

зарядовой и спиновой плотности (см. *Волны зарядовой плотности*), К. является *несоизмеримой структурой*, однако в отличие от них несоизмеримость К. обусловлена свойствами его *точечной группы симметрии*. Характерными для К. являются нефёдоровские группы симметрии, несовместимые с трансляционной инвариантностью кристаллов (см. *Симметрия кристаллов*). Известен ряд материалов, имеющих группу симметрии правильного икосаэдра, содержащую запрещённые для фёдоровских групп оси симметрии 5-го порядка. Эти вещества можно разделить на два класса: «метастабильные» (напр.,  $Al_5Mn$ ,  $UPd_3Si$ ,  $Ti-Ni-V$ ) и «стабильные» (напр.,  $Al_5CuLi_3$ ,  $Al-Cu-Fe$ ,  $Al-Zn-Mg$ ). Метастабильные К. получают из расплава быстрым охлаждением, а при нагревании необратимо переходят в кристаллич. состояние. Электронограмма этих К. состоит из точечных рефлексов (рис. 1), характерных для обычных кристаллов (см. *Электронография*). Размер области, в к-рой имеется дальний порядок, оценивается по обратной полуширине дифракционных пиков и для разных соединений составляет от  $10$  до  $10^3 \text{ \AA}$ . Стабильные К. получают при сколь угодно медленном охлаждении расплава, т. е. ему соответствует определённая область на диаграмме равновесных состояний. Дифракционные пики электронограммы имеют малую ширину, варьирующуюся от  $10^{-2}$  до  $10^{-5} \text{ \AA}$ , т. е. размер области координац. упорядочения существенно больше, чем у метастабильных К. Как и для обычных кристаллов, группа симметрии проявляется в морфологии роста, приводя к образованию ограниченных монокристаллов с икосаэдрич. симметрией (рис. 2). Помимо икосаэдрич. К., получены также К., группы симметрии к-рых содержат оси симметрии 8-го, 10-го и 12-го порядка, запрещённые для фёдоровских групп симметрии.

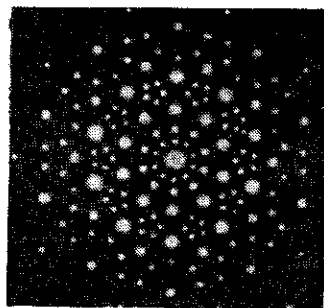
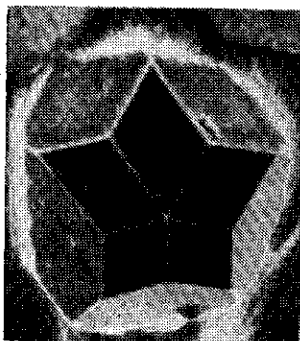


Рис. 1. Электронограмма квазикристалла  $Al_5Mn$ .

Структуру икосаэдрич. К. можно описать двумя эквивалентными способами. Первый основывается на пред-



6

Рис. 2. Ограниченные монокристаллические зёрна икосаэдрических К.: а)  $Al_5CuLi_3$  — триаиконтаэдрическая огранка; б)  $Al-Cu-Fe$  — додекаэдрическая огранка.

ложением Р. Пенроузом (R. Penrose) методе построения неперидич. узоров, состоящих из двух разных элементов (рис. 3). Хотя у этого узора и его трёхмерного аналога, описывающего К., периодичность отсутствует, в расположении ромбов и соответствующих им атомов есть элементы упорядочения: 1) в узоре можно найти сколь угодно большие фрагменты с симметрией 5-го по-

рядка; 2) структура квазипериодична — на достаточно больших расстояниях повторяются сколь угодно большие её участки; 3) узор обладает симметрией подобия — структура, получаемая удалением определ. набора атомов, отличается от исходной изменением масштаба в  $\tau = (\sqrt{5} + 1)/2$  раз; 4) атомы расположены в определённых плоскостях (в двумерном случае — на линиях), причём расстояние между плоскостями (линиями) может принимать 2 значения, к-рые чередуются в определённом порядке (связанном с числовым рядом Фибоначчи), отно-

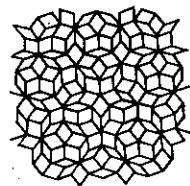


Рис. 3. Плоский неперидический узор, составленный из двух типов ромбов с острыми углами  $36^\circ$  и  $72^\circ$ .

