

УДК 539.124.172

МАГНИТНОЕ ДИФФУЗНОЕ РАССЕЯНИЕ НЕЙТРОНОВ В АНТИФЕРРОМАГНИТНОМ γ -Fe₇₂Mn₁₂Ni₁₆ МОНОКРИСТАЛЛЕ

Ю. Н. Михайлов, С. Ф. Дубинин

На трехосевом спектрометре проведены измерения магнитного рассеяния нейтронов в монокристалле γ -Fe₇₂Mn₁₂Ni₁₆ сплава, близкого по составу к границе перехода антиферромагнетик—спиновое стекло. Обнаружено, что спин-система сплава отвечает состоянию фрустрированного антиферромагнетика, поскольку нейтронограмма кристалла ниже T_N фиксируют одновременно дальний и ближний магнитный порядок. Ближний порядок в сплаве, связанный с флуктуациями поперечных спиновых компонент, исследован.

В соответствии с [1] закаленные γ -Fe₇₂Mn_cNi_{28-c} сплавы относятся к широкому классу неупорядоченных твердых растворов со смешанным ферро-антиферромагнитным взаимодействием. В этой системе сплавов концентрационный переход от ферромагнитного состояния ($c=0$) к антиферромагнитному ($c \geq 10$) осуществляется через спин-стекольную фазу. Цель данной работы — нейтронографическое исследование магнитного состояния антиферромагнитного сплава, близкого по составу к границе перехода антиферромагнетик—спиновое стекло (АФ—СС).

Измерения по рассеянию нейтронов были выполнены на монокристалле Fe₇₂Mn₁₂Ni₁₆ сплава. Монокристаллический образец представлял собой цилиндр диаметром $1 \cdot 10^{-2}$ и высотой $2 \cdot 10^{-2}$ м. Направление $[1\bar{1}0]$ совпало (в пределах 1°) с осью цилиндра и было установлено перпендикулярно плоскости, в которой проводились эксперименты. С целью выделения упругой и неупругой компонент рассеяния нейтронов измерения выполнены на трехосевом спектрометре. Падающая длина волны нейтронов, сформированная двойным кристалл-монокроматором из пиролитического графита, составляла 0.149 нм. В качестве анализатора использовался кристалл деформированного германия (плоскость отражения (111)). Указанные длина волны падающих нейтронов и отражающая плоскость анализатора позволили снизить примесь $\lambda/2$ до величины 0.003 %.

Дальний антиферромагнитный порядок γ -Fe₇₂Mn₁₂Ni₁₆ сплава соответствует, по нашим данным, первому типу упорядочения в ГЦК решетке. Периоды такой магнитной структуры задаются одним из волновых векторов трехлучевой звезды

$$\mathbf{K}_1 = (100) \frac{2\pi}{a}, \quad \mathbf{K}_2 = (010) \frac{2\pi}{a}, \quad \mathbf{K}_3 = (001) \frac{2\pi}{a}. \quad (1)$$

Характерный признак данного типа спинового порядка — отсутствие на нейтронограмме брэгговских рефлексов—родоначальников $\{100\}_{\text{АФ}}$, в силу того что магнитный момент подрешетки μ_i в каждом из трехлучевых доменов параллелен соответствующему волновому вектору (1)

$$\mu_i \parallel \mathbf{K}_i \quad (i = 1, 2, 3). \quad (2)$$

Для определения температуры Нееля были проведены измерения температурной зависимости интенсивности антиферромагнитного рефлекса

(110), результаты которых представлены на рис. 1. Определенная таким способом температура Нееля сплава $\text{Fe}_{72}\text{Mn}_{12}\text{Ni}_{16}$ равна $T_N=143$ К.

Кроме брэгговских магнитных рефлексов, нейтронограммы кристалла при $T < T_N$ содержат диффузные максимумы, свидетельствующие о существовании в сплаве ближнего магнитного порядка. Диффузный максимум около (001) из-за отсутствия когерентного рассеяния в этих углах проявляется на нейтронограмме наиболее отчетливо. На рис. 2, а, б изображен вид (001) рассеяния в двух направлениях обратной решетки (они указаны стрелками в правой части рисунков) при трех температурах: $\tau=T/T_N=0.7$ (1), 1 (2) и 2.15 (3). Полуширины диффузного рассеяния в несколько раз превышают инструментальное разрешение спектрометра

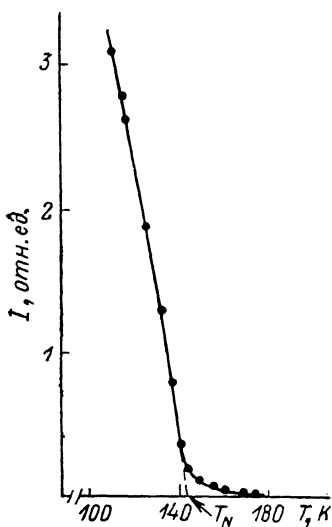


Рис. 1. Температурная зависимость интенсивности антиферромагнитного рефлекса (110).

