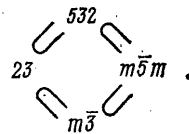


В. Ш. Шехтман. Икосаэдрическая симметрия и дифракционный эксперимент. Обнаружение новых принципов упаковки атомов в твердых телах требует более детального рассмотрения групповых соотношений между моделью квазикристалла и кристаллической решеткой. Так, системы с симметрией пятого порядка примыкают к семействам кристаллографических точечных групп, объединяемых семью предельными фигурами Кюри. Более того, если отсутствуют ограничения, связанные с трансляционной решеткой, две группы икосаэдрической сингонии являются естественным и единственным добавлением к привычным тридцати двум группам. При этом выполняется минимальное требование — конечная группа вращений, построенная на неортогональных поворотных осях. Таким образом, к иерархии высших предельных групп шара (∞/∞ и $\infty/\infty mmm$) причислены только две сингонии: кубическая — группы $432, 23$, $m\bar{3}m$, $\bar{4}3m$, $m\bar{3}$ и икосаэдрическая — группы 532 , $m\bar{5}m$, 1 . Сразу же можно указать важные подгрупповые цепочки



Далее полезно выявить геометрические связи между решетками Браве и квазикристаллическими упаковками, если учесть общие свойства правильных многогранников. Известно, что существует всего пять так называемых тел Платона² с числом граней 4, 6, 8, 12 и 20. На языке кристаллографии все они являются простыми формами (частными) кубической либо икосаэдрической сингонии (рис. 1). Для данного изложения существенно, что имеются способы взаимного вложения указанных фигур; например, куб вписывается в двенадцатигранник с пятиугольными гранями. Пусть куб принадлежит к группе $m\bar{3}$, т. е. среди его элементов симметрии отсутствуют

оси четвертого порядка. Тогда пентагон-додекаэдр формируется как простая форма, если исходную грань взять с индексами $\{10\psi\}$ (где $\psi = (1 + \sqrt{5})/2$). Обратим внимание, что в этой процедуре применение операций симметрии куба к плоскости в уникальной (иррациональной) ориентации приводит к фигуре, являющейся простой формой супергруппы $m\bar{5}m$.

Одним из следствий этого построения может рассматриваться и альтернатива Л. Паулинга³ в истолковании дифракционных наблюдений закаленных сплавов алюминий-марганец. Действительно, правильные углы

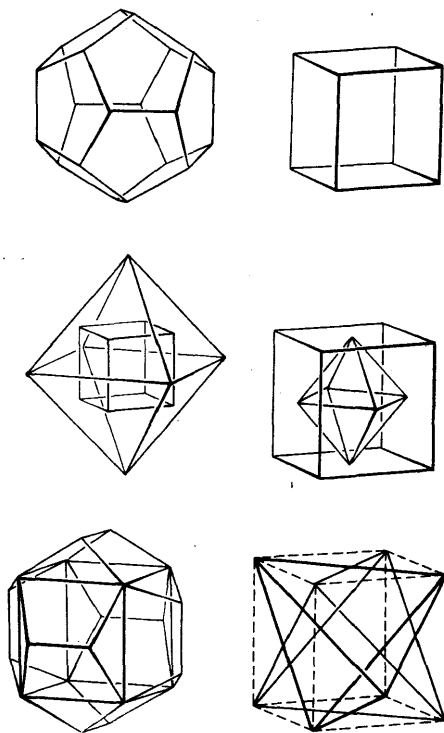


Рис. 1

между осями 5-, 3-, 2-го порядков на электронограммах можно считать признаками квазикристаллического кластера; однако равным образом эти угловые соотношения могут характеризовать систему двенадцати доменов кубической фазы, сориентированных при росте по плоскостям, близким к $\{10\psi\}$ (например $\{305\}$, $\{508\}$ и т. п. из последовательности Фибоначчи). В этом случае экспериментальные наблюдения симметрии пятого порядка могут рассматриваться также и как свидетельство существования икосаэдрической упаковки в качестве прафазы, симметрия которой наследуется в дифракционной картине полидоменного кристалла согласно принципу Желудева—Шувалова⁴.

