

# Твердые тела

## Агрегатные состояния вещества:

- твердое;
- жидкое;
- газообразное;
- плазма.

## Твердые тела:

- кристаллы;
- квазикристаллы;
- аморфные тела.

# 1. Кристаллы

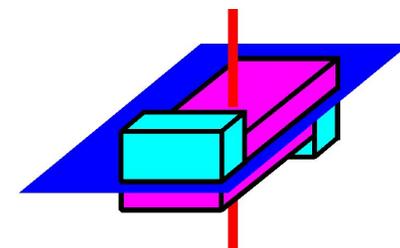
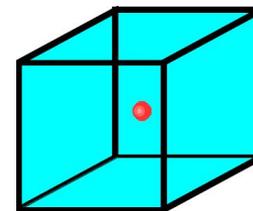
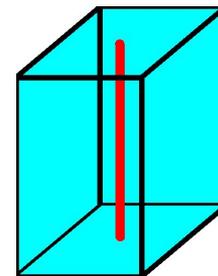
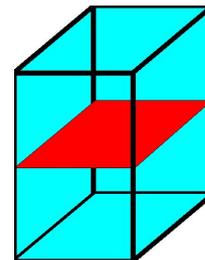
- **Кристаллы** – твердые тела, обладающие трехмерной периодической атомной (или молекулярной) структурой и, при определенных условиях образования, имеющие естественную форму правильных симметричных многогранников.
- Каждому химическому веществу, находящемуся при данных термодинамических условиях (температуре, давлении, химическом составе) в кристаллическом состоянии соответствует определенная **кристаллическая структура** и определяемая ею внешняя огранка кристалла. Все кристаллы в отношении хотя бы некоторых свойств являются **анизотропными**, т. е. их свойства зависят от пространственного направления в кристалле.
- В зависимости от преобладающего типа химической связи кристаллы подразделяются на **ионные, ковалентные, металлические и молекулярные**.

# 1.1. Элементы симметрии кристаллов

- Под *симметрией* понимается способность твердого тела совмещаться с самим собой в результате его движений или воображаемых операций над его точками. Чем большим числом способов такое совмещение возможно, тем более симметрична форма тела.
- Различают *точечные* и *пространственные* группы симметрии. При преобразованиях *точечной симметрии* по крайней мере одна точка объекта остается неподвижной.
- *Элементы точечной симметрии*: плоскость симметрии; ось симметрии; инверсионная ось симметрии; центр симметрии.

# 1.1.1. Элементы точечной симметрии

- Если тело совмещается с самим собой в результате зеркального отражения его точек в некоторой плоскости, то эта плоскость называется **плоскостью симметрии**.
- Если тело совмещается с самим собой при повороте вокруг некоторой оси на угол  $2\pi/n$ , то эта ось называется **осью симметрии  $n$ -го порядка** (1, 2, 3, 4, 6).
- Если тело совмещается с самим собой при инверсии относительно некоторой точки, то эта точка называется **центром симметрии** ( $\bar{I}$ ).
- Если тело совмещается с самим собой при повороте вокруг некоторой оси на угол  $2\pi/n$  и отражении в плоскости, перпендикулярной этой оси, то эта ось называется **инверсионной (зеркально-поворотной) осью симметрии  $n$ -го порядка** ( 2, 3, 4, 6 ).

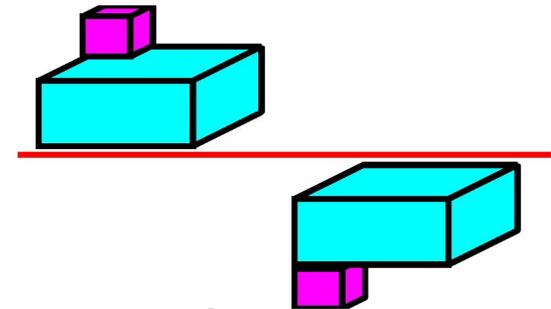
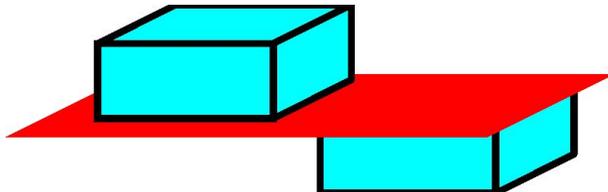


## 1.1.2. Оси симметрии в кристаллах

- Следует различать понятия *структура кристалла* и *пространственная решетка*. Структура – это физическая реальность, а пространственная решетка – геометрическое построение, помогающее выявить законы симметрии структуры кристалла.
- В кристаллах встречаются *оси симметрии* только пяти порядков: первого, второго, третьего, четвертого и шестого. Оси пятого порядка, седьмого и выше запрещены, поскольку их существование несовместимо с представлением о *кристаллической решетке*. Можно непрерывно заполнить плоскость, например, элементами второго (прямоугольник), третьего (равносторонний треугольник), четвертого (квадрат) и шестого порядка (правильный шестиугольник), но невозможно это сделать, воспользовавшись только элементами, к примеру, пятого (правильный пятиугольник) или седьмого порядка (правильный семиугольник).

# 1.1.3. Трансляционная симметрия

- Решетка способна совмещаться сама с собой в результате поступательного перемещения, *трансляции*. Поэтому к рассмотренным выше элементам точечной симметрии добавляется новый элемент симметрии, трансляция  $t$ .
- Трансляция действует не на какую-нибудь точку решетки, а на всю решетку в целом. При перемещении решетки на величину трансляции в направлении *вектора трансляции*:  
 $t = n_1 a + n_2 b + n_3 c$ , где векторы  $a, b, c$  – *базисные векторы решетки, единичные трансляции*;  $n_1, n_2, n_3$  – целые числа, решетка совмещается сама с собой всеми своими точками – имеет место *трансляционная симметрия*.
- Комбинация трансляции с элементами симметрии, характерными для кристаллов как конечных фигур, дает новые виды элементов симметрии: *плоскость скользящего отражения* и *винтовые оси симметрии*.



