в кристалле существует *дальний порядок* в расположении частиц.

### Интересно знать

Чтобы понять, почему в кристаллических телах упорядоченное размещение частиц, сделаем опыт. Насыпем на вогнутое стекло одинаковые маленькие шарики (рис. 43, *a*) и слегка встряхнём их несколько раз. Можно увидеть, что шарики разместятся в строгом порядке (рис. 43, *б*). Шарики располагаются на стекле в самом низком из возможных положений, что соответствует минимуму их потенциальной энергии в гравитационном поле Земли.

Кристаллическая структура также связана с минимумом потенциальной энергии, т. е. при образовании кристаллов частицы самопроизвольно располагаются так, чтобы потенциальная энергия их взаимодействия была минимальной.

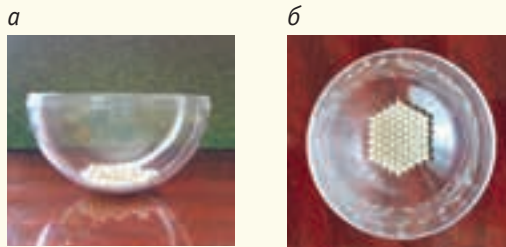
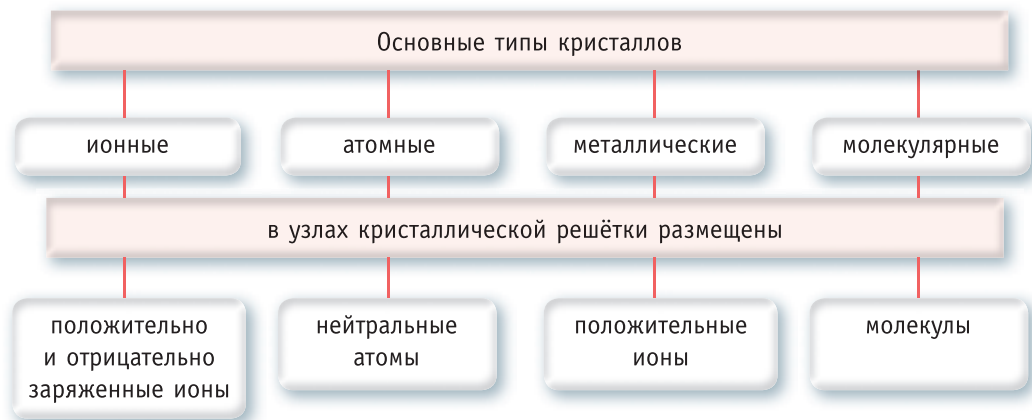


Рис. 43

**Типы кристаллов.** В зависимости от вида частиц, образующих кристалл, и от характера сил взаимодействия между ними различают четыре основных типа кристаллов.



Типичным примером ионного кристалла является кристалл хлорида натрия NaCl (рис. 44, *а, б*). Кристаллы с ионной решёткой тугоплавки и обладают высокой твёрдостью.

Примерами атомных кристаллов могут служить алмаз и графит. Эти кристаллы тождественны по химической природе (они состоят из атомов углерода), но отличаются по своему строению (рис. 45). В кристаллической решётке алмаза каждый атом углерода находится в центре тетраэдра, вершинами которого служат четыре ближайших атома, и прочно связан с этими атомами посредством объединения валентных электронов (рис. 45, *а*). Именно такой жёсткой связью и обусловлена уникальная твёрдость алмаза. Кристаллическая решётка графита имеет слоистую структуру (рис. 45, *б*). Атомные слои графита слабо связаны друг с

