

ВЛИЯНИЕ ЭФФЕКТОВ СОИЗМЕРИМОСТИ НА ТЕМПЕРАТУРНУЮ ЗАВИСИМОСТЬ УГЛА ПОВОРОТА МАГНИТНОЙ СПИРАЛИ В МОНОКРИСТАЛЛИЧЕСКОМ ДИСПРОЗИИ

*В.Г.Бессергеев, В.В.Гогава, А.Г.Манджавидзе,
В.М.Федоров, С.И.Шило*

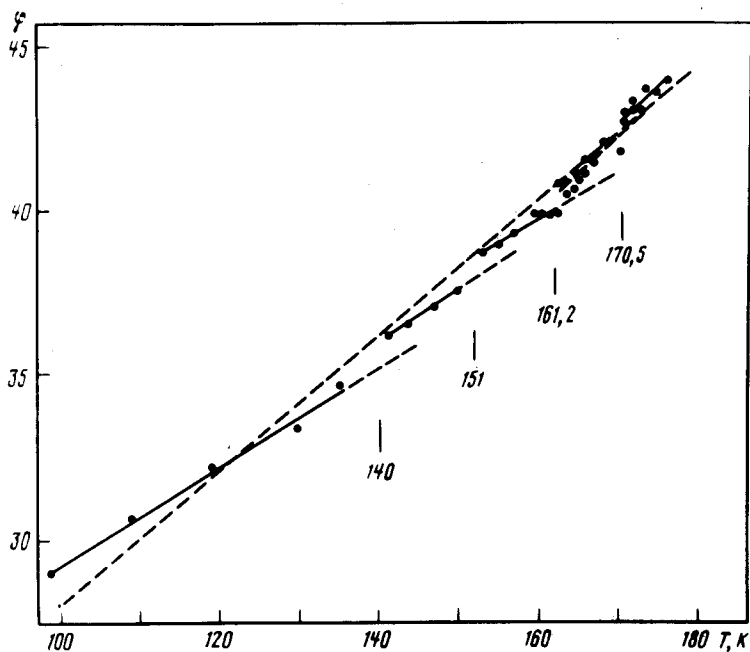
Проведено исследование температурной зависимости угла поворота φ магнитных моментов в геликоидальной антиферромагнитной фазе в монокристаллическом диспрозии. В точках соизмеримости периодов кристаллической и магнитной структур обнаружено скачкообразное изменение φ .

В последнее время широко изучаются тяжелые редкоземельные металлы (РЗМ) тербий, диспрозий и гольмий с целью обнаружения аномального поведения различных физических величин в точках соизмеримости ¹⁻³. В этих РЗМ между температурами Кюри и Нееля реализуется модулированная (геликоидальная) антиферромагнитная структура, период которой монотонно меняется с температурой ^{4,5}. Причиной, приводящей к длинноволновой модуляции магнитной структуры, может быть как анизотропия в базисной плоскости, так и взаимодействие спинов релятивистской природы, приводящее к появлению линейных по параметру порядка производных в выражении для свободной энергии ^{6,7}. Температурная зависимость волнового вектора, описывающего такую структуру, в этих случаях вообще говоря различна, особенно в окрестности точек соизмеримости. Аномалии в температурной зависимости волнового вектора в окрестности точек соизмеримости наблюдались недавно для гольмия и эрбия ^{8,9} в экспериментах по рассеянию синхротронного излучения. Проявление эффектов соизмеримости во многом определяется чистотой образцов, и для несовершенных кристаллов они сильно подавляются. С другой стороны, примеси и нарушения в кристалле способствуют сохранению геликоидального состояния в парамагнитной области и приводят к уменьшению угла геликоида и его "замораживанию" вблизи температуры Нееля ¹⁰. В чистых же монокристаллических образцах геликоидальные корреляции спинов в парамагнитной области отсутствуют и геликоидальная структура исчезает в точке фазового перехода T_N (при нагреве) ¹¹.

В настоящей статье приводятся результаты нейтронографического исследования монокристаллического диспрозия с отношением электросопротивлений 17 при 300 К и $4,2$ К. Изменялось угловое положение магнитного спутника относительно ядерного рефлекса (002) при различных температурах ¹²:

$$\varphi = \pi \left(\frac{2c \sin \theta}{\lambda} - l \right),$$

где c — параметр решетки вдоль оси c , λ — длина волны монохроматических нейтронов, θ — угол, под которым виден магнитный спутник, l — индекс Миллера ($l = 2$).



