

ИССЛЕДОВАНИЕ МАГНИТНОГО ФАЗОВОГО ПЕРЕХОДА В $Y_3Fe_5O_{12}$

Г. М. Дробиш, Я. А. Касман, В. В. Рунов,
И. Д. Лузянин, Е. Ф. Шендер

В настоящем сообщении приводятся результаты исследования статических и динамических явлений в иттриевом феррите-гранате вблизи точки Кюри. Были проведены опыты с поляризованными нейтронами и радиочастотные измерения восприимчивости.

Опыты с поляризованными нейтронами дают достаточно полную информацию о флуктуациях в магнитной системе вблизи точки Кюри T_c [1, 2]. Отсутствие проводимости в ферродиелектриках позволяет провести радиочастотные измерения восприимчивости [3]. Эти измерения, как показано ниже, оказались чрезвычайно полезными не только для изучения статических свойств в критической области (определение точки Кюри и критического индекса статической восприимчивости), но и позволили сделать ряд важных выводов о динамических явлениях в критической области.

Для надежного сопоставления результатов нейтронных и радиочастотных измерений необходимо обеспечить одинаковые условия измерений, а сами измерения проводить на одном и том же образце.

Наши измерения проводились на монокристалле $Y_3Fe_5O_{12}$, имеющем форму цилиндра диаметром 5 мм и длиной 21 мм, помещенном в магнитный экран. Ось [111] направлена вдоль оси цилиндра. Магнитное поле в экране было менее 0,1 э, а высокочастотное поле, приложенное к образцу, менее одного миллиэрстеда.

Для измерения восприимчивости поверх образца наматывалась измерительная катушка из 70 витков медного провода диаметром 0,2 мм. Образец вместе с измерительной катушкой помещался в термостат в котором температура поддерживалась с точностью 0,005 °С.

Нейтронные измерения проводились на установке, описанной ранее [1]. Пучок поляризованных нейтронов диаметром 4 мм проходил вдоль оси цилиндра. Определялась поляризация нейтронов, прошедших образец, в зависимости от температуры образца. В этих же условиях измерялась восприимчивость образца на различных частотах, для чего измерительная катушка с помещенным внутри нее образцом включалась в колебательный контур. С изменением температуры изменялась индуктивность катушки и магнитные потери в образце. Индуктивность катушки на данной частоте определялась из значения емкости при резонансе, а магнитные потери в образце – из полуширины резонансной кривой.

На рис. 1 представлены результаты измерений поляризации прошедших через образец нейтронов с длиной волны $(3 + 6) \text{ \AA}$ и магнитных по-

терь на частотах $600 \div 1400$ кГц в зависимости от температуры образца.

Из этих данных следует, что в ферродиелектриках, так же как и в металлах вблизи T_c , наблюдаются крупномасштабные флуктуации намагниченности, причем особенности в кривых P/P_0 , т. е. перегиб кривой, наблюдается для всех скоростей нейтронов при одной и той же температуре с точностью до $\pm 0,01^\circ\text{C}$. С увеличением длины волны растет деполяризация нейтронов, что находится в качественном согласии с формулой Халперна – Халштейна [4]. Обращает на себя внимание и то обстоятельство, что максимум магнитных потерь с точностью $0,01^\circ\text{C}$ совпадает с особенностями деполяризованных кривых. Таким образом, точка Кюри с большой надежностью и точностью идентифицируется из различных физических измерений.

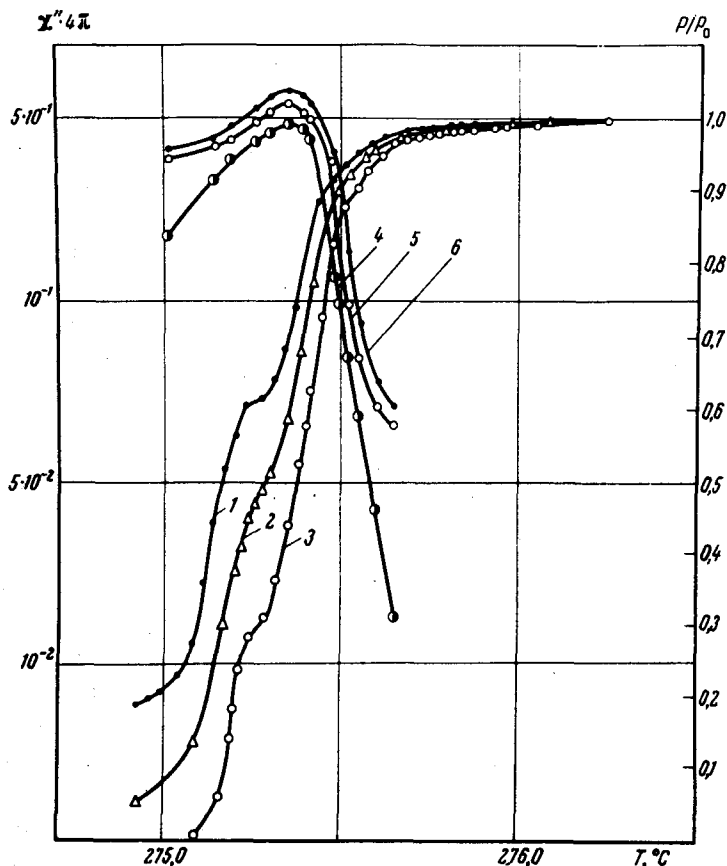


Рис. 1. Температурная зависимость деполяризации нейтронов, прошедших образец (1 – $\lambda = 3 \text{ \AA}$, 2 – $\lambda = 4 \text{ \AA}$, 3 – $\lambda = \text{ \AA}$), и магнитных потерь в образце (4 – 600 кГц, 5 – 1000 кГц, 6 – 1400 кГц)