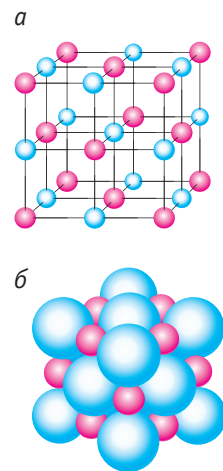


Рис. 44

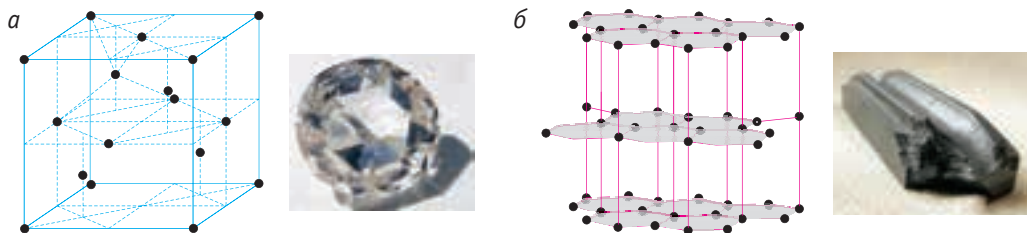


Рис. 45

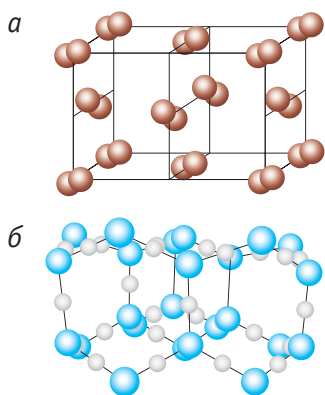


Рис. 46

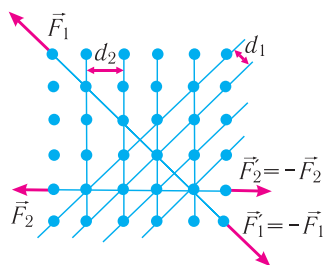


Рис. 47

другом, так как расстояние между ними в несколько раз больше, чем расстояние между соседними атомами в одном слое. Это приводит к тому, что слои могут легко отделяться друг от друга, чем и объясняется мягкость и крохость графита.

Примерами металлической кристаллической решётки являются полоний Po (см. рис. 42, а), железо Fe (см. рис. 42, б), серебро Ag (см. рис. 42, в), магний Mg (см. рис. 42, г).

Молекулярные кристаллы образуют большинство простых веществ неметаллов в твёрдом состоянии, например иод  $I_2$  (рис. 46, а), водород  $H_2$ , кислород  $O_2$ , и их соединения друг с другом (лёд  $H_2O$ ) (рис. 46, б), а также практически все твёрдые органические вещества.

**Монокристаллы и поликристаллы.** Существуют одиночные кристаллы, называемые монокристаллами, которые могут иметь довольно большие размеры. Примерами могут служить кристаллы горного хрусталя, размеры которых иногда соизмеримы с ростом человека.

**Монокристаллы** — твёрдые тела, имеющие во всём объёме единую кристаллическую решётку.

Характерной особенностью монокристаллов является их *анизотропия*, т. е. зависимость физических свойств (механических, тепловых, электрических, оптических) от направления внутри кристалла. Анизотропия монокристаллов обусловлена различием в плотности расположения частиц в кристаллической решётке по разным направлениям. На рисунке 47 показано, что расстояния между атомными плоскостями в кристалле неодинаковы ( $d_1 < d_2$ ). Поэтому, в частности, отличаться будут и силы, необходимые для его разрыва ( $F_1 > F_2$ ). Например, кусок слюды достаточно легко расслоить в одном из направлений на тонкие пластинки, но для того, чтобы разорвать его в направлении, перпендикулярном пластинкам, потребуются гораздо большие усилия.

### Интересно знать

Анизотропия свойственна некоторым материалам биологического происхождения. Например, костным и мышечным тканям человека и животных, древесине и листьям, траве и др.

Большинство кристаллических твёрдых тел являются *поликристаллами*.

**Поликристаллы** — твёрдые тела, состоящие из большого числа сросшихся между собой маленьких кристаллов.

В отличие от монокристаллов поликристаллы *изотропны*, т. е. их свойства одинаковы по всем направлениям. Это следствие того, что поликристалл состоит из большого количества беспорядочно ориентированных маленьких монокристаллов.

Вы сами можете в домашних условиях вырастить монокристаллы (рис. 48, а) и поликристаллы (рис. 48, б) медного купороса (сульфата меди(II)  $\text{CuSO}_4$ ).

