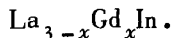


ОБ УПОРЯДОЧЕНИИ МАГНИТНОЙ ПРИМЕСИ В СВЕРХПРОВОДНИКЕ

*Н.Е.Алексеевский,¹⁾ И.А.Гарифуллин, Б.И.Кочелав²⁾,
Э.Г.Харахашьян*

Методом ЭПР установлено существование магнитного упорядочения локализованных состояний гадолия в сверхпроводящем



Проблема магнитного упорядочения примеси в сверхпроводящем состоянии давно привлекает к себе внимание. При экспериментальном исследовании этого вопроса электронный парамагнитный резонанс (ЭПР) может оказаться эффективным, поскольку позволяет непосредственно в сверхпроводящей фазе изучать взаимодействия между парамагнитны-

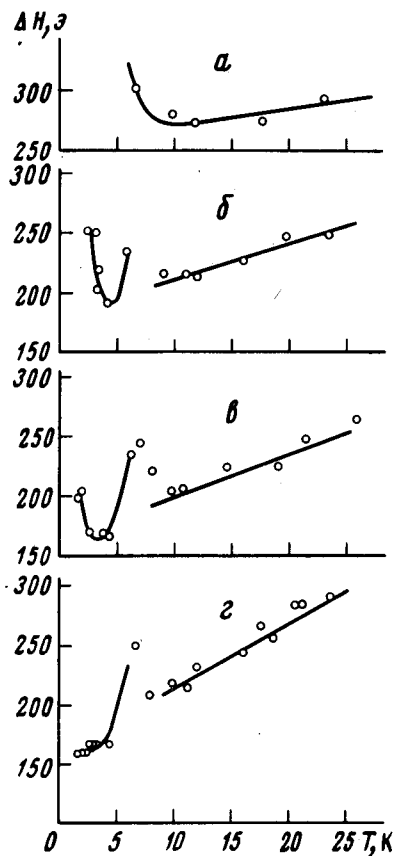
¹⁾ Институт физических проблем АН СССР

²⁾ Казанский государственный университет

ми примесями. Метод ЭПР, в частности, дает возможность непрерывно проследить переход из парамагнитной фазы в область магнитного упорядочения. В данной работе сообщается о предварительных результатах исследований ЭПР в соединении $\text{La}_{3-x}\text{Gd}_x\text{In}$ в нормальном и сверхпроводящем состояниях. Выбор $\text{La}_{3-x}\text{Gd}_x\text{In}$ связан с тем, что ранее проведенные исследования [1, 2] дают основания предполагать возможность сосуществования сверхпроводимости и магнитного упорядочения в этой системе.

Образцы для исследований были приготовлены в индукционной печи в атмосфере чистого гелия. Последующий отжиг проводился при температуре 600°C в течение 24 часов. Рентгеновский анализ показал наличие только одной фазы с решеткой типа Cu_3Au с постоянной $a = 5,07\text{ \AA}$, что соответствует соединению La_3In [3]. Измерения температуры сверхпроводящего перехода T_K дали ширину перехода $\sim 0,4\text{K}$, что говорит об удовлетворительном качестве образцов. Зависимость температуры перехода в сверхпроводящее состояние T_K от концентрации примеси

гадолиния c оказалась линейной с $\frac{\partial T_c}{\partial c} \approx 0,4 \frac{\text{K}}{\text{ат.}\%}$, что хорошо согласуется с результатом работы [1].



Температурная зависимость ширины линии ЭПР для исследованных образцов $\text{La}_{3-x}\text{Gd}_x\text{In}$: $a - x = 0,05$, $б - x = 0,03$, $в - x = 0,01$, $г - x = 0,005$. $x = 0,04$ соответствует 1 ат.%. Температура сверхпроводящего перехода меняется от 9,0 до 8,6K с увеличением концентрации гадолиния

Измерения ЭПР были проведены на частоте 9300 Mц в диапазоне температур 1,6 – 30K. Концентрация Gd в образцах была в пределах 0,125 – 1,25 ат.%. Температурная зависимость ширины линии для исследованных образцов представлена на рисунке. Она описывается выраже-

нием $\Delta H = a + b T$. В сверхпроводящей области указана часть ширины линии, не связанная с полем вихрей¹⁾.