Длины волн колебаний, распространявшихся в образце, в указанном диапазоне частот составляли сотни метров. Поэтому магнитное поле волны можно считать однородным (с точностью до размагничивающего поля). В этом случае явления в критической области можно,

по-видимому, описать с помощью уравнений гидродинамики [5, 6]. Тогда при $\omega\tau \ll 1$ в парамагнитной области магнитная восприимчивость

$$\chi(\omega) = \chi(0)(1 + i\omega\tau) = \chi(0) + i\chi''(\omega). \quad (1)$$

Здесь τ — время однородной (т. е. в однородном поле) релаксации спиновой системы: Однородная релаксация в парамагнитной области связана с взаимодействиями, не сохраняющими суммарный спин (диполь-дипольное, спин-решеточное взаимодействие). Как следует из величины $\omega\tau$, оценка которой приведена ниже, неравенство выполняется в использованном нами интервале частот. Если $4\pi\chi(\omega) \ll 1$, то магнитная проницаемость образца $\mu = 1 + (4\pi - N)\chi(\omega)$ и, таким образом, размагничивание не меняет температурной зависимости восприимчивости (N — фактор размагничивания).

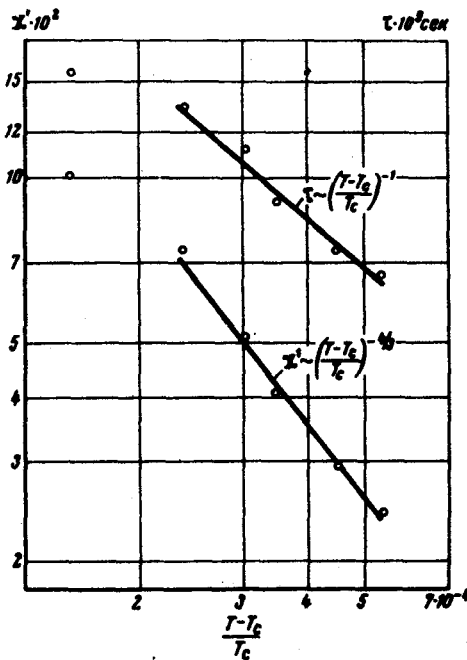


Рис. 2. Температурная зависимость восприимчивости χ' и времена релаксации τ

Величина, обратная добротности колебательного контура

$$Q_K^{-1} = Q_{\text{пар}}^{-1} + Q_{\text{магн}}^{-1}, \quad (2)$$

где $Q_{\text{пар}}^{-1}$ связана с паразитными потерями в контуре, а $Q_{\text{магн}}^{-1}$ с потерями на перемагничивание образца. При $4\pi\chi(\omega) \ll 1$

$$Q_{\text{магн}}^{-1} = (4\pi - N)\chi''(\omega). \quad (3)$$

Статическая восприимчивость $\chi(0)$ определялась посредством измерения индуктивности катушки. Зависимость $\chi(0)$ от $(T - T_c)/T_c$ представлена на рис. 2, вплоть до значения $(T - T_c)/T_c \approx 10^{-4}$ хо-

рошо описывается степенным законом $\chi(0) \sim [(T-T_c)/T_c]^{-\gamma}$ с $\gamma = 4/3$, что согласуется с предсказаниями теории подобия. При $(T-T_c)/T_c < 10^{-4}$ величина $4\pi\chi(0) \geq 1$ и, как видно из рис. 2, размагничивание существенно меняет температурную зависимость $\chi(0)$.

Из измерения добротности контура на девяти частотах в указанном выше интервале с помощью формул (2), (3) было определено значение $\chi''(\omega)$. Зависимость $\chi''(\omega)$ от частоты оказалась линейной в соответствии с (1), что подтверждает возможность гидродинамического описания длинноволновых флуктуаций в критической области.

Значение времени релаксации τ в критической области при $T > T_c$ в диапазоне относительных температур $10^{-3} - 10^{-4}$ находится в интервале $(10^{-9} - 10^{-8})$ сек. Зависимость τ от $(T - T_c)/T_c$ также представлена на рис. 2. Динамический критический индекс λ , определяемый соотношением $\tau \sim [(T - T_c)/T_c]^{-\lambda}$ по нашим данным оказался близким к единице, в то время, как теория подобия предсказывает $\lambda = 5/3$.

Таким образом, проведенные измерения показали, что радиочастотный метод является эффективным и достаточно прецизионным при исследовании фазового перехода в ферродиеlectricах. Получено экспериментальное подтверждение гипотезы о применимости гидродинамического описания однородных флуктуаций вблизи T_c . Определены значения времени однородной релаксации спиновой системы в парамагнитной области и значения критических индексов.

В заключение выражаем благодарность Д.М.Каминкеру, С.В.Малееву, А.И.Окорокову за полезные обсуждения и содействие в работе.

Ленинградский
институт ядерной физики
Академии наук СССР

Поступила в редакцию
15 февраля 1972 г.

Литература

- [1] Г.М.Драбкин, Е.И.Забидаров, Я.А.Касман, А.И.Окороков. ЖЭТФ, 56, 478, 1969.
- [2] Н. Rauch, E. Seide, A. Zeilinger. Zeit. Ang. Phys., 32, 109, 1971.
- [3] К.П.Белов, Н.В.Шебалдин. Письма в ЖЭТФ, 7, 268, 1968.
- [4] O. Halpern, T. Holstein. Phys. Rev., 59, 960, 1941.
- [5] B. I. Halperin, P. C. Hohenberg. Phys. Rev., 177, 952, 1969.
- [6] М.А.Кривоглаз. ДАН СССР, 118, 51, 1958.