Кристаллические тела имеют определённую температуру плавления  $t_{\text{пл}}$ , не изменяющуюся в процессе плавления при постоянном давлении. Зависимость температуры кристаллического тела от полученного им количества теплоты представлена на рисунке 49, график 1.

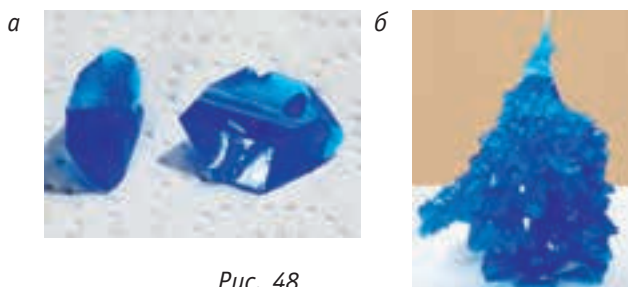


Рис. 48

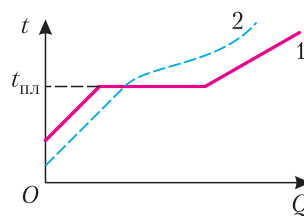


Рис. 49

### От теории к практике

1. Почему у шара, изготовленного из монокристалла, при нагревании изменяется не только объём, но и форма?

2. Будет ли при нагревании шара, изготовленного из стали, изменяться не только объём, но и форма?

**Аморфные тела.** К аморфным (от греч. *amorphous* — бесформенный) телам относят опал, обсидиан, эбонит, сургуч (рис. 50), стекло, различные пластмассы, смолы (вар, канифоль, янтарь) и др.



Рис. 50

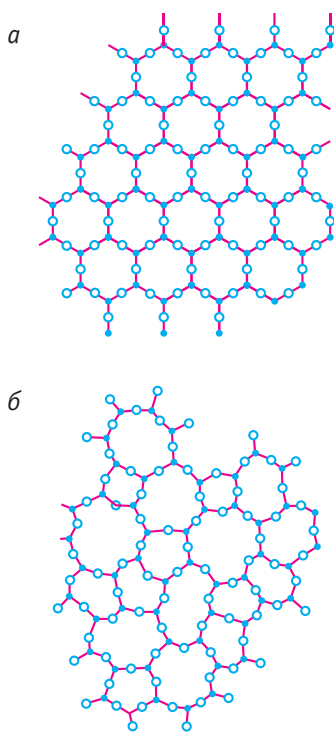


Рис. 51



Рис. 52

**Аморфное состояние** — твёрдое некристаллическое состояние вещества, характеризующееся изотропией свойств и отсутствием определённой температуры плавления.

Зависимость температуры аморфного тела от полученного им количества теплоты представлена на рисунке 49, график 2. При повышении температуры аморфное вещество размягчается и постепенно переходит в жидкое состояние. В аморфном состоянии вещество не имеет строгого порядка в расположении атомов и молекул. Аморфное состояние — бесформенное состояние со слабо выраженной текучестью.

Аморфные тела называют переохлаждёнными жидкостями, так как у них, как и у жидкостей, существует только ближний порядок расположения частиц.

На рисунках 51 схематически представлено строение кристаллического кварца (рис. 51, а) и аморфного кварца (рис. 51, б).

Аморфные тела при определённых условиях могут кристаллизоваться. Сахар-песок является кристаллическим телом (рис. 52, а). Если его расплавить, то, застывая, он превращается в прозрачный стеклообразный леденец (рис. 52, б), который является аморфным телом. Через некоторый промежуток времени леденец «засахаривается», т. е. опять становится кристаллическим.

При скоростях охлаждения, превышающих миллион градусов в секунду, удалось получить аморфные металлические сплавы — стеклообразные металлы. Аморфный металл чрезвычайно твёрд и прочен. Его используют как режущий инструмент. Он обладает сильновыраженными магнитными свойствами, поэтому незаменим при изготовлении магнитных головок для звуко- и видеозаписи. Кроме того, аморфные металлы обладают высокой антикоррозийной стойкостью.