Нормальное состояние. Характер приведенных экспериментальных результатов указывает на реализацию условий "узкого электронного горла" в нормальном состоянии. Температурный наклон ширины линии ЭПР в этом случае определяется выражением [5]

$$b = \frac{\pi k_B}{g \mu_B} N^2 J^2 \left[\frac{\delta_{SO}}{\delta_{ei} + \delta_{SO}} \right], \quad (1)$$

где k_B – постоянная Больцмана, μ_B – магнетон Бора, g – фактор спектроскопического расщепления, N – плотность состояний электронов проводимости с данной ориентацией спина на фермиевской поверхности, J – интеграл обменного взаимодействия электронов проводимости и локализованных моментов Gd, δ_{ei} и δ_{SO} – скорости обменного и спин-орбитального рассеяния электронов проводимости. Используя формулу Абрикосова и Горькова для зависимости T_K от концентрации примеси со спином S [6]

$$\Delta T_K = - \frac{\pi^2}{8 k_B} c N J^2 S(S + 1)$$

и выражение (1), можно получить $\delta_{ei} = 6,7 \cdot 10^{11} \text{ с} \cdot \text{сек}^{-1}$, $\delta_{SO} = 2,8 \cdot 10^{11} \text{ с} \cdot \text{сек}^{-1}$, $N = 0,26 \text{ эв}^{-1} \cdot \text{атом}^{-1} \cdot \text{спин}^{-1}$ и $J = 0,07 \text{ эв}$.

Для образца с наибольшей концентрацией Gd ($x = 0,05$) в нормальной области ниже 9К наблюдается уширение и сдвиг резонансной линии в сторону меньших магнитных полей. Это является характерным проявлением магнитного упорядочения в спектрах ЭПР (см., например, [7]). Уширение линии ЭПР при магнитном упорядочении обусловлено резким ростом восприимчивости, что приводит к увеличению эффективности дипольного механизма релаксации однородной прецессии локализованных моментов.

Сверхпроводящее состояние. При концентрациях гадолиния $x < 0,05$, когда удается проводить измерения ЭПР и в сверхпроводящем состоянии, наблюдается обычное увеличение ширины линии вблизи T_K , связанное с эффектами когерентности. При температурах $\sim 3\text{К}$ на образцах с концентрациями Gd $x = 0,03$ и $0,01$ происходит уширение линии, аналогичное уширению для образца с $x = 0,05$ в нормальном состоянии. Это свидетельствует о магнитном упорядочении в сверхпроводящей фазе.

Наши данные в настоящее время не позволяют установить тип магнитного упорядочения в исследуемой системе, в частности, является ли оно однородным в пространстве либо носит кластерный характер, подобно "микромагнитному" или "спиновому стеклу" (см., например, [8]). Продолжение этих исследований: сопоставление кривых упорядо-

1) Процедура извлечения ΔH из экспериментальных спектров в сверхпроводящей фазе описана в [4].

чения в нормальном и сверхпроводящем состояниях (измерение ЭПР на разных частотах) и введение дополнительного спин-орбитального рассеивателя позволит выяснить вопрос о природе упорядочения в сверхпроводящей фазе.

Казанский
физико-технический институт
Академии наук СССР

Поступила в редакцию
16 августа 1976 г.

Литература

- [1] J.H.Crow, R.D.Parks. Phys. Lett., 21, 378, 1966.
 - [2] J.H.Crow, R.P.Guertin, R.D.Parks. Phys. Rev. Lett., 19, 77, 1967.
 - [3] B.T.Mattias, V.B.Compton, E.Corenzwit. J. Phys. Chem. Solids, 19, 130, 1961.
 - [4] H.Hasegava. Progr. Theor. Phys., 27, 483, 1959.
 - [5] B.I.Kochelaev, E.G.Kharakhash'yan, I.A.Garifullin, N.E.Alekseevsky. 18-th Ampere Congress, Nottingham, 23, 1974.
 - [6] А.А.Абрикосов, Л.П.Горьков. ЖЭТФ, 12, 1243, 1961.
 - [7] R.H.Taylor, B.R.Coles. Metal Phys., 5, 121, 1975.
 - [8] J.A.Mydosh. 20-th Annual Conference "Magnetism and Magnetic Materials", San Francisco, 1974.
-