1951 г. Май *Т. XLIV, вып. 1*

УСПЕХИ ФИЗИЧЕСКИХ НАУК

МОЖЕТ ЛИ КРИСТАЛЛ ОДНОВРЕМЕННО БЫТЬ ИЗОТРОПНЫМ И АНИЗОТРОПНЫМ?

А. В. Шубников

Лица, впервые знакомящиеся с физической кристаллографией, а иногда и квалифицированные кристаллографы, часто не могут понять, каким образом один и тот же кристалл может быть одновременно анизотропным и прерывным в отношении одних свойств, и изотропным и непрерывным в отношении других свойств, иметь симметрию куба в отношении одних свойств и симметрию шара в отношении других свойств. То, что, например, кристаллы каменной соли имеют по всем направлениям одинаковые показатели преломления, одинаковую электропроводность, одинаковую диэлектрическую проницаемость и т. д., эти лица склонны объяснять либо несовершенством техники измерения, либо тем, что до сих пор мы имели дело лишь с такими кристаллами, в которых названные величины незначительно изменяются с изменением направления. При этом указывают, что, например, поверхность модулей упругости кристаллов кубической системы не является шаром и имеет симметрию куба, что раньше поверхность величины намагниченности кристаллов кубической системы считалась шаром, а теперь оказалось, что для ферромагнитных кристаллов она не шар, а поверхность, имеющая симметрию куба и т. д.

В этой заметке мы хотим показать, что, несмотря на некоторую резонность указанных и подобных им сомнений, сосуществование в одном и том же кристалле таких, казалось бы, противоречивых и исключающих друг друга свойств, как прерывность и непрерывность, изотропия и анизотропия и т. д. является логически необходимым.

Пусть, для примера, мы имеем какой-либо кусок идеально построенного кристалла каменной соли (рис. 1). Как и всякий другой кристалл, наш кристалл имеет решетчатое строение, обладает свойствами анизотропии и причисляется к одному из

32 кристаллографических классов симметрии, в данном случае — к классу $\bar{6}/4$.

Выделим мысленно из нашего кристалла по его плоскостям спайности участок в форме куба $ABCD$ и посмотрим, что с ним произойдёт при термическом расширении, т. е. при равномерном нагревании кристалла, не вызывающем фазовых превращений. Очевидно, что куб $ABCD$ должен при этом преобразоваться в куб $A'B'C'D'$ несколько большего размера. Никакого искривления граней куба при этом в идеальном кристалле произойти не может, так как иначе он потерял бы своё решетчатое строение, т. е., в точном соответствии с общепринятым определением понятия «кристалл», перестал бы быть кристаллом. Нельзя допустить, чтобы кристалл каменной соли имел строго решетчатое строение только при какой-то одной температуре и изменял его при нагревании и охлаждении.

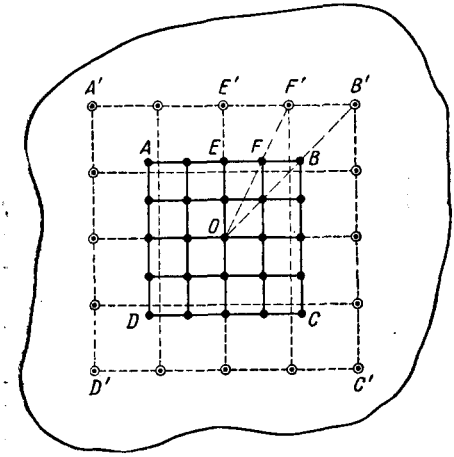

Рис. 1.