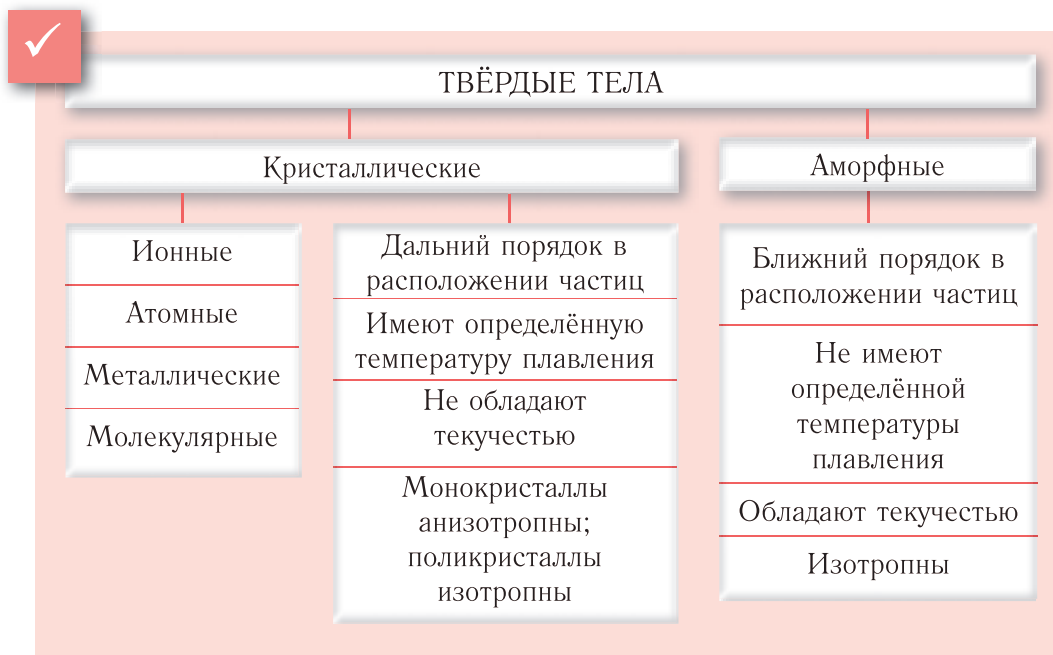
**От теории к практике**

1. Имеются две тонкие пластинки, покрытые воском. К пластинкам поочерёдно прикоснулись раскалённой спицей. На одной пластинке при плавлении воска образовалось круглое пятно, а на другой — овал. Какое из этих тел кристаллическое, а какое аморфное?

2. В двух сосудах необходимо расплавить два твёрдых тела. Как, наблюдая за процессом плавления, можно определить, какое из этих тел кристаллическое, а какое аморфное?

**Интересно знать**

Стекло обладает текучестью даже при нормальных условиях, хотя и течёт крайне медленно. В старинных зданиях, где окна не меняли достаточно долго, можно заметить постепенное утолщение стёкол книзу.



1. Какие тела называют твёрдыми?
2. Каковы особенности строения кристаллических твёрдых тел?
3. Какие типы кристаллов вы знаете? Чем они отличаются друг от друга?

4. В чём отличие между моно- и поликристаллами?
5. В чём отличие между понятиями «анизотропия» и «изотропия»?
6. Чем отличаются основные физические свойства кристаллических и аморфных тел?

### Домашняя лаборатория

Проведите наблюдение за ростом кристаллов. Для этого приготовьте насыщенный раствор поваренной соли в сосуде с горячей водой (раствор становится насыщенным, когда соль перестаёт растворяться в воде и начинает оседать на дно). Отфильтруйте раствор, переливая в другой сосуд. В остывший раствор опустите нить с привязанным к ней кристалликом соли. Другой конец нити закрепите на стержне, который поместите на край сосуда. Наблюдайте за ростом кристалла в течение нескольких дней.

Какова форма выращенного вами кристалла? Является ли он поликристаллом?