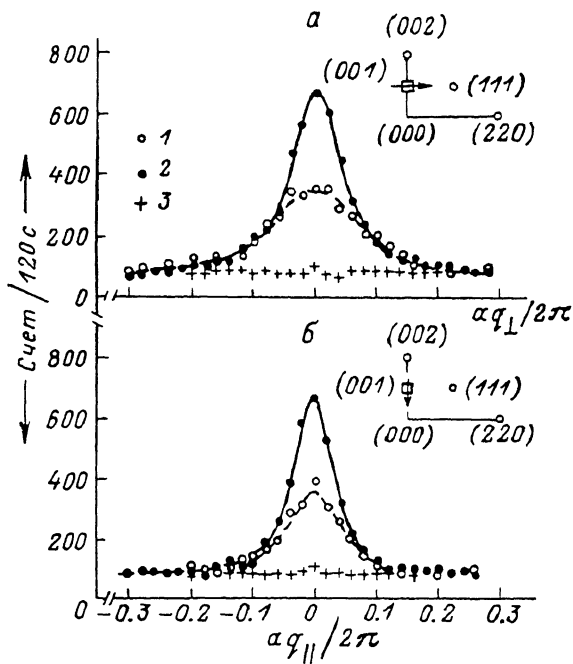


Рис. 2. (001) диффузное рассеяние в $\gamma\text{-Fe}_{72}\text{Mn}_{12}\text{Ni}_{16}$ монокристалле, измеренное в двух направлениях.

$\Delta q_{\text{инст}}=0.03$ ($2\pi/a$). Хорошо также видна анизотропия (001) рассеяния, а именно: его протяженность в обратной решетке больше вдоль q_{\perp} , чем в направлении q_{\parallel} .

Используя метод сканирования $Q=\text{const}$, проведен энергетический анализ (001) пика. Результаты этого анализа при $\tau=0.7$ представлены на рис. 3. Эти измерения выполнены при энергетическом разрешении спектрометра $\Delta E=0.5$ мэВ, которое удалось получить при падающей длине волны нейтронов $\lambda_0=0.298$ нм. Как видно из рис. 3, рассеяние состоит из уширенного центрального максимума и двух не разрешенных с ним пиков при $|E|\approx 1$ мэВ, которые соответствуют рассеянию нейтронов с испусканием и поглощением спиновой волны для волнового вектора $q=0$.

Температурное поведение относительной величины (001) пика представлено на рис. 4. Этот результат свидетельствует о критическом характере рассеяния. Обращает на себя внимание, что диффузное рассеяние в тройном $\gamma\text{-Fe}_{72}\text{Mn}_{12}\text{Ni}_{16}$ сплаве существует в широком температурном интервале как выше, так и ниже температуры Нееля.

Сосуществование дальнего и ближнего порядков свидетельствует о том, что магнитное состояние сплава является частично вырожденным — не-

однородным. Диффузный пик (001), согласно (2), может быть на нейтронограмме, если в сплаве имеют место флуктуации поперечных компонент параметра порядка. По нашему мнению, ближний порядок в $\gamma\text{-Fe}_{72}\text{Mn}_{12}\text{Ni}_{16}$ сплаве при низких температурах характеризует состояние фрустрированного антиферромагнетика. Фрустрированные спин-системы отличаются неоднородным распределением в решетке конкурирующих обменных взаимодействий из-за локальных флуктуаций состава в неупорядоченном сплаве. Энергетический состав (001) рассеяния при $T < T_N$ в общем случае представляет собой смесь квазиупругого и спин-волнового рассеяния. Вклад спин-волнового рассеяния в суммарное сечение будет определяться величиной энергетической щели E_g в спектре акустических магнов.¹ Если E_g сравнима с величиной разрешения спектрометра (в нашем случае $\Delta E = 0.5$ мэВ), то рассеяние на магнонах будет давать вклад в (001) максимум. Если же $E_g \gg \Delta E$, то (001) рассеяние является квазиупругим.

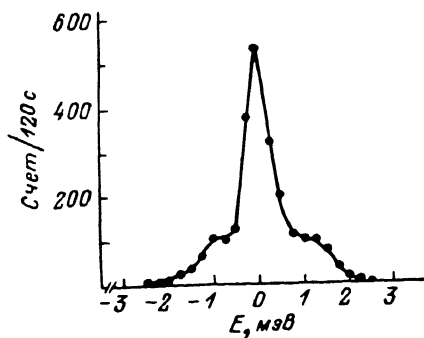


Рис. 3. Энергетический анализ (001) рассеяния в $\gamma\text{-Fe}_{72}\text{Mn}_{12}\text{Ni}_{16}$ монокристалле при $\tau = 0.7$. $\lambda_0 = 0.298$ нм.

