

ГИГАНТСКАЯ АНИЗОТРОПНАЯ МАГНИТОСТРИКЦИЯ GdCo_2 , ОБУСЛОВЛЕННАЯ КОБАЛЬТОМ

P. З. Левитин, А. С. Маркосян, В. В. Снегирев

Проведено рентгеновское исследование кристаллической структуры интерметаллического соединения GdCo_2 в интервале температур 5 – 500К и обнаружена гигантская анизотропная магнитострикция $1 \cdot 10^{-3}$ при температуре 5,5К. Из сопоставления с рентгеновскими исследованиями соединений GdAl_2 , GdNi_2 и GdFe_2 делается вывод, что анизотропная магнитострикция GdCo_2 обусловлена кобальтом. Исследована также продольная и поперечная магнитострикция GdCo_2 при $T = 4,2\text{K}$ в импульсных магнитных полях до 230 кЭ, и обнаружена большая магнитострикция парапроцесса, вызванная зонным характером магнетизма кобальта в соединении GdCo_2 .

Интерметаллические соединения редкая земля-кобальт RCo_2 (кубическая кристаллическая структура типа фазы Лавеса C15) состоят из двух магнитных подсистем, одна из которых образована локализованными моментами редкой земли, а вторая – кобальтовая, обычно рассматривается в модели магнетизма коллективизированных электронов (в соединениях с тяжелыми редкими землями магнитные моменты редкой земли и кобальта антипараллельны друг другу)¹. В них обнаружены большие магнитоупругие эффекты, как объемные, так и анизотропные, приводящие к существенным аномалиям кристаллической структуры в магнитоупорядоченном состоянии. Объемные магнитоупругие эффекты обусловлены кобальтовой подсистемой и объясняются в рамках зонной модели магнетизма, а анизотропная магнитострикция, приводящая, в частности, к искажениям кубической кристаллической структуры в магнитоупорядоченном состоянии, обусловлена редкой землей и может быть описана в рамках одноионной модели взаимодействием анизотропного облака $4f$ -электронов с кристаллическим полем решетки².

С этой точки зрения следовало ожидать, что в соединении GdCo_2 будет иметь место только изотропная магнитострикция, а анизотропная магнитострикция будет мала, так как гадолиний находится в s -состоянии, его орбитальный момент равен нулю и спиновая $4f$ -плотность является сферической.

Однако наши исследования кристаллической структуры GdCo_2 , проведенные рентгеновским методом на поликристаллических образцах в интервале температур 5,5 – 500К, показали, что это не так.

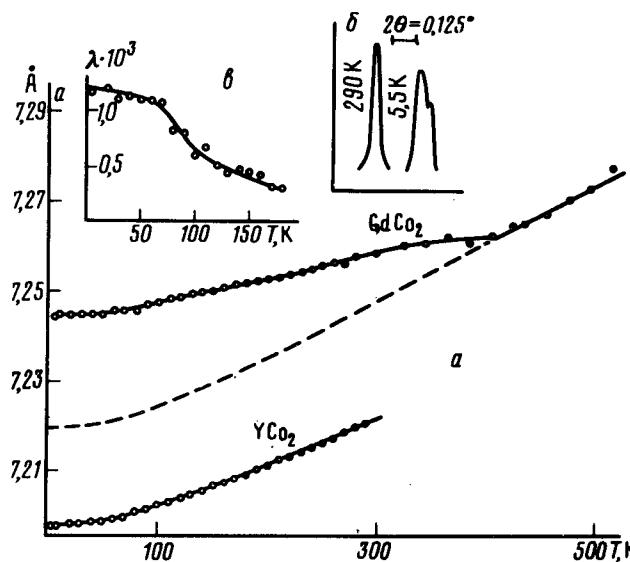


Рис. 1. а – Зависимость параметра кристаллической решетки $a \approx \sqrt[3]{V_{\text{эл}}}$ GdCo_2 и YCo_2 от температуры. Пунктир – дебаевская зависимость; б – рентгеновский рефлекс (440) при $T = 290\text{K}$ и при $T = 5.5\text{K}$; в – температурная зависимость анизотропной магнитострикции λ_{100} соединения GdCo_2

Действительно, ниже температуры Кюри в GdCo_2 ($T_c = 405\text{K}$) наблюдаются большие магнитообъемные эффекты, приводящие к отклонению температурной зависимости объема эле-ментарной ячейки от нормальной дебаевской зависимости, характерной, например, для парамагнитного соединения YCo_2 (рис. 1, а). Величина магнитообъемного эффекта достигает при 0К $\sim 1 \cdot 10^{-2}$, что находится в согласии с данными дилатометрических измерений³.

