

2. Kazanskii A.G., Kurova I.A., Ormont N.N., Zvyagin I.P. // J. Non-Cryst. Sol. 1998. **227–230**. P. 306.
3. Курова И.А., Ормонт Н.Н., Громадин А.Л. // Вестн. Моск. ун-та. Физ. Астрон. 1999. №1. С. 67 (Moscow University Phys. Bull. 1999. No. 1. P. 89).
4. Rath J.K., Fuhs W., Mell H. // J. Non-Cryst. Sol. 1991. **137–138**. P. 279.
5. Redfield D. // Mat. Res. Symp. Proc. 1992. **258**. P. 341.
6. Crandall R.S. // Phys. Rev. 1991. **B43**. P. 4057.
7. Meaudre R., Meaudre M. // Phys. Rev. 1992. **B45**. P. 12134.
8. Gleskova H., Morin P.A., Wagner S. // Appl. Phys. Lett. 1993. **62**. P. 2063.
9. Sheng S., Liao X., Kong G. // Appl. Phys. Lett. 2001. **78**. P. 2509.

Поступила в редакцию
14.12.01

УДК 539.172

УПОРЯДОЧЕНИЕ МАГНИТНЫХ МОМЕНТОВ АТОМОВ В КРИСТАЛЛЕ ПОСЛЕ ДЕЙСТВИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ

А.А. Опаленко, С.К. Годовиков

(кафедра оптики и спектроскопии)

E-mail: pantodon@mail.ru

В редкоземельном магнетике TbFe₂ с примесью олова после воздействия импульсного электрического поля наблюдаются колебания упорядоченной магнитной структуры с периодом примерно 6 дней. Для чистого TbFe₂ (без примеси) ощутимого влияния электрического поля не обнаружено.

Настоящая работа продолжает серию измерений, проводимых с целью изучения поведения редкоземельных магнетиков, возбужденных электрическим полем [1–3]. Ранее [3] в образце TbFe₂ с примесью олова наблюдались колебания параметров мёссбауэровских спектров с периодом 5–6 дней в течение примерно двух недель после возмущения образца электрическим полем и возврат к исходному состоянию через 50 дней. Задача настоящей работы — тщательное исследование этого процесса и сравнение его с поведением чистого TbFe₂ (без примеси).

Эксперимент

Образец представлял собой поликристаллический мёссбауэровский поглотитель в виде порошка, наклеенного на майларовую пленку. Он вместе с изолирующими прокладками из тефлона (для электроизоляции) был помещен между обкладками плоского конденсатора с толщиной зазора 0.4 мм. На конденсатор подавалось напряжение до 20 кВ от высоковольтного выпрямителя УРС-0.02, а затем с помощью переключателя производилось замыкание пластин конденсатора. Малый зазор в конденсаторе, большое напряжение и мгновенный разряд ($\sim 10^{-6}$ с) позволяют довести скорость изменения напряженности электрического поля до величины 10^8 кВ·см⁻¹·с⁻¹.

Мёссбауэровские спектры измерялись при комнатной температуре в течение 40 дней. В исходном состоянии мёссбауэровский спектр чистого соединения TbFe₂ представляет собой суперпозицию двух секстетов линий с величинами сверхтонких магнит-

ных полей 230 и 200 кЭ и отношением интенсивностей (площадей секстетов) $S_1/S_2 = 3$. Соединение с примесью олова (0.5 ат.%) характеризуется несколько меньшими полями, а именно 220 и 190 кЭ соответственно. Результаты измерений представлены на рис. 1 и 2.

Процесс колебаний мёссбауэровского параметра S_1/S_2 в образце TbFe₂(Sn), вызванный разрядом, хорошо виден на рис. 1. В течение 40 дней регистрируется «магнитная волна», имеющая период примерно 6 дней и плавно затухающая во времени. Время затухания колебательного процесса определяется силой электрического воздействия: при слабом «ударе» (меньшем поле) наблюдались только первые три волны, имевшие небольшую амплитуду, но с тем же периодом (6 дней), а при медленном воздействии никаких колебаний не отмечалось.

Аналогичный график для TbFe₂ без примеси представлен на рис. 2. Несколько серий электрических «ударов» такой же силы, как и для TbFe₂(Sn), не привели к каким-либо ощутимым колебаниям параметров мёссбауэровского спектра.

Основным результатом настоящей работы является установление активной роли немагнитной примеси в возникновении наблюдаемого колебательного эффекта. В чем она конкретно выражается?

Во-первых, примесь немагнитного элемента является важнейшей составной частью примесного магнитного центра, впервые обнаруженного в редкоземельных металлах в 1989 г. [4]. Одной из особенностей этого центра является наклон («canting») векторов моментов атомов около атома примеси. В таком

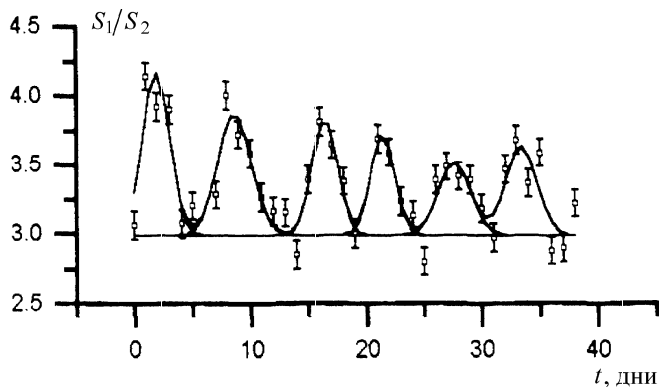


Рис. 1. Временная зависимость параметра S_1/S_2 в $TbFe_2(Sn)$. Точки — экспериментальные значения, кривые — последовательность гауссовых пиков