В заключение этого изложения обратим внимание на металлические системы, в которых получены необычные результаты, послужившие началом «икосаэдрической катастрофы» в физике твердого тела. Представляется отнюдь не случайным, что для сплавов алюминий-марганец и алюминий-

железо-кремний известны интерметаллиды, структура которых относится к пространственным группам $Im\bar{3}$ и $Ra\bar{3}$ соответственно. Здесь также просматривается возможность фазовых переходов II рода из икосаэдрической группы $m\bar{5}m$ и ее подгруппы $m\bar{3}$.

Переходя к проблемам дифракции, отметим прежде всего перспективность и высокий уровень теоретического подхода, развитого П. А. Калугиным, А. Ю. Китаевым и Л. С. Левитовым (доклад на данной сессии). Далее необходимо выделить приоритетный вклад А. Маккея, который разработал в 1981 г. концепцию квазирешетки⁵. Здесь весьма существенна фундаментальная идея иерархии покрытий Пенроуза, построенных на пространственных ромбах, треугольниках, ромбоэдрах с замечательными углами типа 36° , 72° , $63,43^\circ$ и т. п. В частности, для последующих экспериментов важно, что узор можно строить не только путем расширения покрытия декагонами (триаконтаэдрами), но и за счет разбиения с бесконечным «углублением» (уменьшением масштаба) от исходной фигуры с пятикратной симметрией.

При общей оценке ситуации в рассматриваемом направлении видна большая интенсивность публикаций (1–2 статьи в неделю в течение последних двух лет). Тем не менее во всех уровнях экспериментальных работ выдерживается с точки зрения структурного анализа лишь первичная схема метода «проб и ошибок». Известный из многолетней практики рентгено-

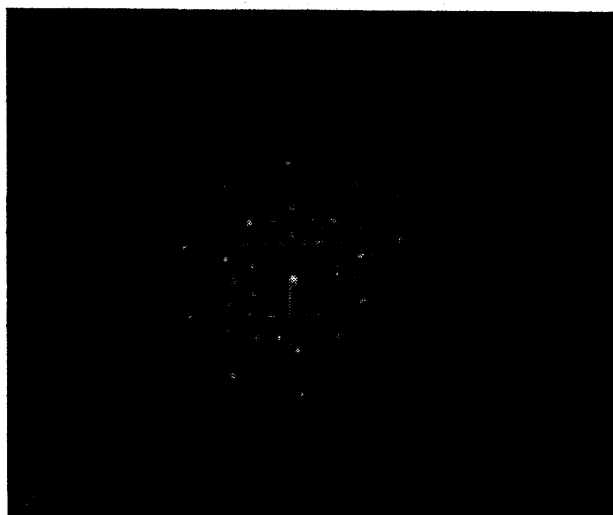
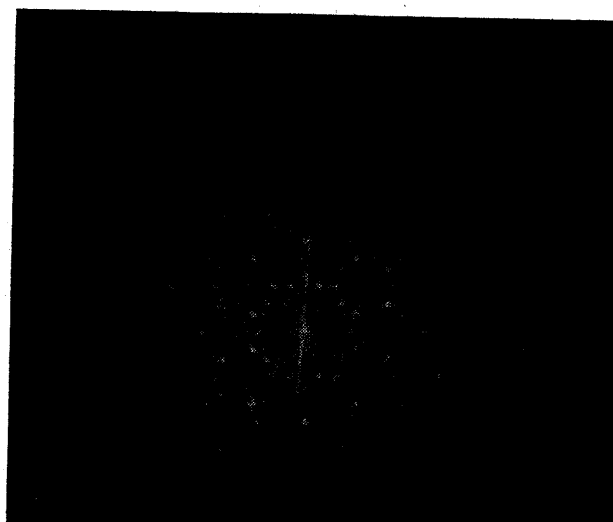
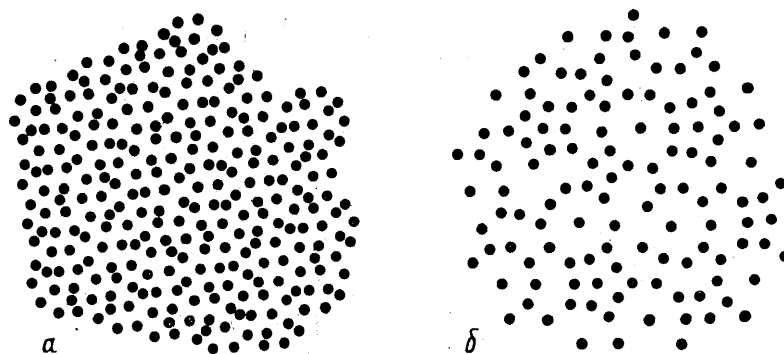


