

- [4] Tanaka K. // J. Non-Coyst. Sol. 1980. V. 35/36. P. 1023—1034.
 [5] Доморяд И. А., Коломиец Б. Т. // Изв. АН СССР, матер. 1971. Т. 7. № 9. С. 1620—1627.
 [6] Manika I., Teteris J. // J. Non-Cryst. Sol. 1987. V. 90. P. 505—508.
 [7] Боросова З. У. Химия стеклообразных полупроводников. Л., 1972. 248 с.
 [8] Шпотюк О. И., Савицкий И. В. // УФЖ. 1989. Т. 34. № 6. С. 894—898.
 [9] Матковский А. О., Шпотюк О. И. // ЖПС. 1989. Т. 50. № 3. С. 448—453.

Институт физики АН ЛатвССР
Саласпилс

Поступило в Редакцию
6 февраля 1990 г.

УДК 537

© Физика твердого тела, том 32, № 8, 1990
Solid State Physics, vol. 32, N 8, 1990

ИССЛЕДОВАНИЕ НАМАГНИЧЕННОСТИ МОНОКРИСТАЛЛА ГОЛЬМИЯ В СЛАБЫХ МАГНИТНЫХ ПОЛЯХ

Г. С. Бурханов, А. В. Волкозуб, О. В. Снигирев,
А. М. Тишин, О. Д. Чистяков

Проведенные в последнее время эксперименты с использованием дифракции нейтронов и синхротронного излучения по изучению магнитной структуры гольмия существенно трансформируют представления о его низкотемпературном магнитном фазовом переходе геликоидальный антиферромагнетизм — ферромагнетизм при $T = \Theta_1$ [1-4]. Ранее в работах [5, 6] было установлено, что температура Θ_1 является точкой фазового перехода первого рода. Геликоидальная антиферромагнитная структура разрушается в гольмии при температуре $\Theta_2 = 132$ К. В области $T < 50$ К при нейтронографическом исследовании [5] наблюдались магнитные спутеллиты 5-го и 7-го порядков, что свидетельствует о сильном отклонении магнитных моментов в направлении осей легкого намагничивания в базисной плоскости. В области температур ниже 20 К в гольмии имеет место коническое ферромагнитное упорядочение. При 4.2 К составляющие магнитного момента в базисной плоскости и вдоль гексагональной оси c равны 9.5 и 1.7 μ_B соответственно [5, 6]. Нейтронографическое изучение показало, что приложение поля в базисной плоскости приводит к трансформации конического упорядочения в ферромагнитную структуру [6]. При $T = 4.2$ К схлопывание конуса происходит в поле $H \approx 4 \cdot 10^5$ А/м. Сведения о величине волнового вектора этой структуры существенным образом отличаются [3-5]. В данном диапазоне температур наблюдается также фазовый переход первого рода между двумя неизмеримыми значениями величины волнового вектора $2/11$ и $1/6$ в единицах c^* [1].

Таким образом, представляет интерес провести детальное исследование магнитного поведения гольмия в низкотемпературной (< 50 К) области в слабых магнитных полях, не приводящих к заметной трансформации магнитного упорядочения.

Измерения магнитного момента проводились с помощью универсального сквид-магнитометра [7, 8], автоматизированного на основе микроЭВМ IBM-РС/XT. Образец в виде нити длиной ≈ 2 мм и массой 9.5 мг наклеивался на кварцевый держатель и помещался в ампулу магнитометра. Магнитный момент измерялся при медленном охлаждении и отогреве образца в постоянном магнитном поле $H \parallel b$. Абсолютная погрешность измерений момента не превышала 10 %. Чувствительность установок по магнитному моменту составляла $5 \cdot 10^{-12}$ А·м²/Гп^{1/2}.