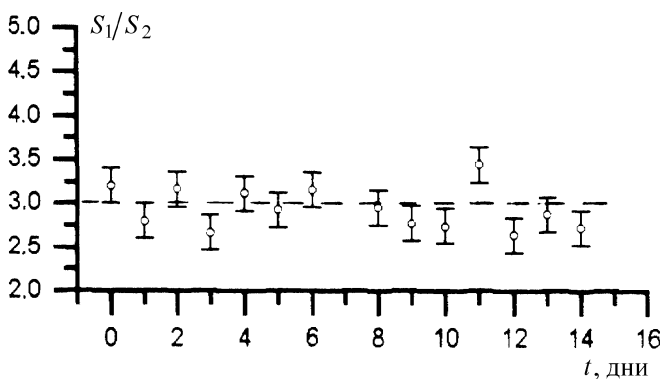


Рис. 2. Временная зависимость параметра S_1/S_2 в $TbFe_2$

случае коллинеарное расположение моментов Fe в структуре фазы Лавеса в области локализации атома примеси слегка нарушается (эффект «магнитной дырки»). Именно эти моменты в первую очередь и совершают перескоки между направлениями легкого намагничивания типа [111] в результате магнитоупругого возмущения образца электрическим полем.

Известно, что структура $TbFe_2$ имеет алмазную решетку, на элементарную ячейку которой приходится четыре одинаковых тетраэдра из атомов Fe. В каждом тетраэдре существуют четыре направления градиента электрического поля типа [111] от вершины тетраэдра к его центру и только одно направление магнитных моментов Fe — по одной из осей [111]. В результате для трех атомов Fe в тетраэдре угол θ между направлением момента и осью градиента электрического поля равен 70.5° , что соответствует секстету 230 кЭ, а для одного атома угол θ равен 0° , что соответствует секстету 200 кЭ [5]. Легко оценить, что для того, чтобы значение S_1/S_2 равнялось 4.33 (что близко к эксперименту), достаточно перескока типа $0^\circ - 70.5^\circ$ одного момента в одной ячейке. Другими словами, для наблюдаемого возмущения структуры достаточно возбудить с помощью электрического поля 1/16 часть, или примерно 6%, моментов Fe. В бездефектном веществе все моменты поворачиваются единообразно, что воспроизводит исходную картину магнитной структуры и не приводит к изменению мессбауэровского спектра.

Вторая важнейшая роль примеси — формирование объема кластера, обладающего достаточной временной устойчивостью. Согласно оценкам [6], зависимость среднего времени жизни кластера τ от среднего размера кластера или числа моментов N , входящих в него, является очень острой: при $N = 2$ $\tau = 10^{-13}$ с, а при $N = 20$ $\tau = 6-7$ дней. Атом примеси распространяет свое возмущающее действие на десятки соседних моментов, что и обеспечивает относительную временную устойчивость кластера. В чистом веществе случайные корреляции нескольких моментов не способны в принципе обеспечить такую устойчивость.

И наконец, существенно отметить роль концентрации примеси. При ничтожно малых концентрациях возбуждение от одного примесного магнитного центра к другому не передается. Достаточной концентрацией примеси, которая благоприятствует взаимодействию двух соседних центров при прохождении волны возбуждения в $TbFe_2$, оказалась найденная в нашем эксперименте величина 0.5 ат.% Sn, тогда как ранее [1] это была величина 7 ат.% Y.

Если рассматривать наблюдаемое явление в целом, то само его возникновение является весьма неожиданным. Действительно, возбуждение образца может спадать аналогично спонтанному радиоактивному распаду с характерным экспоненциальным законом уменьшения числа активных элементов. Но в нашем эксперименте наблюдаются колебания, которые не могут быть собственными, поскольку их период не характерен для явлений квантового микромира. Следовательно, они могут являться только результатом самоупорядочения ансамблей атомных магнитных моментов, которое возникает после возмущающего внешнего воздействия. Быть может, в образце распространяется автоволна [7], синхронно меняющая направления атомных моментов в объеме образца. Для прямого наблюдения автоволны необходимо использование методов микроскопического исследования поверхности монокристаллического образца.

Литература

1. Годовиков С.К., Перфильев Ю.Д., Петухов В.П. // Изв. РАН, сер. физ. 1999. **63**, № 7. С. 1416.
2. Годовиков С.К., Петухов В.П., Перфильев Ю.Д., Фиров А.И. // ФТТ. 2000. **42**, № 6. С. 1073.
3. Годовиков С.К., Опаленко А.А. // Вестн. Моск. ун-та. Физ. Астрон. 2001. № 1. С. 63.
4. Годовиков С.К. // ФТТ. 1989. **31**, № 2. С. 97.
5. Wertheim G.K., Jaccarino V., Wernick J.H. // Phys. Rev. 1964. **135**. No. 1A. P. A151.
6. Годовиков С.К., Перфильев Ю.Д., Попов Ю.Ф., Фиров А.И. // ФТТ. 1998. **40**, № 3. С. 508.
7. Хакен Г. Синергетика. М.: Мир, 1985.