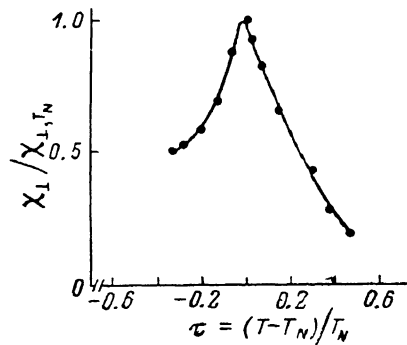


Рис. 4. Зависимость интенсивности (001) рассеяния от приведенной температуры в $\gamma\text{-Fe}_{72}\text{Mn}_{12}\text{Ni}_{16}$ сплаве.

Как видно из рис. 3, в нашем случае $E_g \approx 1$ мэВ и спин-волновое рассеяние полностью не разрешается от центрального максимума. Однако если вычесть вклад спин-волнового рассеяния, то центральный максимум следует считать квазиупругим, поскольку его ширина на половине высоты превышает разрешение спектрометра примерно на 0.3 мэВ. Квазиупругое рассеяние нейтронов происходит на микрообластях, локальные температуры Нееля которых могут существенно отклоняться от среднего значения.

Эффект вырождения магнитной структуры $\gamma\text{-Fe}_{72}\text{Mn}_{12}\text{Ni}_{16}$, по нашему мнению, связан с короткодействующим характером эффективных обменных взаимодействий в сплаве, которые следуют из факта (рис. 2, а, б) анизотропного распределения (001) максимума в обратной решетке. В соответствии с [2] сечение квазиупругого диффузного рассеяния имеет вид

$$\left(\frac{d\sigma}{d\Omega}\right)_{001} \sim \chi_{\perp} \sim \frac{1}{1/\xi^2 + a_1 q_{\parallel}^2 + a_2 q_{\perp}^2}, \quad (3)$$

где χ_{\perp} — поперечная восприимчивость, q_{\parallel} — компонента волнового вектора вдоль [001] направления, q_{\perp} — перпендикулярная [001] компонента волнового вектора, ξ — корреляционная длина,

$$a_1 \sim J_1 - J_2, \quad a_2 \sim J_2, \quad (4)$$

$J_{1,2}$ — эффективные обменные взаимодействия ближайших и следующих за ближайшими атомов соответственно.

Физические величины ξ , J_1 , J_2 , характеризующие ближний магнитный порядок сплава, можно определить из наилучшего описания экспери-

¹ E_g в антиферромагнитных сплавах данного класса определяется величиной кристаллографической магнитной анизотропии [2].

мента соотношением (3). К сожалению, из-за нескольких параметров подгонки в (3) корректное решение этой задачи затруднительно. Качественное же представление о характере обмена в сплаве вытекает из простых соображений. Действительно, из формулы (3) видно, что экспериментально наблюдаемая анизотропия (001) рассеяния в обратной решетке осуществима только при условии $a_1 \gg a_2$. А это неравенство, как видно из (4), выполнимо в случае $J_1 \gg J_2$. Именно в предположении взаимодействий разных знаков только между ближайшими соседями в работе [3] построен теоретический анализ магнитного состояния закаленных γ -сплавов, который в основных чертах описывает экспериментальную ситуацию в γ -Fe₇₂Mn₁₂Ni₁₆ сплаве.

В соответствии с выводами работы [4] представляется интересным продолжить в дальнейшем нейтронографическое исследование параметров фрустрированного антиферромагнетика во внешнем магнитном поле.

Авторы выражают благодарность Л. В. Смирнову за предоставление высококачественного монокристалла.

Литература

- [1] *Menshikov A. Z., Chamberod A., Tholence J. L.* Sol. St. Commun., 1984, vol. 51, N 6, p. 433—435.
- [2] *Ishikawa Y., Kohgi M., Noda Y.* J. Phys. Soc. Jap., 1975, vol. 39, N 5, p. 675—683.
- [3] *Медведев М. В., Заборов А. В.* ФММ, 1981, т. 52, № 5, с. 942—950.
- [4] *Коренблит И. Я., Шендер Е. Ф.* ЖЭТФ, 1987, т. 93, № 3 (9), с. 1060—1073.

Институт физики
металлов УрО АН СССР
Свердловск

Поступило в Редакцию
4 января 1988 г.
В окончательной редакции
24 марта 1988 г.