Поскольку совершенство структуры и чистота образца могут существенно влиять на результаты исследований, в работе использовалась монокристаллическая нить гольмия, полученная методом вакуумной сублима-

дци в печи сопротивления с графитовым нагревателем при остаточном давлении $\approx 10^{-6}$ Тор. Примесный состав сублимированного гольмия контролировался методом искровой масс-спектрометрии и вакуумной экстракции. Анализ содержания 20 примесных элементов показал, что основное количество примесей (17) находится в пределах 10^{-3} — 10^{-5} ат.%, содержание примесей меди, европия и неодима составляет 10^{-2} ат.%. Проведенные нами исследования показали, что отношение удельных сопротивлений образца при 300 и 4.2 К равно $R_{300}/R_{4.2} \approx 50$. Из рентгенографических данных следует, что образец был ориентирован в базисном направлении вдоль оси b .

На рис. 1 представлены температурные зависимости магнитного момента образца при его охлаждении и нагреве в магнитном поле

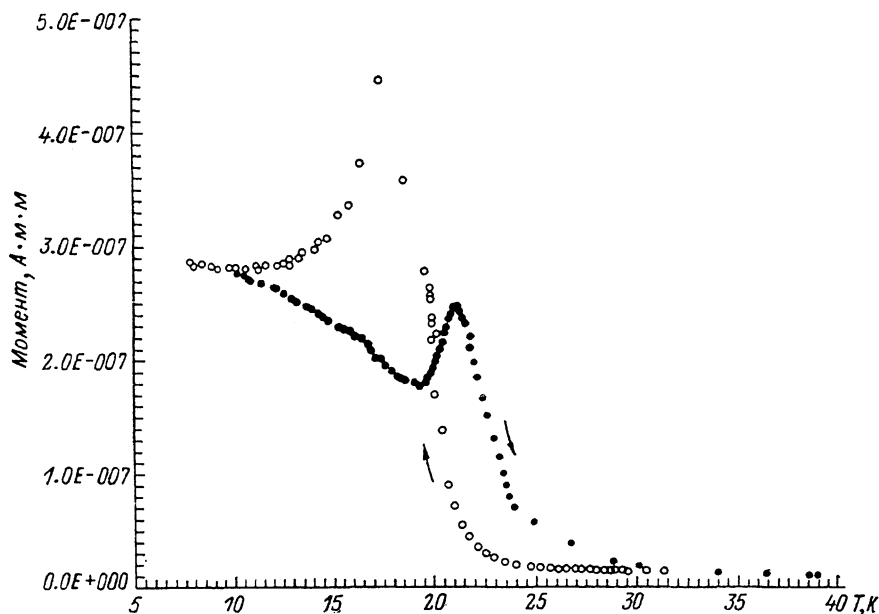


Рис. 1. Температурные зависимости магнитного момента монокристалла гольмия при охлаждении и нагреве в магнитном поле $H=104$ А/м ($H \parallel b$).

$H=104$ А/м. При охлаждении образца из геликоидальной фазы на кривой $M(T)$ наблюдается максимум при 18.5 К. С ростом температуры сначала величина момента уменьшается до точки 19.3 К, а затем возрастает, принимая максимальное значение при 21.1 К. Как видно из рис. 1, при термодинамическом цикле наблюдается гистерезис, который продолжается до температур, значительно превышающих температуру перехода в парамагнитное состояние. Аналогичный характер кривых $M(T)$ сохраняется при возрастании поля до 10^3 А/м, при этом смещения по температуре максимумов и минимума магнитного момента не наблюдается.

В области температур 14—19 К при нагреве образца от гелиевых температур наблюдается ряд дополнительных особенностей (рис. 2).

В работах [1, 2] высказано предположение, что в магнитной структуре гольмия и некоторых других тяжелых редкоземельных металлов возможно возникновение периодически повторяющихся дефектов (спиновое проскальзывание). Показано, что в рамках этой модели можно объяснить экспериментально наблюдаемые особенности поведения волнового вектора.

