



## КРИСТАЛЛЫ

Нужно признаться, что в 10-м номере «Квантика» за 2018 год я вас немножко обманула. Не всех, а только тех, кто слепил из пластилина молекулы поваренной соли ( $\text{NaCl}$ ) и оксида железа ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ). Дело в том, что таких молекул нет. Соль не состоит из молекул!

Если «посмотреть» на неё в очень сильный электронный микроскоп (в обычный оптический такие мелкие детали не разглядеть), окажется, что вместо того, чтобы попарно разделиться на молекулы – каждому атому натрия свой атом хлора, – все атомы построены, как солдаты на плацу! Да ещё и не на плоскости, а в пространстве. На одинаковых расстояниях друг от друга чередуются  $\text{Na} - \text{Cl} - \text{Na} - \text{Cl} - \dots$ . Если этот строй и слепился из молекул, уже не различить, где какая, и не понять, с каким атомом хлора мог быть сцеплен этот атом натрия: все соседние атомы  $\text{Cl}$  находятся от него на равных расстояниях.

Это – ионный кристалл (рис. 1). Помните, что такое ионная связь? Атом хлора «отбирает» у атома натрия электрон, и оба атома становятся ионами – «дефектными» атомами с числом электронов, не равным числу протонов, и оттого заряженными: натрий положительным, а хлор отрицательным. Теперь они притягивают друг друга.

Но если рядом много других таких же ионов, то ведь все отрицательные притягиваются ко всем положительным! Правда, от всех других отрицательных при этом отталкиваются. Получается, что им удобно расположиться в таком вот шахматном порядке. И хотя каждый отдельный хлор отобрал электрон у какого-то одного натрия, притягивается он ко всем своим соседям-натриям. Так что число связей-«ручек» оказывается намного больше.

Это соединение получается очень твёрдым и прочным. В магазинах в основном продают мелко помолотую соль, а если взять соль крупного помола или вообще «каменную» – необработанную, то раздробить её можно разве что молотком.

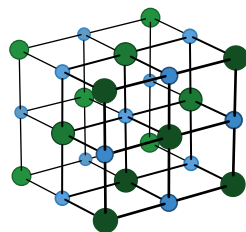


Рис. 1. Ионный кристалл поваренной соли (синий –  $\text{Na}^+$ , зелёный –  $\text{Cl}^-$ )

Оксид железа – тоже кристаллическое вещество, но ионы железа и кислорода выстраиваются иначе – кристаллическая решётка другая (рис. 2).

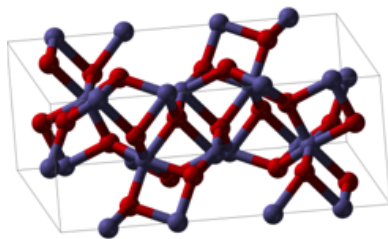


Рис. 2. Кристаллическая решётка оксида железа  $\text{Fe}_2\text{O}_3$

**Задача 1.** Угадайте, каким цветом на рисунке 2 изображены ионы железа, а каким – кислорода. *Подсказка:* все атомы одного элемента в этом кристалле равноправны, то есть их положение относительно соседей и количество связей с соседями одно и то же.

Кристаллы возникают не только у веществ с ионной связью между атомами. Они могут состоять и из таких атомов, которые делятся электронами друг с другом, а не отдают «насовсем» – это называется *ковалентной связью*. Так, углерод может образовывать даже несколько разных видов кристаллов, «под настроение» – смотря какие условия вокруг. И в зависимости от того, как построились атомы – одни и те же атомы углерода! – получаются совсем разные вещества. (А если атомы никак не построились, а «валяются» как попало – получается сажа.)

**Задача 2.** Алмаз и графит (из которого делают стержни для карандашей) – два разных кристаллических вещества из атомов углерода. Вспомните, что вы знаете об этих веществах, и скажите: какое из них справа, а какое слева на рисунке 3?

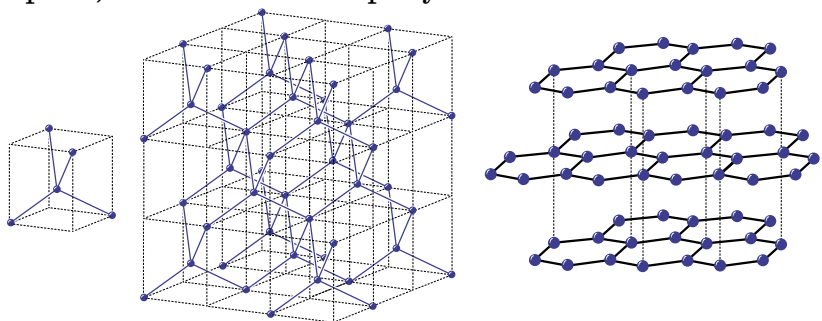


Рис. 3. Кристаллические решётки графита и алмаза: где чья?

