

## § 15.1. Строение твердых тел

1. Простейшими свойствами твердых тел, резко отличающимися их от газов, являются постоянство формы и объема. От переохлажденных жидкостей — так называемых **аморфных тел** (стекло, вар и т. п.) — твердые тела отличаются кристаллической структурой. Внешне правильная геометрическая форма многих твердых тел была обнаружена давно, и такие тела были названы **кристаллами**. Кристаллы ограничены плоскими, упорядоченно расположенными относительно друг друга гранями, сходящимися в ребрах и вершинах. Например, кристаллы поваренной соли  $\text{NaCl}$  имеют кубическую форму (рис. 15.1). Кристаллы кварца представляют собой шестигранные призмы, заканчивающиеся шестигранными пирамидами (рис. 15.2).

Идея о том, что правильная геометрическая форма кристаллов — результат упорядоченного расположения частиц, составляющих кристалл, была высказана в конце XVIII в. Однако изучение кристаллического состояния вещества было поставлено на прочную экспериментальную основу лишь после открытия рентгеновских лучей. В 1912 г. М. Лауэ обнаружил рассеяние рентгеновских лучей на кристаллической решетке твердого тела, представляющей собой пространственную дифракционную решетку с очень малым периодом. Использование рентгеновских лучей явилось прекрасным методом зондирования внутренних областей твердых тел. При помощи рентгенограмм удалось убедиться в правильном (упорядоченном) расположении частиц, составляющих кристаллы, и даже измерить средние расстояния между ними.

2. Твердые тела, имеющие единую кристаллическую решетку по всему объему, называют **монокристаллами**. Это — крупные одиночные кристаллы, размеры которых в отдельных случаях бывают довольно большими. Так, известный металлург Д. К. Чернов, разрезая слитки железа, нашел внутри одного из них монокристалл длиной около 40 см, а кристаллы горного хрусталя достигают размера человеческого роста.

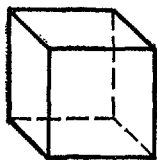


Рис. 15.1.

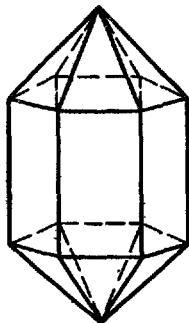


Рис. 15.2.

Большинство твердых тел имеет мелкокристаллическую структуру, т. е. состоит из большого числа сросшихся мелких кристалликов, расположенных относительно друг друга, вообще говоря, совершенно хаотично. Такие твердые тела называют **поликристаллическими**. К ним принадлежат, в частности, металлы, которые всегда можно отличить от других твердых тел по присущему им «металлическому блеску» и ковкости.

При переходе металлов в твердое или жидкое состояние, например, при конденсации металлического пара, внешние (валентные) электроны атомов утрачивают связь со «своими» атомами и легко переходят от одного атома к другому. Поэтому их называют свободными, или коллективизированными. В узлах кристаллической решетки металлов находятся положительные ионы, получившиеся из атомов после отделения от них электронов, а внутри решетки «плавают» свободные электроны, образующие в металле своеобразный электронный газ. Для одновалентных металлов на один атом приходится один свободный электрон. Такое строение металлов объясняет их хорошую теплопроводность и электропроводность.

В § 13.1 мы говорили о том, что между двумя молекулами или атомами действуют силы притяжения и отталкивания. В кристаллической решетке каждый атом твердого тела испытывает воздействие со стороны всех соседних частиц. Равновесное расположение всех атомов твердого тела в узлах решетки соответствует минимуму свободной энергии кристалла и, следовательно, его наиболее устойчивому состоянию.

