

таты этих исследований широко используются в физике, минералогии, материаловедении и металлургии, химии, мол. биологии и др.

В структурной К. исследуется атомно-молекулярное строение кристаллов методами рентгеновского структурного анализа, электронографии, нейтронографии, опирающимися на теорию дифракции волн и частиц в кристаллах. Применяются также методы оптич. спектроскопии, электронной микроскопии и др. В результате определена кристаллич. структура более  $10^5$  хим. веществ. Изучение законов взаимного расположения атомов в кристаллах и хим. связей между ними, а также явлений *изоморфизма* и *полиморфизма* является предметом *кристаллохимии*. Исследования т. п. *биологических кристаллов*, позволившие определить структуру гигантских молекул белков и нуклеиновых к-т, связывают К. с молекулярной биологией.

При изучении процессов зарождения и роста кристаллов (см. *Кристаллизация*) используются общие принципы термодинамики и закономерности фазовых переходов и поверхностных явлений с учётом взаимодействия кристалла со средой, анизотропии свойств и атомно-молекулярной структуры кристаллов. В К. изучаются также разнообразные нарушения идеальной кристаллич. решётки — разл. *дефекты*, в т. ч. *дислокации*, возникающие в процессе роста кристаллов или в результате разл. внеш. воздействий на них и определяющие их свойства.

Исследование механ., оптич., электрич. и магн. свойств кристаллов является предметом *кристаллофизики*, к-рая смыкает К. с физикой *твёрдого тела*. Возникший на основе исследования роста кристаллов пром. синтез алмаза, рубина, Ge, Si и др. (см. *Синтетические кристаллы*) — основа квантовой и полупроводниковой электроники, оптики, акустики и др.

В К. исследуются строение и свойства разнообразных агрегатов из микрокристаллов (поликристаллов, текстур, керамики), а также веществ с атомной упорядоченностью, близкой к кристаллической (*жидких кристаллов*, полимеров). Симметричные и структурные закономерности, изучаемые в К., находят применение при рассмотрении общих закономерностей строения и свойств аморфных тел и жидкостей, полимеров, *квазикристаллов*, макромолекул, надмолекулярных структур и т. п. (обобщённая К.).

*Лит.:* Попов Г. М., Шафрановский И. И., Кристаллография, 5 изд., М., 1972; Современная кристаллография, т. 1—4, М., 1979—81; Шафрановский И. И., История кристаллографии, XIX в., Л., 1980; Белов Н. В., Очерки по структурной кристаллографии и фёдоровским группам симметрии, М., 1986. Б. К. Вайнштейн.

**КРИСТАЛЛОПТИКА** — часть физической оптики, изучающая законы и особенности распространения света в кристаллах и др. анизотропных средах. Характерные для таких сред явления — *двойное лучепреломление*, *гиротропия*, *поляризация света*, *плекроизм* и т. п. Двурепломление, положившее начало К., открыто Э. Бартолином (E. Bartholin) в 1669 на кристаллах кальцита. Вопросы поглощения и излучения света кристаллами рассматриваются в *спектроскопии кристаллов*. Влияние электрич. и магн. полей на оптические свойства кристаллов исследуется в *электрооптике* и *магнитооптике*.

В изотропных средах вектор электрич. индукции  $D$  связан с вектором электрич. поля  $E$  световой волны соотношением  $D = \epsilon E$ , где  $\epsilon$  — скалярная величина, зависящая от частоты  $\omega$  (дисперсия частотная) и волнового вектора  $k$  (*дисперсия пространственная*). В анизотропных средах диэлектрич. проницаемость  $\epsilon$  — тензор (с гл. значениями  $\epsilon_x, \epsilon_y, \epsilon_z$ ), зависящий от направления. Следствием этого является наблюдаемая анизотропия оптич. свойств в кристаллах и все особенности распространения света в них, в частности зависимость фазовой скорости распространения волны  $v$  и показателя преломления  $n$  от направления. Тензор магн. проницаемости  $\mu$  в оптич. диапазоне длин волн

в большинстве случаев может считаться равным 1 (немагн. кристаллы).

