

ПАРАМАГНИТНЫЕ ЦЕНТРЫ Cu^{2+} В ОБРАЗЦАХ $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_x$ С РАЗЛИЧНОЙ СТЕПЕНЬЮ ОРТОРОМБИЧНОСТИ

Н. Е. Алексеевский, И. А. Гарифуллин, Н. Н. Гарифьянов,
Б. И. Кочелав, В. И. Нижанковский, Л. Р. Тагиров,
Е. П. Хлыбов

В [1, 2] сообщалось о наблюдении методом ЭПР парамагнитных центров Cu^{2+} в $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_x$. Возникновение локализованных моментов (ЛМ) Cu^{2+} связывалось с существованием неупорядоченности кислородных вакансий в образцах. В связи с этим можно ожидать, что изменение степени беспорядка в расположении этих вакансий, контролируемое по величине параметра орторомбичности $\eta = (b-a)/(b+a)$, приведет к изменению свойств парамагнитных центров.

В работе представлены результаты исследований ЭПР на однофазных образцах с различными параметрами орторомбичности (см. таблицу).

Параметры кристаллической структуры, орторомбичности и температуры сверхпроводящего перехода, измеренные на частоте 10 ГГц

№ образца	a, Å	b, Å	c, Å	η ($\cdot 10^3$)	T _c , К
1	3.812	3.874	11.635	8.1	90
2	3.823	3.875	11.642	6.8	100
3	3.840	3.887	11.676	6.1	42

Образцы для измерений представляли собой порошок, подвергнутый ориентации магнитным полем, как это описано в [1]. Это позволяло исследовать анизотропию спектра ЭПР относительно направления, заданного ориентирующим полем $H_{\text{оп}}$.

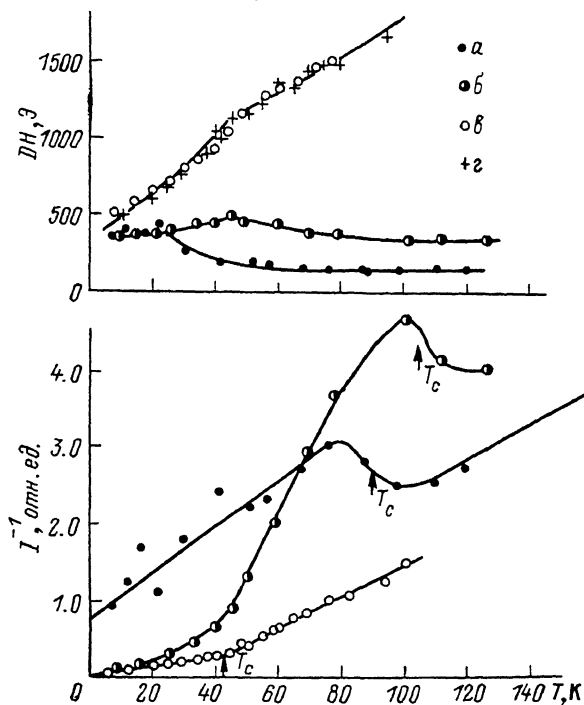
На рисунке представлены полученные на трех образцах температурные зависимости ширин резонансных линий DH и их интегральных интенсивностей I . Последняя величина пропорциональна той части магнитной восприимчивости образца, которая обусловлена наблюдаемыми в ЭПР парамагнитными центрами.

В образце 1 наблюдался анизотропный спектр ЭПР с $g_1 = 2.215$ и $g_2 = 2.065$. В образце 2 о существовании анизотропии спектра свидетельствует изменение центра тяжести линии ЭПР (приблизительно на 50 Э) при вращении образца. Однако значения g -фактора в крайних ориентациях определить не удалось, по-видимому, вследствие наложения на наблюдаемый сигнал ЭПР спектров от магнитно-неэквивалентных центров. Помимо спектра Cu^{2+} в этих образцах наблюдалась также небольшая по амплитуде широкая (~ 500 Э) резонансная линия в магнитных полях ~ 1200 Э, обусловленная, возможно, ЛМ Cu^{3+} .

В обоих образцах вклад в DH , обусловленный линейно зависящей от температуры корринговской релаксацией, не обнаружен. В температурной зависимости DH наблюдается максимум, причем ниже температуры максимума линия ЭПР начинает смещаться в сторону меньших магнитных полей. Это может свидетельствовать о возникновении магнитного порядка в спин-системе ЛМ Cu^{2+} в области $T \sim 20$ К для образца 1 и $T \sim 45$ К для образца 2. Качественно различное поведение интегральных интенсивностей линий ЭПР образцов 1 и 2 может свидетельствовать о различном типе магнитного упорядочения в этих образцах, а именно антиферромагнитном в образце 1 и кластерном ферромагнитном в образце 2. Согласно правилам Гудинафа—Канамори [3, 4], антиферромагнитный суперобмен возникает при перекрывании через анионный мостик одинаковых орби-

талей взаимодействующих $3d$ ионов. Если орбитальные состояния связываемых мостиком $3d$ ионов различны, следует ожидать ферромагнитный суперобмен. Можно предположить, что в образце 1 регулярное расположение ЛМ Cu^{2+} осуществляется в протяженных плоскостях двойникования. В образце 2 из-за увеличения степени беспорядка в расположении кислородных вакансий парамагнитные центры Cu^{2+} становятся магнитно-неэквивалентными и взаимодействие между ними приобретает преимущественно ферромагнитный характер.