А бывает, что в кристаллы строятся не отдельные атомы, а целые молекулы. Например, лёд: это тоже кристаллическое вещество, но решётку образуют молекулы воды (рис. 4). В каждой молекуле воды кислород хоть и «делится» своими электронами с атомами



# ОГЛЯНИСЬ ВОКРУГ



водорода, но при этом «оттягивает» все общие электроны от ядер водорода – поближе к себе. Так что каждый электрон вроде бы вертится вокруг обоих ядер, но вокруг кислорода – больше. Получается, что кислород немножко заряжен отрицательно, а водород – положительно. И вот в результате кислородный «конец» одной молекулы притягивается к водородному «концу» другой. Это притяжение и удерживает их в решётке.

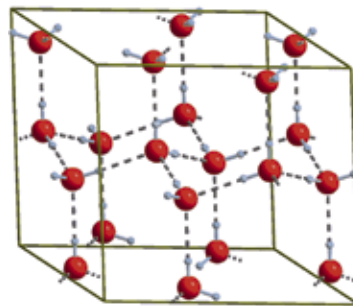


Рис. 4. Кристаллическая решётка льда. Красные шарики – кислород, серые шарики – водород.

Но совсем особый вид связи, который бывает только в кристалле, придумали себе металлы. Это такие атомы, у которых по одному-два электрона на внешнем уровне-этаже<sup>1</sup>, и им их отдать вовсе не жалко. Такие атомы «делятся» своими электронами не просто с ближайшим соседом, а *со всеми* остальными атомами кристалла! То есть все эти «лишние» электроны становятся общими и летают по всему кристаллу. А ионы – ядра с оставшимися электронами – стоят «в строю» и образуют кристаллическую решётку.

Большая свобода электронов обеспечивает одно из главных свойств металлов – способность проводить электрический ток. Ток – это упорядоченное (дружное, в одну сторону) движение заряженных частиц. Если присоединить кусок металла к батарейке, ионы решётки стоят неподвижно, а электроны бегут (точнее, дрейфуют – бегая туда-сюда, постепенно сдвигаются) все в одну сторону, к «плюсу» батарейки. Это не значит, что их в металле становится меньше: ведь ток течёт, только когда металлический провод подсоединён к батарейке. И вместо электронов, «убегающих» в батарейку на одном конце провода, из батарейки приходят новые электроны на другой конец. Провод при этом всегда остаётся незаряженным. Но если батарейку присоединить к куску пласт-

<sup>1</sup> Или побольше, но у атомов с очень большим количеством электронов, так что на верхних этажах «электронного дома» до ядра уже очень далеко и внешние электроны держатся совсем непрочно. Из-за этого в нижних строках таблицы Менделеева почти все элементы – металлы.

массы, резины или даже к сухой деревяшке – ток не потечёт: нет свободных электронов, все привязаны к своим молекулам, некому бежать.

Ещё металлы хорошо проводят тепло: попробуешь нагреть один конец – нагревается весь кусок металла.<sup>2</sup> Это тоже из-за свободных электронов: летая между холодным и горячим концами, они переносят тепло и уравнивают температуру.

**Задача 3.** Не очень чистая вода (и, например, мокрая деревяшка) проводит ток, хотя она и не металл. Что же «бегает» в этом случае?

## КРИСТАЛЛИЧЕСКОЕ ИЛИ АМОРФНОЕ?

Вообще-то все «по-настоящему твёрдые» вещества, хорошо сохраняющие свою форму, – кристаллические. Хотя вот пластилин или глина например, когда засохнут, – вполне твёрдые, а вовсе не имеют кристаллической структуры. Такие вещества называются *аморфными* (не имеющими формы): молекулы (или атомы) в них не построены в строгом порядке, а «набросаны» более-менее как попало. Часто бывает, что одни и те же молекулы могут образовывать и кристаллическое вещество, и аморфное (вспомните алмаз, графит, уголь и сажу). Чтобы атомы успели «построиться» в кристалл, расплавленное вещество должно остывать достаточно медленно. Если остужать его быстрее – получится аморфное тело.

У кристаллических веществ есть определённая температура плавления, у каждого своя; если нагреть их до этой температуры, они резко меняют свои свойства и плавятся, превращаются в жидкость: кристалл разваливается на отдельные молекулы. У аморфных тел никакой определённой температуры плавления нет – при нагревании они плавно становятся всё более текучими. Молекулы (или атомы) в них и так уже расположены как в жидкости.

**Задача 4.** При нагревании аморфные тела (например, стекло) становятся более «жидкими», молекулы в них – более подвижными. Почему же глина при обжиге становится не мягкой, а очень твёрдой?

<sup>2</sup> Можете проверить это, нагревая один конец вилки или ложки над плитой или опуская их в горячую воду. Только не обожгитесь.