3. По характеру сил взаимодействия и тому, какие частицы расположены в узлах решетки, различают еще несколько типов твердых тел, помимо металлов. Все соли, подобные хлористому натрию, углекислому кальцию и другим, образуют группу **ионных кристаллов**. В узлах ионной решетки расположены правильно чередующиеся положительные и отрицательные ионы. Силы взаимодействия между частицами в такой решетке в основном электростатические. Решетки этого типа называют **гетерополярными**. На рис. 15.3 изображена кристаллическая решетка каменной соли ( $\text{NaCl}$ ). Она служит примером простейшей кубической структуры. В ее узлах расположены чередующиеся положительные ионы  $\text{Na}^+$  (на рис. 15.3 зачернены) и отрицательные ионы  $\text{Cl}^-$ . Ионные кристаллы легко раскалываются.

В узлах кристаллической решетки **валентных кристаллов** расположены нейтральные атомы. В такой **атомной**, или **гомеополярной**, решетке силы взаимодействия между атомами носят сложный характер. Их объяснение стало возможным только на основе квантовой механики. Некоторые валентные кристаллы, как, например, алмаз и карборунд, отличаются своей твердостью и плохой раскалываемостью.

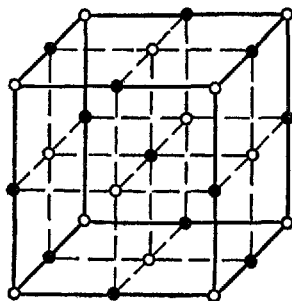


Рис. 15.3.

мостью. Этот тип твердых тел образуется из легких элементов средних групп периодической системы элементов Д. И. Менделеева.

Кроме перечисленных типов кристаллических твердых тел, существуют еще **молекулярные кристаллы**. К ним относится большинство твердых органических соединений, сухой лед, йод, парафин. Молекулярные решетки имеют также кристаллы многоатомных химических соединений (окислы фосфора, серный ангидрид). В узлах кристаллической решетки таких твердых тел расположены нейтральные молекулы.

Особое место среди твердых тел занимают **полупроводники**, к которым относятся окись и закись меди, окись цинка, селен, германий и др. По таким свойствам, как твердость, раскаляемость и структура решетки, полупроводники напоминают валентные кристаллы. Особые свойства полупроводников, которые будут подробно рассмотрены во втором томе курса, обеспечили им широкое применение в науке и технике.

Приведенная выше классификация кристаллических твердых тел до известной степени условна. Существует большое число твердых тел, свойства которых не позволяют отнести их к какому-либо из рассмотренных типов. Эти твердые тела занимают некоторые промежуточные положения между рассмотренными группами.

4. Одна из наиболее характерных особенностей монокристаллов состоит в их **анизотропии**, т. е. в различии их физических свойств (упругих, тепловых, электрических, оптических) по различным направлениям. Специально обработанные поликристаллические тела (например, прокатанный металл) также обнаруживают некоторую анизотропию.

5. Между формой кристаллов твердых тел и их химическим составом существует связь, лежащая в основе кристаллохимического анализа. Так, например, установлено, что структура ионных кристаллов определяется их химическим составом и соотношением ионных радиусов. Важную роль в развитии учения о симметрии кристаллов и разработке основ кристаллохимического анализа сыграли работы Е. С. Федорова. Им разработаны некоторые методы экспериментального изучения кристаллов, в частности созданы специальные гониометры для исследования структуры кристаллов.

В дальнейшем мы не будем интересоваться особенностями различных типов твердых тел и рассмотрим лишь их некоторые общие свойства.

## § 15.2. Тепловое расширение твердых тел

1. Опыт показывает, что с повышением температуры происходит расширение твердых тел, называемое тепловым расширением. Для характеристики этого явления вводят коэффициенты линейного и объемного расширения. Пусть  $l_0$  — длина тела при температуре  $0^\circ\text{C}$ . Удлинение этого тела  $\Delta l$  при нагревании его до температуры  $t^\circ\text{C}$  пропорционально первоначальной длине  $l_0$  и температуре:

$$\Delta l = \alpha_l l_0 t, \quad (15.1)$$