Однако, при низких температурах наряду с объемной аномалией имеет место также искажение кубической кристаллической структуры GdCo_2 . Это видно из рис. 1, б, на котором показан рентгеновский рефлекс (440). Одиночный при комнатной температуре этот рефлекс расщепляется при охлаждении до 5,5К на два рефлекса. Анализ показывает, что искажение кристаллической кубической структуры GdCo_2 является тетрагональным. Такой тип искажений возникает из-за анизотропной магнитострикции, если направления легкого намагничивания параллельны осям $<100>$, что согласуется с результатами магнитных измерений на монокристалле GdCo_2 ⁴. Легко показать, что параметры искаженной тетрагональной ячейки a и c связаны с константой анизотропной магнитострикции λ_{100} соотношением $\lambda_{100} = \frac{2}{3} \left(\frac{c}{a} - 1 \right)$. На рис. 1, в показана зависимость λ_{100} GdCo_2 от температуры. Видно, что при низких температурах анизотропная магнитострикция GdCo_2 достигает огромного значения $\sim 1 \cdot 10^{-3}$, что всего в три – четыре раза меньше, чем гигантская анизотропная магнитострикция, обнаруженная в тех соединениях RCo_2 , в которых редкая земля имеет отличный от нуля орбитальный момент ($\text{R} = \text{Tb}, \text{Er}, \text{Ho}$ и т. д.)².

Для выяснения природы обнаруженной в GdCo_2 анизотропной магнитострикции мы провели рентгеновские измерения интерметаллических соединений GdNi_2 , GdAl_2 и GdFe_2 , имеющих ту же кристаллическую структуру C15, что GdCo_2 . Из полученных данных следу-

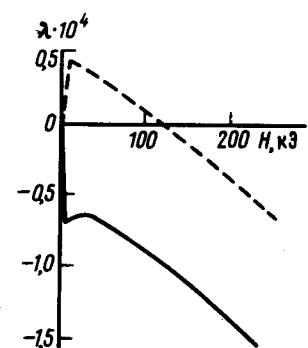


Рис. 2. Продольная (сплошная линия) и поперечная (пунктир) магнитострикция соединения GdCo_2 при $T = 4.2\text{K}$

ет, что при низких температурах кубическая структура этих соединений не искажается. Это указывает, что анизотропная магнитострикция этих соединений по крайней мере на порядок меньше, чем в GdCo_2 . Вывод о малости анизотропной магнитострикции в GdAl_2 , GdNi_2 и GdFe_2 подтверждается также измерениями магнитострикции во внешнем магнитном поле, выполненными нами на поликристаллических образцах этих соединений, а также в⁵ на монокристаллах GdAl_2 . Таким образом, из наших экспериментальных результатов можно сделать вывод, что гигантская анизотропная магнитострикция в GdCo_2 обусловлена кобальтом, так как в соединениях GdM_2 она наблюдается только при $M = \text{Co}$.

Возникает вопрос о природе магнитострикции GdCo_2 . Для ответа на этот вопрос мы провели измерения магнитострикции этого соединения в импульсных магнитных полях до 230 кЭ. На рис. 2 показаны зависимости продольной и поперечной магнитострикции GdCo_2 от поля при 4,2К. Видно, что магнитострикция насыщается в сравнительно слабых полях (менее 20 кЭ), а дальнейшее возрастание поля приводит к значительному изменению магнитострикции, причем $d\lambda_{||}/dH = d\lambda_{\perp}/dH$. Так как изменение объема связано с этими величинами соотношением $d\omega/dH = \left(\frac{d\lambda_{||}}{dH} + 2\frac{d\lambda_{\perp}}{dH} \right)$, то из полученных данных следует, что в GdCo_2 при температурах, близких к абсолютному полу, имеет место большая объемная магнитострикция парапроцесса. Это свидетельствует о зонном характере объемной магнитострикции GdCo_2 . Действительно, если магнитные моменты локализованы, то при абсолютном нуле (за эту температуру в данном случае можно принять 4,2К) намагниченность не зависит от поля и магнитострикция парапроцесса равна нулю. Если же магнетизм имеет зонный характер, то внешнее поле меняет взаимное положение зон со спинами "вверх" и "вниз", что приводит к изменению намагниченности, а следовательно, и к возникновению магнитострикции парапроцесса даже при 0К.

В то же время из наших данных следует, что анизотропная магнитострикция GdCo_2 при низких температурах очень слабо зависит от поля $\left(\frac{d\lambda_{\text{аниз}}}{dH} = \frac{2}{3} \left(\frac{d\lambda_{||}}{dH} - \frac{d\lambda_{\perp}}{dH} \right) \right)$. Тот факт, что анизотропная магнитострикция этого соединения определяется кобальтом, возможно, свидетельствует о наличии у кобальта наряду с коллективизированной спиновой плотностью локализованной части спиновой плотности 3d-электронов, обладающей значительной анизотропией. Отметим, что вывод о наличии у кобальта в соединениях RCo_2 значительной анизотропной составляющей магнитного момента следует также из исследований ЯМР этих соединений⁶.

Московский государственный
государственный университет
им. М.В.Ломоносова

Поступила в редакцию
20 октября 1982 г.

Литература

1. Lemaire R. Proc. Simp. Phys. Prop. Sol. in High Mag. Field, Wroclaw, p. 101, 1978.
2. Маркосян А.С. ФТТ, 1981, 23, 1656.
3. Minakata R., Shiga M., Nakamura Y. J. Phys. Soc. Jap., 1976, 41, 1435.
4. Gignoux D., Givord F., Lemaire R. Phys. Rev. B, 1975, 12, 3878.
5. Burd J., Lee E. J. Phys. C: Solid State Phys., 1977, 10, 4581.
6. Hirosava S., Nakamura Y. J. of Magnetism and Magnetic Materials, 1982, 25, 284.