## ЭЛЕМЕНТАРНАЯ ЯЧЕЙКА И ВИДЫ РЕШЁТОК

Мы говорили в №10 «Квантика» за 2018 год, что молекула – «минимальный кусочек» вещества, который ещё определяет его химические свойства: взяв много таких кусочков, получим сколько угодно этого вещества<sup>3</sup>. У кристаллического вещества «минимальное количество», которое его всё ещё полностью определяет, – не молекула, а *элементарная ячейка*. Это самый маленький кусочек решётки, из копий которого можно составить всю решётку.<sup>4</sup>

Например, кристаллическая решётка поваренной соли получается многократным повторением такого кусочка: Na – Cl. Это и есть элементарная ячейка соли, в ней два атома. А в элементарной ячейке полония – всего один атом (рис. 5). Такая кристаллическая решётка называется *простой кубической*: весь кристалл можно составить из одинаковых кубиков, в каждом – один атом (на рисунке один из этих кубиков выделен синим). Это и есть элементарная ячейка.

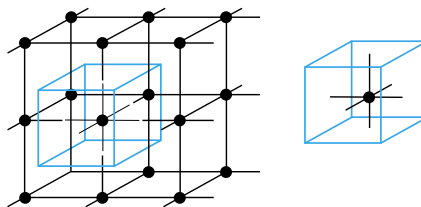


Рис. 5. Простая кубическая решётка и её элементарная ячейка

Обратите внимание! Чёрные линии, которыми на этом и следующих рисунках изображены связи между ионами, тоже образуют кубики. Но «разрезать» (даже мысленно) кристалл на ячейки удобнее не по ним – а то атомы попадут на границы разрезов, и мы легко запутаемся, разбираясь, «считается» ли этот атом внутри того или этого кубика. Лучше просто сдвинуть нашу воображаемую (синюю) сетку из элементарных ячеек.

<sup>3</sup> Имеются в виду «чистые» вещества, из одинаковых молекул. Смеси разных веществ (как воздух или дерево) мы сейчас не обсуждаем.

<sup>4</sup> Самые маленькие – потому что две соседние элементарные ячейки, например, тоже можно копировать, и получится то же самое. Интересно найти самый маленький из всех возможных «кирпичиков». Но всё-таки такой, который «сохраняет симметрии решётки»: если вся решётка симметрична, например переходит сама в себя при повороте на  $90^\circ$ , то и элементарная ячейка должна быть так же симметрична. В частности, если решётка состоит из кубов, то и элементарная ячейка должна иметь форму куба.

Следующий по сложности тип решётки – такой, в котором атомы расположены не только по вершинам кубиков, нарисованных чёрными палочками-связями, но и в центре каждого кубика (рис. 6, слева). Так устроены, например, кристаллы железа. А другие атомы – например, меди и золота – предпочитают строиться в *гранецентрированные* решётки, у которых атомы стоят в вершинах кубов и в центрах их граней (рис. 6, справа).

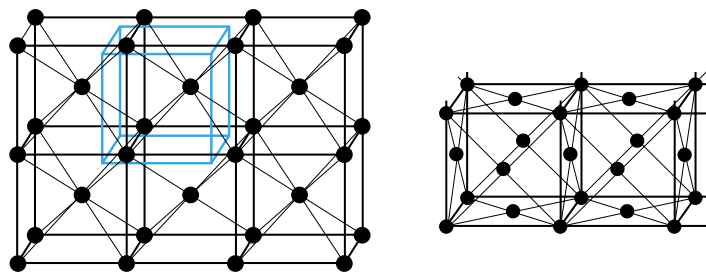


Рис. 6. Кубические решётки: объёмноцентрированная и гранецентрированная

**Задача 5.** Нарисуйте элементарные ячейки кристаллических решёток железа и золота. Сколько атомов в каждой из них? Если трудно сразу разобраться с объёмной картинкой, нарисуйте сперва «квадратную реброцентрированную» решётку на плоскости и выясните, какая у неё элементарная ячейка.

Как мы видели на примере углерода, бывают и некубические решётки: у графита, например, элементарная ячейка имеет форму шестиугольной призмы.

**Задача 6.** Один упорный школьник решил сделать из пластилина и спичек точную модель кристаллической решётки железного кубика со стороной 1 мм. Расстояние между атомами железа в соседних узлах решётки всего 3 ангстрема (пишется  $3 \text{ \AA}$ ),  $1 \text{ \AA} = 10^{-10} \text{ м}$  (одна десятиллиардная метра). Какого размера получится модель?

**Задача 7.** Пусть из атомов одного и того же элемента (то есть одинаковых) удалось сделать два разных кристалла: один с простой кубической решёткой, другой с гранецентрированной. Длина стороны кубика (шаг решётки) первого кристалла при этом получилась в 2 раза меньше шага решётки второго. Взяли два одинаковых по объёму больших куса обоих кристаллов. Какой из них тяжелее и во сколько раз?

Художник Мария Усейнова