В отличие от изотропных тел, в кристаллах по заданному направлению  $N$  могут распространяться две плоские линейно поляризованные в разных плоскостях световые волны с волновыми векторами  $k_{1,2} = (\omega/c)n_{1,2}N$  ( $nN$  — волновая нормаль) и разл. фазовыми скоростями  $v_{1,2} = c/n_{1,2}$ . Показатели преломления  $n_1$  и  $n_2$  определяются как корни осн. ур-ния К.— ур-ния Френеля:

$$\frac{N_x^2}{\frac{1}{n^2} - \frac{1}{\epsilon_x}} + \frac{N_y^2}{\frac{1}{n^2} - \frac{1}{\epsilon_y}} + \frac{N_z^2}{\frac{1}{n^2} - \frac{1}{\epsilon_z}} = 0. \quad (1)$$

Направления векторов поляризации этих волн  $D'$  и  $D''$  (рис. 1) и волновая нормаль  $N$  образуют тройку взаимно перпендикулярных векторов. Т. к. в анизотропных средах вектор  $D$  не совпадает по направлению с вектором  $E$ , а вектор потока энергии (Умова вектор)  $S = (c/4\pi)[E \times H]$ , лежащий в плоскости векторов  $E, D, N$ , перпендикулярен  $E$ , то  $S$  не совпадает по направлению с вектором волновой нормали  $N$ . Вектор, направленный по  $S$ , а по абс. величине такой, что  $NS = 1$ , наз. *лучевым вектором*. Т. о., в кристаллах есть два несовпадающих (в отличие от изотропных тел) направления — направление волновой нормали (фазовой скорости) и направление энергии (луча, лучевой скорости). Замена  $\epsilon_{ik} \rightarrow \epsilon_{ik}^{-1}, D \rightarrow E, N \rightarrow S$  из ф-л, связывающих  $\epsilon_{ik}, D, H, N$ , получаются ф-лы для  $\epsilon_{ik}^{-1}, E, H, S$  — в этом заключается принцип двойственности в К.

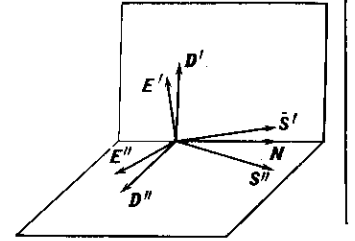


Рис. 1. Расположение векторов  $N, E, D, S$  плоских волн в кристаллах.

В К. широкое применение для интерпретации оптич. свойств кристаллов находит метод оптич. поверхностей (волновых и лучевых). В соответствии с ур-нием (1) свойства кристалла могут быть геометрически описаны его оптич. индикатрисой — эллипсоидом с полуосями  $\sqrt{\epsilon_x}, \sqrt{\epsilon_y}, \sqrt{\epsilon_z}$  (т. н. поверхность волновых нормалей, абс. значения радиусов-векторов к-рой по заданному направлению  $N$  равны значениям показателей преломления волн, идущих по этому направлению). Оси симметрии этого эллипсоида определяют три взаимно перпендикулярных главных направления в кристалле, а значения его полуосей — главные значения тензора диэлектрич. проницаемости. Сечение индикатрисы плоскостью, проходящей через её центр и перпендикулярной заданному направлению  $N$ , является в общем случае эллипсом. Длины гл. полуосей этого эллипса равны показателям преломления, а их направления совпадают с направлением колебаний (вектора  $D$  в волне). Во всех точках кристалла оптич. индикатрисы имеют одинаковую ориентацию и одинаковые размеры полуосей, зависящие от симметрии кристалла.

По числу разл. главных значений тензора  $\epsilon_{ik}$  (1, 2 или 3) кристаллы делятся на три группы в зависимости от типа симгонии (см. *Симгония кристаллическая*). Для кубич. кристаллов тензор  $\epsilon_{ik}$  вырождается в скаляр с одним гл. значением ( $\epsilon_x = \epsilon_y = \epsilon_z$ ), а эллипсоид — в сферу. Кристаллы этой группы по оптич. характеристикам не отличаются от изотропных тел (без учёта пространственной дисперсии). В кристаллах средних симгоний (гексагональной, тригональной и тетрагональной) оптич. индикатриса — эллипсоид вращения, имеющий два гл. значения  $\epsilon_x = \epsilon_y = \epsilon_{\perp} = n_o^2; \epsilon_z = \epsilon_{\parallel} = n_e^2$  и ось вращения, параллельную оси симметрии высшего порядка. В этом случае ур-ние Френеля в гл. системе