
НАБЛЮДЕНИЕ АНТИФЕРРОМАГНЕТИЗМА МЕТОДАМИ НЕЙТРОНОГРАФИИ

Двумя необходимыми условиями существования ферромагнетизма являются: 1) атомы ферромагнетика должны обладать магнитным моментом, обусловленным недостроенной электронной d - или f -оболочкой; 2) обменный интеграл, связанный с обменом электроном между двумя соседними атомами, должен быть положителен. При выполнении этих двух условий устойчивым состоянием является параллельное расположение магнитных моментов атомов в некоторых областях (доменах) в отсутствии внешнего магнитного поля.

Некоторые соединения переходных элементов обладают интересным магнитным свойством: для них устойчивым состоянием является антипараллельное расположение соседних магнитных атомных моментов. В этом случае выполняется условие (1), но обменный интеграл для двух ближайших соседей отрицателен. Такие вещества получили название антиферромагнетиков. При 0°K каждый атомный магнитный момент такого вещества окружён противоположно направленными

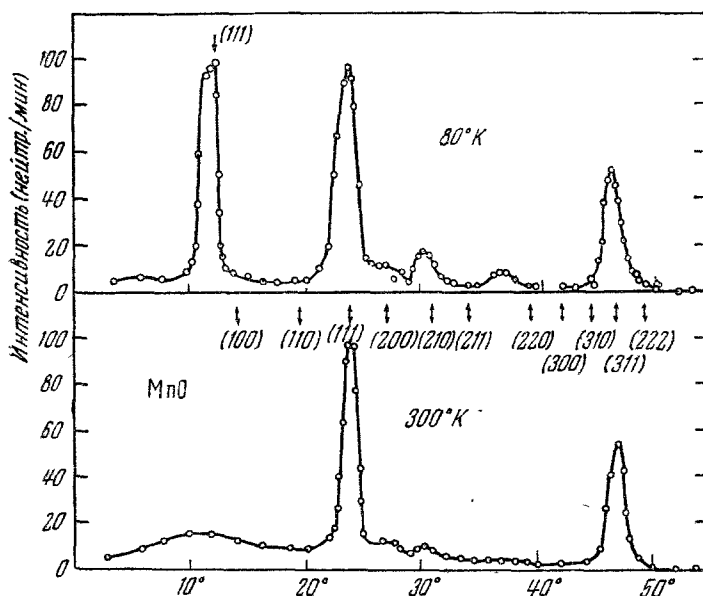
моментами. С повышением температуры этот порядок начинает разрушаться и при достижении некоторой температуры (температуры Кюри) тепловое движение совершенно разрушает области спонтанного антиферромагнетизма и порядок остается лишь в мельчайших областях, между которыми нет никакой корреляции; выше температуры Кюри вещество обнаруживает типичные парамагнитные свойства. При температуре Кюри должны наблюдаться аномалии некоторых свойств антиферромагнетиков (например, их теплоемкости), так как это температура фазового перехода второго рода; наличие остатков порядка в мельчайших областях — ближний порядок — делает аномалии размытыми. Эксперименты доказали отсутствие каких бы то ни было структурных изменений в данном интервале температур; поэтому ничем другим аномальное поведение свойств антиферромагнетиков объяснено быть не могло. По обнаружению этих аномалий раньше и судили о наличии антиферромагнетизма, причем этот метод был единственным. Естественно, что магнитными методами антиферромагнетизм обнаружен быть не может, ибо магнитные моменты атомов полностью компенсируют друг друга. Нейтронография делает возможным прямой метод регистрации наличия антиферромагнетизма.

В антиферромагнетиках ниже точки Кюри образуется жесткая магнитная решетка. Было показано теоретически и подтверждено экспериментально¹, что магнитная и ядерная амплитуда рассеяния нейтронов (т. е. амплитуда рассеяния медленных нейтронов магнитными и ядерными силами) одного порядка. Следовательно, взаимодействие магнитного момента нейтрона с магнитным моментом атома может быть определено по когерентному рассеянию нейтронов антиферромагнетиками.

Экспериментально магнитное рассеяние нейтронов изучалось для четырех веществ²: MnO , MnF_2 , $MnSO_4$, Fe_2O_3 . Эксперименты при комнатной температуре показали: 1) магнитное рассеяние диффузно для MnF_2 и $MnSO_4$ (нет спаривания магнитных моментов); 2) магнитное рассеяние для MnO подобно рассеянию в жидкой фазе (обнаруживается порядок антипараллельного расположения магнитных моментов в очень малых областях, не координированных между собой — ближний порядок), 3) в случае Fe_2O_3 обнаруживается наличие сильных максимумов когерентного рассеяния на местах, не дозволенных с точки зрения химической структуры. Последние два результата находятся в полном согласии с представлениями об антиферромагнетизме, ибо для MnO и $\alpha-Fe_2O_3$ температуры Кюри равны $122^\circ K$ и $950^\circ K$ соответственно.

На рисунке представлены нейтронограммы, полученные с образцов порошкообразного MnO при комнатной температуре и при $80^\circ K$. На нейтронограмме MnO при комнатной температуре присутствуют нормальные дифракционные максимумы когерентного ядерного рассеяния правильной гранцентрированной кубической решеткой и фон диффузного магнитного рассеяния на малых углах. Надо отметить, что хотя MnO имеет решетку типа $NaCl$, нейтронограммы их противоположны (по отношению интенсивностей дифракционных максимумов (111) и (200)). Это объясняется тем, что MnO и O имеют амплитуду рассеяния нейтронов разных знаков. Нейтронограмма MnO при низкой температуре имеет те же максимумы когерентного ядерного рассеяния, так как в этой области температур нет никаких структурных изменений. Кроме того, на нейтронограмме видно наличие сильного дифракционного максимума в месте, где ему не подобает быть с точки зрения химической структуры решетки. Возникновение этого максимума может быть объяснено с помощью магнитного взаимодействия нейтрона с атомами решетки.

Дифракционному максимуму можно приписать индекс (111), если принять элементарную магнитную ячейку в два раза большей химической, чего и следовало ожидать, так как атом кислорода постоянного магнитного момента не имеет.



В заключение надо отметить, что метод дифракции нейтронов несомненно даст очень много нового при изучении магнитной структуры и магнитных превращений кристаллической решётки.

Р. П. Озеров

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. O. Halpern, M. H. Johnson, Phys. Rev. **55**, 898 (1939),
2. C. G. Shull, J. S. Smart, Phys. Rev. **76**, 1256 (1949).