Рис. 2

структурного анализа путь решения обратной задачи дифракции пока не использовался. Ясно, конечно, что главные трудности связаны с отсутствием выраженной трансляционной решетки. В частности, необходимо найти подходы, например, для введения понятий, адекватных геометрическому структурному фактору F , интерференционной функции Φ , с целью использовать при восстановлении структуры полный набор интенсивностей дифракционных максимумов. То, что дифракционная картина зависит от структуры икосаэдрического покрытия (и, следовательно, необходимо исходить при анализе из некоторых аналогов выражения

$$\rho(xyz) = \frac{1}{v} \sum_h \sum_k \sum_l F(hkl) \exp[-i2\pi(hx + ky + lz)],$$

было показано в предварительных экспериментах. В ИФТТ АН СССР проведено оптическое моделирование дифракционных эффектов на плоских покрытиях Пенроуза *). Изготавливались транспаранты, представляющие два алгоритма построения узора (рис. 2, а, б). Преобразование Фурье, реализованное в оптическом дифрактометре с использованием гелий-неонового лазера, дало разные дифракционные картины (рис. 2, в, г). Это не только демонстрирует дифракционные максимумы, полученные на нетривиальных узорах, но и указывает на изменение картины дифракции, зависящее от перестройки икосаэдрической структуры.

Сказанное позволяет заключить, что в настоящее время требуются дополнительные усилия для теоретического и экспериментального решения обратной задачи дифракции с целью непосредственной расшифровки рассматриваемых на данной сессии атомных структур.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Вайнштейн Б. К. Современная кристаллография. Т. 1. Симметрия кристаллов: Методы структурной кристаллографии. — М.: Наука, 1979. — С. 101.
2. Гильберт Д., Кон-Фоссен С. Наглядная геометрия. — М.: Наука, 1981. — С. 99.
3. Pauling L. // Nature. 1985. V. 317. P. 512.
4. Желудев И. С., Шувалов Л. А. // Кристаллография. 1956. Т. 1. С. 681.
5. Маккей А. Л. // Кристаллография. 1981. Т. 26. С. 910.

[538.91 + 539.144.31(048)]

В. С. Шпинель. Ядерно-спектроскопические исследования сверхтонких взаимодействий для примесей в металлах. Исследования сверхтонких взаимодействий (СТВ) различными ядерными методами, в которых используются радиоактивные ядра и ускорители, позволили получить ряд фундаментальных результатов, существенных как для физики ядра, так и для физики конденсированных сред. В докладе изложены некоторые результаты исследований магнитных СТВ для магнитных примесей в разбавленных сплавах Pd(Fe, Co) при сверхнизких температурах и для немагнитных (НН) примесей Sn в редкоземельных металлах (РЗМ), выполненные в НИИЯФ МГУ методами мёссбауэровской спектроскопии, ориентированных ядер и методом эффекта Мёссбауэра на ориентированных ядрах. Рассмотренные примеры показывают, какие вопросы магнетизма металлов могут быть выяснены такими методами.

1. Исследования СТВ в сплавах 3d-элементов с Pd представляют особый интерес в связи с уникальными свойствами Pd. В работе изучались эмиссионные мёссбауэровские спектры с источником ^{57}Co , введенным в

*) В проведении экспериментов участвовали Е. В. Шулаков, И. Н. Ивойлов, А. И. Ерко.