

ИССЛЕДОВАНИЕ МУЛЬТИФЕРРОИКОВ $R\text{Mn}_2\text{O}_5$ С ПОМОЩЬЮ μSR -МЕТОДА

С.Г. Барсов¹, С.И. Воробьев^{1,*}, Е.И. Головенчиц², А.А. Дзюба¹, Е.Н. Комаров¹, В.П. Коптев¹, С.А. Котов¹, В.А. Санина², Г.В. Щербаков¹

¹Петербургский Институт Ядерной Физики им. Б.П. Константинова РАН,
188300 Ленинградская область, г. Гатчина, Орлова роща, Россия.

²Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе РАН,
194021 Санкт-Петербург, Россия.

*E-mail: vsilova@pnpi.spb.ru

В данной работе представлены результаты первых исследований магнитных свойств EuMn_2O_5 и GdMn_2O_5 с помощью мюонного метода исследования вещества (μSR -метод). Изучение зависимости скорости динамической релаксации λ и характеристик распределения локальных статических магнитных полей позволило уточнить фазовые состояния исследуемых образцов.

Кристаллы $R\text{Mn}_2\text{O}_5$ (R – редкоземельные ионы от Pr до Lu , Y или Bi) являются магнитоэлектриками, обладающими одновременно антиферромагнитным и ферроэлектрическим дальним порядком с близкими температурами Нееля и Кюри $T_{\text{N,C}} \sim 30 \div 40$ К (при комнатной температуре с пространственной группой $Pbam$) [1].

Настоящая работа посвящена исследованию локальных магнитных полей и их распределений в мультиферроиках EuMn_2O_5 и GdMn_2O_5 с помощью мюонного метода исследования вещества. Измерения выполнены на мюонном канале синхротронного ПИЯФ РАН с помощью μSR -установки [2].

В эксперименте измерялись временные распределения позитронов $N_e(t)$, образовавшихся при распаде μ^+ -мезона ($\mu^+ \rightarrow e^+ + \nu_e + \bar{\nu}_\mu$) и вылетевших в направлении исходной мюонной поляризации во временном окне $\Delta t \sim 4.5 \cdot \tau_\mu$ после момента остановки каждого мюона в образце, где τ_μ – время жизни мюона. Временное распределение позитронов описывается выражением

$$N_e(t) = [N_0 \cdot \exp(-t/\tau_\mu)] \cdot [1 + a_s \cdot G_s(t) + a_b \cdot G_b(t)] + \Phi, \quad (1)$$

где N_0 – нормировочная константа;

$\tau_\mu \approx 2.19711 \cdot 10^{-6}$ с – время жизни мюона;

a_s , a_b – начальная асимметрия распада мюонов, остановившихся в образце (a_s), и её фоновая компонента (a_b) от мюонов, остановившихся во входных окнах криостата и задающем счетчике детектора мюонов;

$G_s(t)$, $G_b(t)$ – функции релаксации поляризации для мюонов, остановившихся в образце и фоновых источниках;

Φ – фон случайных совпадений.

При анализе экспериментальных данных используют предположение о факторизации функции релаксации:

$$G_s(t) = G_d(t) \cdot G_{st}(t), \quad (2)$$

где $G_d(t)$ описывает релаксацию, обусловленную динамическими эффектами, а $G_{st}(t)$ – функция релаксации в статических полях. Динамические явления обусловлены, главным образом, диффузией мюона в образце, и соответствующая функция релаксации задается зависимостью:

$$G_d(t) = \exp(-\lambda \cdot t), \quad (3)$$

где λ – скорость динамической релаксации.

На рисунке 1 демонстрируется зависимость от температуры скорости релаксации поляризации λ мюонов, остановившихся в образцах EuMn_2O_5 и GdMn_2O_5 . Поведение параметра релаксации λ позволяет определить значение температуры фазового перехода, поскольку из-за критических флуктуаций вблизи этой точки наблюдается резкое увеличение значений λ . Для образца EuMn_2O_5

отчетливо видим два пика (~ 40 К и ~ 30 К), которые соответствуют двум переходам, подтверждающимися и другими методами. В районе ~ 22.5 К имеется намек на третий переход, который будет исследоваться в дальнейшем. Для образца $GdMn_2O_5$ также отчетливо наблюдаем антиферромагнитный переход вблизи ~ 40 К, и видим еще два перехода при $T \sim 30$ К и ~ 22.5 К, также как и в $EuMn_2O_5$. Скорость релаксации поляризации остановившихся мюонов для образцов оказалась существенно различной.