## 1.2. Дальний порядок

- *Дальний порядок* – корреляция микроструктуры вещества в пределах всего макроскопического образца.
- Кристалл обладает *ориентационным дальним порядком* (воспроизводимость ориентации на любом расстоянии от выбранной точки), а трансляционная симметрия позволяет говорить также о наличии *дальнего трансляционного порядка* в кристаллах.

## 2. Квазикристаллы

- В квазикристаллах имеются оси симметрии пятого, седьмого и высших порядков, запрещенные для кристаллов. Таким образом, *квазикристаллы* – это твердые тела, не образующие кристаллической решетки, но обладающие **ориентационным дальним порядком** с элементами некристаллографической симметрии.

## 2.1. Двумерные модели кристалла и квазикристалла

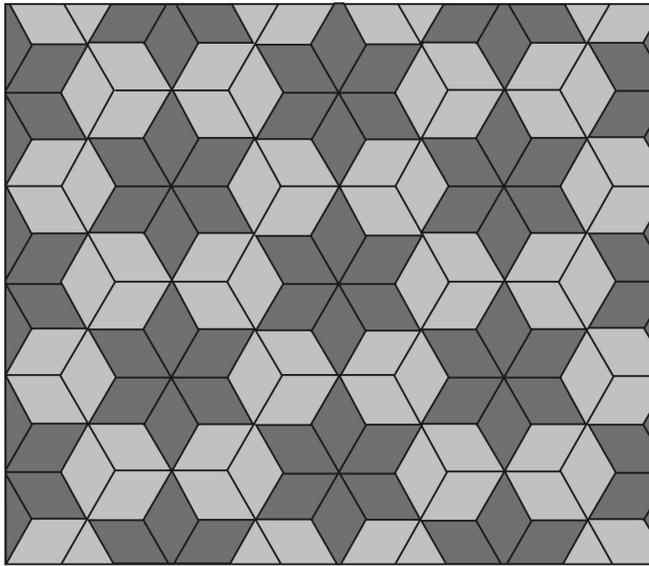


Рис. 1. Двумерный аналог кристалла

Паркет составлен из правильных шестиугольников, каждый из которых состоит из одинаковых ромбов

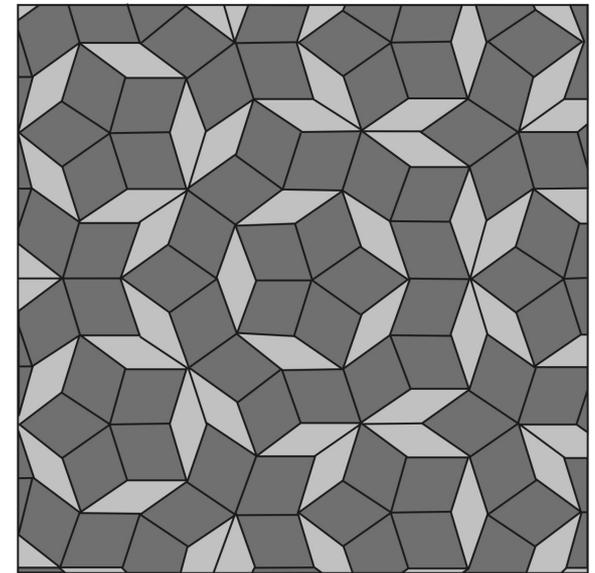


Рис. 2. Квазипериодический паркет Пенроуза с симметрией пятого порядка

Для замощения использованы два ромба: «тонкий» (светлый, с углами  $36^\circ$  и  $144^\circ$ ) и «толстый» (темный, с углами  $72^\circ$  и  $108^\circ$ ).

# 3. Аморфные тела

- **Ближний порядок** – это согласованность в расположении соседних частиц.
- **Аморфное состояние** – одно из физических состояний твердых тел, характеризующееся отсутствием дальнего, но наличием ближнего порядка, т. е. отсутствием строгой периодичности в расположении атомов, ионов, молекул и их групп, присущей кристаллам.
- Из-за отсутствия дальнего порядка аморфные тела **изотропны**.

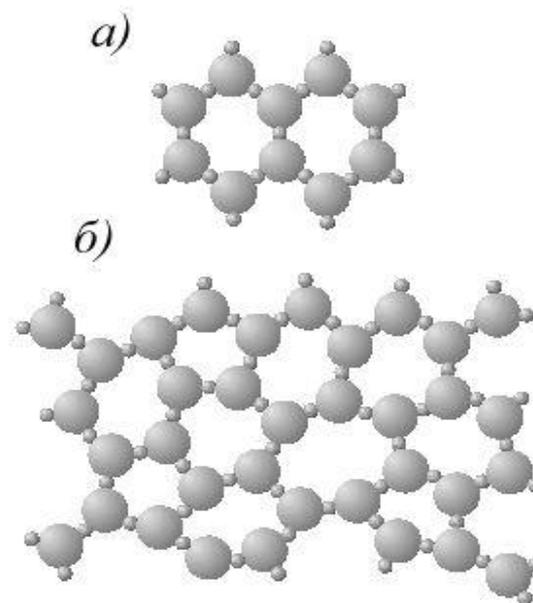


Рис. 3. Различие в строении:  
а – кристаллических и  
б – аморфных тел