Температурная зависимость угла геликоида, полученная при нагревании образца. Пунктирная линия проведена по всем экспериментальным точкам методом МНК, отрезки прямых проведены по МНК по сериям точек. Вертикальными линиями отмечены температуры соизмеримости

На рисунке приведена температурная зависимость угла геликоида. Методом наименьших квадратов (МНК) проведена линейная аппроксимация по всем экспериментальным точкам (кривая 1); как видно, экспериментальные точки неудовлетворительно укладываются на прямую линию. С другой стороны, при некоторых температурах наблюдаются скачки угла геликоида в окрестности их соизмеримых значений φ_{ci} .

Теоретически такая зависимость волнового вектора от температуры получается, когда в выражение для свободной энергии вместе с членами, описывающими кристаллическую анизотропию, входят линейные по градиентам от параметра порядка члены — инварианты Лифшица⁷. Минимизация функционала свободной энергии при этом приводит к нелинейному уравнению синус — Гордона для фазы параметра порядка, описывающего магнитную структуру "простая спираль", $\eta = \rho e^{i\varphi}$ (где амплитуда $\rho = \text{const}$). Впервые в такой форме задача перехода в геликоидальное состояние была рассмотрена И.Е.Дзялошинским⁶. Соответствующее решение получается в терминах амплитудной эллиптической функции⁷.

$$\varphi(z) = Am(qz, \kappa),$$

где A, κ — численные коэффициенты ($0 < \kappa < 1$), $q = \sqrt{v}/\kappa$, v — параметр анизотропии, z — координата в направлении, перпендикулярном базисной плоскости. При конечных κ это решение описывает ступенчатую функцию, где фаза постоянна и ширина ступенек растет с ростом κ . Физически это означает появление периодической соизмеримой структуры, разделенной решеткой солитонов, где волновой вектор изменяется очень быстро. Такое скачкообразное изменение волнового вектора можно получить вблизи точек соизмеримости и при изменении температуры за счет изменения амплитуды параметра порядка^{6, 7}.

Полученные экспериментальные данные можно аппроксимировать линейной зависимостью, разбив весь температурный интервал на участки, разделенные температурами соизмеримости T_{ci} , исключив их окрестности. Аппроксимация этих участков линейной функцией показала, что при этом суммарное среднее квадратичное отклонение $(\Delta\varphi)^2 = 0,80$ на порядок меньше, чем при линейной аппроксимации по всем экспериментальным точкам $(\Delta\varphi)^2 = 9, 45$.

Таким образом на основании полученных экспериментальных результатов можно сделать вывод о том, что в окрестности углов φ_{ci} , из-за нестабильности спиральной структуры, происходит скачкообразное изменение угла поворота спирали, проявляющееся в узком интервале температуры ($< 0,5$ К), которое по-видимому описывается в рамках сделанных теоретических предположений ^{6, 7}.

Литература

1. Drillat A., Bachel F., Bates S., Palmer S.B. J. of Mag. and Mag., 1984, 44, 232.
2. Lee M.C., Tröder F., Levy M. J. Phys. Chem. Sol., 1975, 36, 1286.
3. Sousa J.B., Moreira J.M., Braga M.E., et al. J. of Mag. and Mag. Mat., 1985, 49, 219.
4. Koehler W.C., Cable J. W., Wilkinson M.K., Wollan E.Q. Phys. Rev., 1966, 151, 414.
5. Wilkinson M.K., Koehler W.C., Wollan E.Q., Cable F.W. J. Appl. Phys., 1961, 32, 48S.
6. Дзялошинский И.Е. ЖЭТФ, 1964, 47, 992.
7. Изюмов Ю.А., Сыромятников В.Н. Фазовые переходы и симметрия кристаллов М.: Наука, 1984.
8. Bohr J., Gibbs D., Monkton D.E., D'Amico K.L. Physika, 1986, 140A, 349.
9. Gibbs D., Bohr J., Axe J.D. et al. Phys. Rev. B, 1986, 34, 8182.
10. Манджавидзе А.Г., Харадзе Г.А. Письма в ЖЭТФ, 1969, 10, 68.
11. Бессергенов В.Г., Гогвава В.В., Ковалевская Ю.А. и др. Письма в ЖЭТФ, 1985, 42, 412.
12. Leciejewics F. Zarys neutronografii krystalow. Warszawa, 1980.

Институт физики
Академии наук Грузинской ССР

Поступила в редакцию
6 ноября 1987 г.