Приняв это, определим, чему должен быть равен коэффициент расширения кристалла по разным его направлениям. Из чертежа видно, что в направлении OE линейный коэффициент теплового расширения α равен $\frac{EE'}{OE \cdot \Delta t}$, где Δt — разность температур: окончательной и первоначальной. Это следует из того, что при нагревании точка E переходит в точку E' и вектор OE — в вектор OE'. По той же причине коэффициент расширения в направлении OF должен быть равен $\frac{FF'}{OF \cdot \Delta t}$, а в направлении OB он должен быть равен $\frac{BB'}{OB \cdot \Delta t}$. Из подобия треугольников OEF и $OE'F'$ и треугольников OEB и $OE'B'$ следует, что $\frac{EE'}{OE} = \frac{FF'}{OF} = \frac{BB'}{OB}$. Это означает, что коэффициенты расширения нашего идеального кристалла по всем направлениям точно равны друг другу. Это означает также, что поверхность коэффициентов расширения, т. е. геометрическое место концов радиусов-векторов, по величине и направлению равных коэффициентам расширения, есть идеально построенная сфера.

В нашем чертеже за начало координат была взята точка, совпадающая с узлом решётки, и за направления, по которым определялся коэффициент расширения, были взяты рациональные кристаллографические направления. Нетрудно видеть, что эти условия не являются необходимыми. Чтобы показать это, повторим наше рассуждение для куба $ABCD$, ориентированного в кристаллической решётке совершенно произвольно (рис. 2). Такой куб в результате теплового расширения, как и раньше, должен преобразоваться в куб $A'B'C'D'$ несколько бо́льшего размера. При этом все ряды узлов первого куба должны без искривления переходить в ряды узлов второго куба и грани первого куба, в общем случае иррациональные, переходить без искривления в соответственные грани второго куба. Последнее замечание следует понимать так. Если иррациональная грань BC проходит через точки E, F, не являющиеся узлами решётки, то грань $B'C'$ должна проходить через аналогично расположенные в ней точки E', F'. При тепловом расширении точка E переходит в E', точка F переходит в F' и вообще каждая точка на поверхности первоначального куба переходит в соответственную точку на поверхности второго куба. Из подобия треугольников OEF и $OE'F'$ следует, однако, что $\frac{EE'}{OE}=\frac{FF'}{OF}$, а это по предыдущему означает, что коэффициенты расширения по всем направлениям и на этот раз оказываются равными между собой. Это означает также, что и в этом случае поверхность коэффициентов расширения есть сфера и притом та же са́мая сфера, хотя центром её служит теперь точка, не совпадающая с узлом решётки.

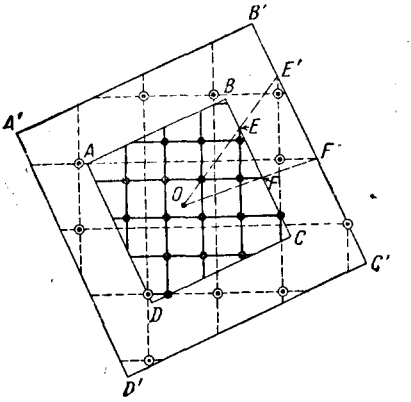

Рис. 2.

Из изложенного следует, что идеальный кристалл каменной соли и все вообще кристаллы кубической системы, будучи явным образом анизотропными в отношении ряда свойств (упругость, прочность и т. д.), являются изотропными в отношении термического расширения.

Так как при описании явления термического расширения любая точка кристаллической решётки (узловая или не узловая) может считаться центром сферической поверхности коэффициентов

расширения, т. е. все точки решётки являются равноценными и не различимыми друг от друга, то все кристаллы могут и должны рассматриваться в отношении указанного явления как среды однородной непрерывной структуры.

Все кристаллы кубической системы в отношении теплового расширения имеют симметрию шара $\infty/\infty \cdot m$.

Аналогично можно доказать, что поверхность коэффициентов теплового расширения кристаллов гексагональной и тетрагональной систем имеет круговое сечение по плоскости, нормальной к главной оси кристаллов.

Изложенное лишний раз показывает, что симметрия и дисимметрия, изотропия и анизотропия, прерывность и непрерывность кристаллов суть свойства относительные. Не существует симметрии кристаллов «вообще», а существует симметрия кристаллов в отношении тех или иных его свойств; не существует анизотропии кристаллов «вообще», а существует анизотропия кристаллов в отношении некоторых его свойств; не существует прерывного (решетчатого) строения кристаллов «вообще», а существует прерывное строение в отношении определённых его свойств.