## § 8. Строение и свойства жидкостей

*Физические свойства различных газов, находящихся при достаточно малых плотностях и высоких температурах, почти одинаковы. Свойства твёрдых тел существенно зависят от взаимодействия частиц, из которых они состоят, и весьма различны. А что определяет свойства жидкостей и их отличие от газов и твёрдых тел?*

Вещество в жидком агрегатном состоянии занимает промежуточное положение между кристаллами и газами и вследствие этого имеет некоторые общие черты с обоими этими состояниями. Например, для жидкостей, как и для кристаллических тел, характерно наличие определённого объёма. Вместе с тем жидкости, подобно газам, принимают форму сосуда, в котором находятся, и могут непрерывно переходить в газообразное агрегатное состояние. Однако жидкости обладают рядом только им присущих особенностей, из которых наиболее характерная — текучесть.

Среднее расстояние между молекулами вещества в жидком состоянии меньше (рис. 53, а), чем в газообразном (рис. 53, б). Оно равно приблизительно одному-двум диаметрам молекулы, т. е. порядка 0,5 нм. Поэтому плотность жидкости приблизительно в  $10^3$  раз превышает плотность газа. Свойства жидкостей зависят как от особенностей движения молекул, так и от сил их взаимодействия.



Опытным путём в жидкостях обнаружен *ближний порядок* в расположении частиц (рис. 53, *а*). В отличие от твёрдых кристаллических тел (рис. 53, *в*) в жидкостях упорядоченность в расположении молекул сохраняется лишь среди ближайших соседей (на расстояниях, равных нескольким диаметрам молекул).

Молекулы жидкости совершают непрерывные и беспорядочные колебания около временных положений их равновесия. Средняя кинетическая энергия таких колебаний молекул определяет температуру жидкости. Молекулы, получившие дополнительную энергию в результате столкновений с другими молекулами, могут «перепрыгнуть» в новое (тоже временное) положение равновесия. Это положение равновесия находится от предыдущего, как правило, на расстоянии порядка размеров самих молекул. Таким образом, молекулы медленно перемещаются внутри жидкости, находясь в течение некоторого промежутка времени  $\Delta t$  около определённых мест.

Ближний порядок\* в жидкости постоянно разрушается тепловым движением молекул и вновь создаётся силами межмолекулярного взаимодействия. Из-за отсутствия дальнего порядка в расположении частиц жидкостям, за небольшим исключением, не свойственна анизотропия, присущая кристаллам.

Таким образом, свойства жидкостей определяются расстояниями между молекулами, соизмеримыми с их собственными размерами, и возможностью относительно свободного перемещения молекул.

Отметим, что утверждение «жидкость не имеет собственной формы» не совсем корректно. Жидкости, как и твёрдые тела, практически несжимаемы, но они текучи, поэтому их форма определяется формой предоставленного им сосуда. На форму жидкости оказывают влияние внешние силы, например, сила тяжести совместно с силами реакции дна и стенок сосуда, в котором находится жидкость. Кроме того, действие молекулярных сил притяжения приводит к сокращению свободной поверхности жидкости.

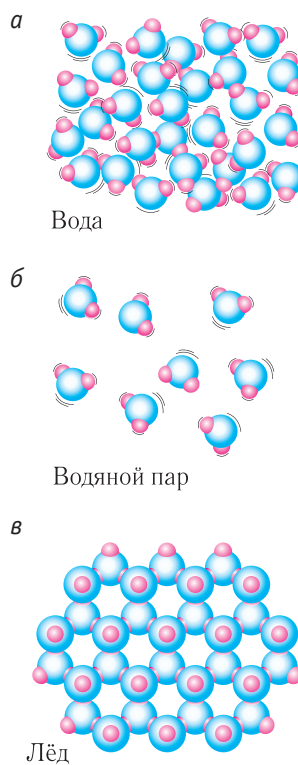


Рис. 53

\* Наличие в жидкостях ближнего порядка в расположении частиц служит причиной того, что структуру жидкостей называют квазикристаллической (кристаллоподобной).