шение этих значений равно  $\tau$ ; 5) дифракц. картина от подобной структуры необычна: расположение атомов вдоль плоскостей приводит к Брегговским пикам, причём, в отличие от кристаллов, точечные рефлексы плотно заполняют обратное пространство, тем не менее только малая доля пиков имеет большую интенсивность и может наблюдаться экспериментально. Положение пиков и распределение их интенсивностей, вычисленные для трёхмерного узора, качественно согласуются с экспериментом.

Др. метод описания структуры икосаэдрич. К. основан на том, что группа икосаэдра содержится в группе симметрии шестимерного гиперкуба, к-рая совместима с трансляционной инвариантностью в шестимерном пространстве. Произвольный шестимерный периодич. кристалл с такой симметрией может быть использован для построения трёхмерной структуры. Для этого трёхмерное пространство рассматривается как гиперплоскость в шестимерном и часть атомов шестимерного кристалла, близкая к ней, проектируется на гиперплоскость. Изменяя шестимерный кристалл, можно получить различные трёхмерные структуры и, в частности, узор Пенроуза. Полученные т. о. структуры обладают свойствами 1—5. Выбор пространства др. размерности и гиперплоскости в нём позволяет описать структуры с произвольными нефёдоровскими симметриями.

Лит.: Shechtman D. и др., Metallic phase with long-range orientation order and no translational symmetry. «Phys. Rev. Lett.», 1984, v. 53, p. 1951; Levine D., Steinhardt P. J., Quasicrystals: a new class of ordered structures, там же, p. 2477; Калугин П. А., Китаев А. Ю., Левитов Л. С.,  $Al_{0.86}Mn_{0.14}$  — шестимерный кристалл, «Письма в ЖЭТФ», 1985, т. 41, с. 119. Л. С. Левитов.

**КВАЗИЛИНЕЙНАЯ ТЕОРИЯ ПЛАЗМЫ** — приближенная теория, использующая метод *адиабатических приближений* для описания взаимодействий частиц и волн в плазме. К. т. п. описывает возникновение слабой турбулентности в плазме, когда можно считать, что отд. волновые моды независимы, но влияние их на ф-цию распределения  $f_a$  частиц сорта  $a$  существенно. Особенно сильно *взаимодействие частиц с волнами* вблизи черенковского резонанса  $\omega = kv$ , где  $\omega$  и  $k$  — частота и вектор волны,  $v$  — скорость взаимодействующей с волной частицы. Аналогичный резонанс в магн. поле осуществляется при условии  $\omega - n\omega_H = kv$ ,  $n=0, \pm 1, \pm 2, \dots$ , где  $\omega_H$  — ларморова частота заряд. частицы.

Кинетич. ур-ния в квазилинейном приближении выводятся из бесстолкновительных *кинетических уравнений* для плазмы в форме Власова путём их усреднения по хаотич. колебаниям слаботурбулентной плазмы. В простейшем случае для плазмы без магн. поля ур-ния К. т. п. принимают вид

$$\frac{\partial f_a}{\partial t} = -\frac{\partial}{\partial p_i} D_{ij}^{(a)} \frac{\partial f_a}{\partial p_j}, \quad (1)$$

$$v_a = v_a(p) = pc(p^2 + m_a^2 c^2)^{-1/2}, \quad (2)$$

где

$$D_{ij}^{(a)} = 8\pi^2 e_a^2 \int \frac{k_i k_j}{k^2} W \delta(\omega - kv_a) d^3k,$$