Малая ширина пиков динамической релаксации λ вблизи температуры перехода указывает на достаточную однородность используемых образцов, что дало возможность провести более детальные

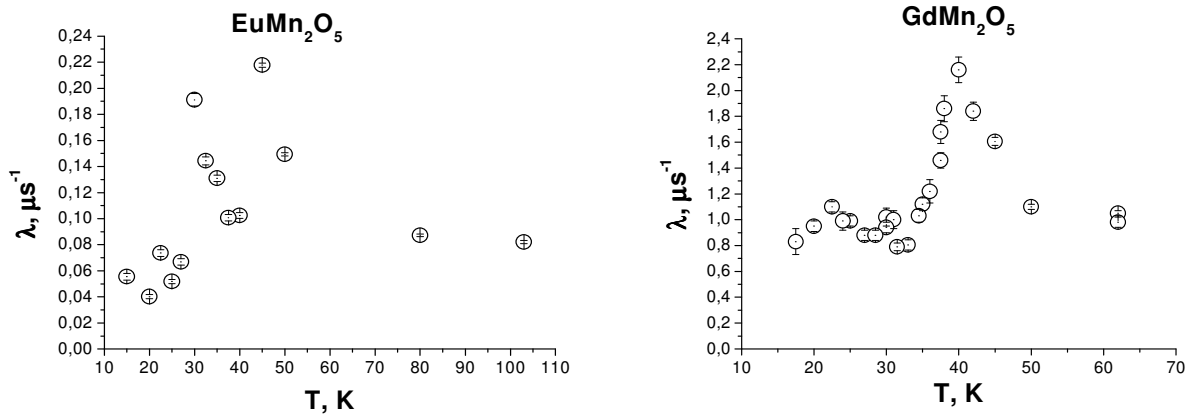


Рис. 1. Температурная зависимость скорости релаксации поляризации остановившихся мюонов.

μ SR-исследования этих образцов в диапазоне температур 15 ÷ 50 К в нулевом внешнем магнитном поле.

Детальное изучение функции релаксации поляризации мюонов $G_s(t)$ позволяет определить параметры распределения локальных магнитных полей при различных температурах исследуемых образцов.

Так для $EuMn_2O_5$ и $GdMn_2O_5$ статическую функцию релаксации поляризации остановившихся мюонов $G_{st}(t)$ в нулевом магнитном поле удаётся описать зависимостью:

$$G_{st}(t) = a_1 \cdot [1/3 + 2/3 \cdot \cos(\Omega_1 \cdot t) \cdot \exp(-\Delta_1 \cdot t)] + a_2 \cdot [1/3 + 2/3 \cdot \cos(\Omega_2 \cdot t) \cdot \exp(-\Delta_2 \cdot t)], \quad (4)$$

где $a_1 + a_2 = a_s$ – начальная асимметрия распада мюонов, остановившихся в образце;

$\Omega_{1,2} = 2 \cdot \pi \cdot F_{1,2}$ – циклические частоты (связанные со средним локальным полем в месте остановки мюона);

$\Delta_{1,2}$ – разброс частот, связанный с неоднородностью распределения внутренних магнитных полей.

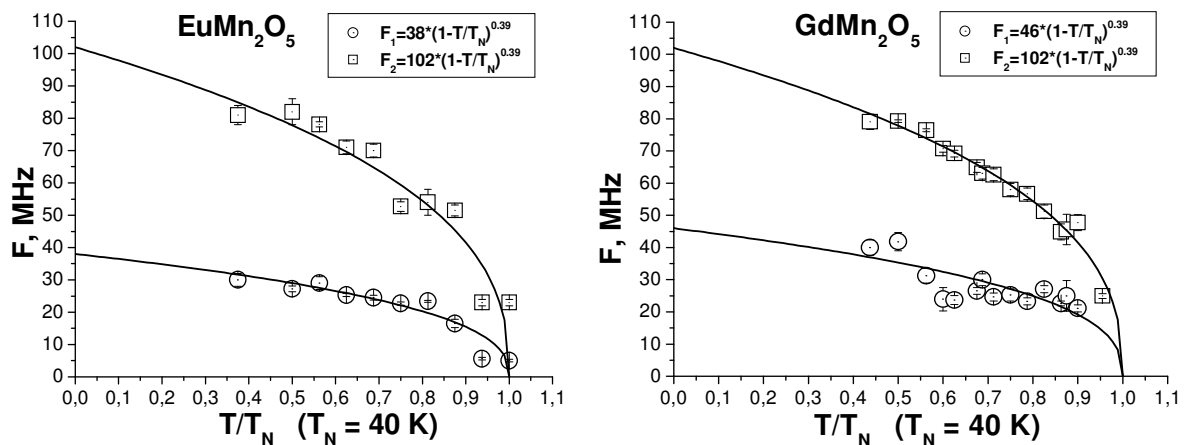


Рис. 2. Поведение частот наблюдаемой прецессии F от температуры T образца в нулевом внешнем магнитном поле.

На рисунке 2 показана зависимость частот прецессии спина мюона во внутреннем магнитном поле от температуры образца. Мы видим, что сразу после перехода ($T \approx 40$ К) появляются две частоты, причем среднее магнитное поле отличается примерно в 2 раза. При этом зависимость частоты прецессии от температуры хорошо аппроксимируется при помощи кривой Кюри-Вейса: $F \sim F_{\text{max}} \cdot (1 - T/T_N)^\beta$ с показателем $\beta = 0.39 \pm 0.02$, что соответствует модели 3D-магнетика Гейзенберговского типа. Исследования данных образцов будут продолжены.

- [1]. Е.И. Головенчиц, В.А. Санина. Письма в ЖЭТФ, **78** (2), с. 99 – 102 (2003).
- [2]. С.Г. Барсов, С.И. Воробьев, В.П. Коптев и др. ПТЭ, **50** (6), с. 36 – 42 (2007).