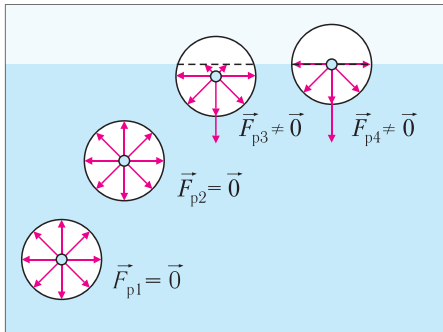


Рис. 54

сил равна нулю. Так как концентрация молекул в воздухе значительно меньше, чем в жидкости, то результирующая сил притяжения каждой молекулы поверхностного слоя молекулами газа меньше результирующей сил её притяжения молекулами жидкости. Таким образом, результирующие сил притяжения, действующих на молекулы поверхностного слоя, направлены внутрь жидкости. Под действием этих сил часть молекул поверхностного слоя втягивается внутрь, число молекул на поверхности уменьшается и площадь поверхности жидкости сокращается до определённой величины. Минимальную площадь поверхности при данном объёме имеют шарообразные тела. Например, капли воды при соприкосновении сливаются в одну, форма которой отличается от сферической из-за воздействия силы тяжести и силы реакции опоры.

Поверхностное натяжение приводит к тому, что вода собирается в капли (рис. 55), образуются мыльные пузыри (рис. 56), жук-водомерка передвигается по поверхности воды (рис. 57), а в состоянии невесомости любой объём свободной жидкости принимает сферическую форму.



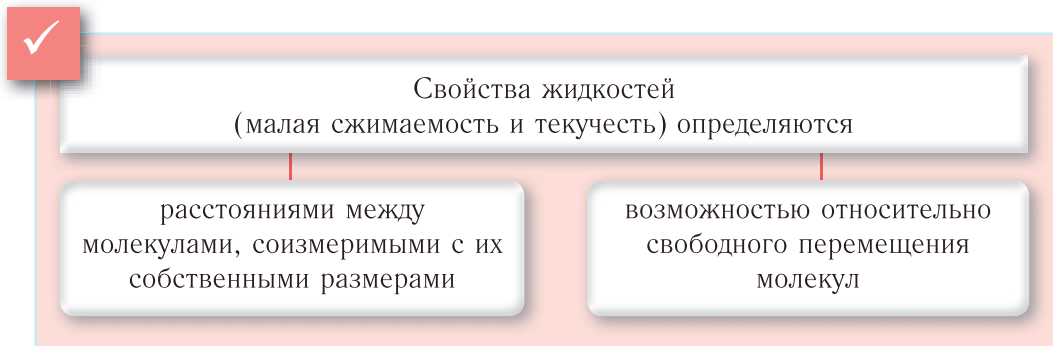
Рис. 55



Рис. 56



Рис. 57



1. Что в строении жидкостей определяет их свойства?
2. Каковы особенности движения молекул жидкости?
3. Каковы общие черты и в чём различия в свойствах жидкостей и газов?
4. Каковы общие черты и в чём различия в свойствах жидкостей и твёрдых тел?
5. В жидкостях частицы совершают колебания возле временных положений равновесия, взаимодействуя с соседними частицами. Через некоторый промежуток времени частица совершает «прыжок» к другому положению равновесия. Какое свойство жидкостей можно объяснить таким характером движения их частиц?



§ 8-1

§ 8-2

## § 9. Испарение и конденсация. Насыщенный пар

*Почему в плотно закрытом сосуде горячая вода остывает медленнее, чем в открытом? Почему зимой на деревьях иногда появляется иней? Чем идеальный газ отличается от пара?*

**Испарение и конденсация.** Из повседневного опыта мы знаем, что жидкости, например вода, находясь в открытых сосудах, с течением времени переходят в газообразное состояние — испаряются. Причём скорость испарения зависит от рода жидкости, её температуры, площади свободной поверхности и от притока воздуха. Вследствие испарения воды с поверхности водяной оболочки Земли (гидросферы), с поверхности почвы и растительного покрова в воздухе всегда находятся водяные пары, которые могут конденсироваться, образовывать облака, выпадать в виде осадков. Процессы испарения и конденсации распространены в природе и технике, и изучение их особенностей имеет большое практическое значение.

Рассмотрим плотно закрытый сосуд, в котором вода занимает нижнюю часть, а остальное пространство заполнено паром. Молекулы в воде и паре находятся в непрерывном движении и могут как вылетать из воды в пар, так и из пара возвращаться в воду. Таким образом, в сосуде одновременно протекают