Такие отклонения магнитного упорядочения гольмия от обычной спирали могут приводить к возникновению ферримагнитного упорядочения в области существования соизмеримой магнитной структуры [1].

Полученные нами данные, по всей видимости, свидетельствуют о наличии спонтанного магнитного момента в базисной плоскости при температурах, меньших 20 К, и могут быть объяснены существованием ферримаг-

нитного упорядочения в пределах базисной плоскости. Следует отметить, что наличие гистерезиса при $T \geq 10$ К достаточно хорошо согласуется с нейтронографическими данными [1] и подтверждает возможность сосуществования в области температур $\approx 10 \div 20$ К магнитных фаз с различными волновыми векторами.

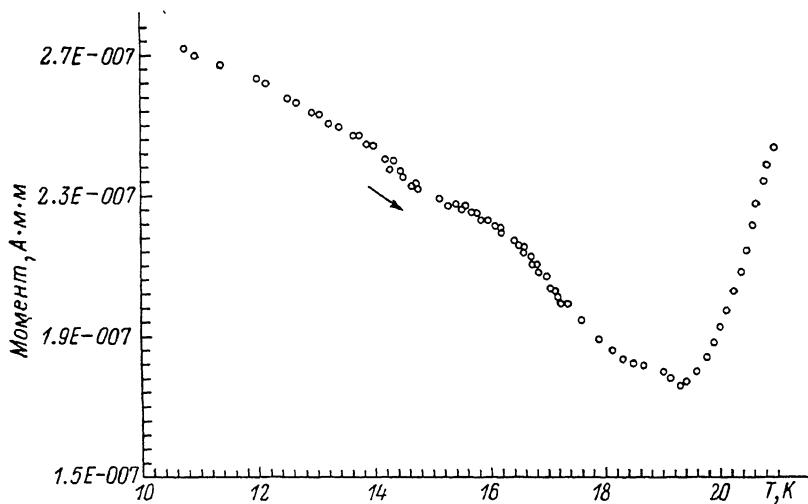


Рис. 2. Фрагмент рис. 1, соответствующий нагреву образца.

Аномалии (рис. 2), по всей видимости, свидетельствуют о еще более сложном характере перестройки магнитного упорядочения. Необходимо отметить, что точки их расположения в определенной степени совпадают с температурами, при которых имеют место аномалии калориметрических данных [9].

Список литературы

- [1] Bohr J., Gibbs D., Moncton D. E., D'Amico K. L. // *Physica*. 1986. V. 140A. P. 349—358.
- [2] Gibbs D., Moncton D. E., D'Amico K. L., Bohr J., Grier B. H. // *Phys. Rev. Lett.* 1985. V. 55. P. 234—237.
- [3] Pechan M. J., Stassis C. // *J. Appl. Phys.* 1984. V. 55. P. 1900—1902.
- [4] Felcher G. P., Lander G. H., Arai T., Sinha S. K., Spedding F. H. // *Phys. Rev.* 1976. V. B13. P. 3034—3045.
- [5] Koelher W. C., Cable J. W., Wilkinson M. K., Wollan E. O. // *Phys. Rev.* 1961. V. 151. P. 414—424.
- [6] Koelher W. C., Cable J. W., Child H. R., Wilkinson M. K., Wollan E. O. // *Phys. Rev.* 1967. V. 158. P. 450—461.
- [7] Avdeev L. Z., Snigirev O. V., Khanin V. V. // *IEEE Trans. Magn.* 1985. V. 21. N 2. P. 914—915.
- [8] Авдеев Л. З., Волкозуб А. В., Головашкин А. И. и др. // Препринт 229. М., ФИАН, 1988. 10 с.
- [9] Steinitz M. O., Kahrizi M., Tindall D. A. e. a. // *Phys. Rev.* 1987. V. 350. P. 8747—8748.

Московский
государственный университет
им. М. В. Ломоносова

Поступило в Редакцию
8 февраля 1990 г.