Указанием на то, что наблюдаемые спектры ЭПР обусловлены ионами меди, находящимися в меднокислородных плоскостях между ионами бария, по-видимому, является отсутствие сигнала ЭПР в специально при-



Температурная зависимость ширины и обратной интегральной интенсивности линии ЭПР.

a — образец 1 в ориентации $(H_0 \perp H_{ор})$, b — образец 2 в ориентации $H_0 \perp H_{ор}$, e и z — образец 3 в ориентациях $H_0 \perp H_{ор}$ и $H_0 \parallel H_{ор}$ соответственно. Сплошная линия для образца 3 получена прибавлением к $DH(T)$ образца 2, линейного по температуре вклада $15 \cdot T$ Э.

готовленном образце $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_6$. Можно ожидать, что в этом образце ионы меди в вышеуказанных позициях находятся в немагнитном одновалентном состоянии.

Обращает на себя внимание то, что температура сверхпроводящего перехода образца 2 остается высокой, несмотря на то что меднокислородные цепочки в нем, судя по нашим данным, почти полностью нарушены.

В образце 3 поведение интегральной интенсивности линии ЭПР близко к наблюдаемому в образце 2. Вместе с тем температурная зависимость DH существенно иная и может быть получена добавлением линейного по температуре вклада с $d(DH)/dT \approx 15$ Э/К к ширине линии образца 2 (см. рисунок). Это может свидетельствовать о контакте ЛМ Cu^{2+} с зонными электронами в образце 3. То, что температурный наклон DH для ЛМ Cu^{2+} почти в 20 раз больше, чем для Gd^{3+} в системе $\text{GdBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_x$ [2], говорит о том, что интеграл обменного взаимодействия ЛМ Cu^{2+} с электронами проводимости значительно больше, чем для Gd^{3+} . Можно предположить, что именно взаимодействие ЛМ Cu^{2+} с электронами проводимости приводит к резкому понижению T_c на этом образце. Как видно из рисунка, для удовлетворительного описания температурной зависимости ширины линии

в этом образце не требуется существенным образом модифицировать вклад корринговской релаксации. То, что вблизи T_c не наблюдается обычное немонотонное поведение корринговской релаксации, обусловленное возникновением щели и эффектами когерентности, указывает, по-видимому, на значительное уменьшение величины щели, обусловленное контактом ЛМ с зонными электронами.

Таким образом, изменение степени орторомбичности образцов приводит к радикальным изменениям типа парамагнитных центров. Вместе с тем изменение температуры сверхпроводящего перехода наступает только при возникновении контакта ЛМ Cu^{2+} с зонными электронами.

Л и т е р а т у р а

- [1] Алексеевский Н. Е., Нижанковский В. И., Митин А. В., Хлыбов Е. П., Гарифуллин И. А., Гарифьянов Н. Н., Кочелаев Б. И., Тагиров Л. Р. Информационные материалы Рабочего совещания по проблемам высокотемпературной сверхпроводимости. Свердловск, 7—10 июля 1987, т. 1, с. 211—212.
- [2] Алексеевский Н. Е., Гарифуллин И. А., Гарифьянов Н. Н., Кочелаев Б. И., Митин А. В., Нижанковский В. И., Тагиров Л. Р., Хлыбов Е. П. Письма в ЖЭТФ, 1987, т. 46, № 7, с. 292—295.
- [3] Goodenough J. V. Phys. Rev., 1955, vol. 100, N 2, p. 564—573.
- [4] Kanamori J. J. Phys. Chem. Solids, 1959, vol. 10, N 1, p. 87—98.

Казанский физико-технический
институт им. Е. К. Завойского КФ АН СССР
Казань

Поступило в Редакцию
4 января 1988 г.

УДК 539.143.43

Физика твердого тела, том 30, в. 5, 1988
Solid State Physics, vol. 30, № 5, 1988

ОДНОИМПУЛЬСНОЕ ЭХО В СПИНОВЫХ СИСТЕМАХ

В. П. Чекмарёв, В. Г. Малышев

Одноимпульсное эхо — это отклик неоднородной спиновой системы на воздействие одиночного радиочастотного импульса, возникающий после его выключения в момент времени, примерно равный длительности импульса.

В настоящее время известно несколько моделей, претендующих на объяснение этого эффекта, наблюдающегося уже более тридцати лет в импульсных ЯМР экспериментах, а также в экспериментах по электронному и фотонному эхо [1—3]. После работ [3, 4], интерпретирующих эффект одноимпульсного эха в терминах «обращения времени» в неоднородной системе невзаимодействующих спинов, предпринимались попытки объяснить существование этого эффекта «воздействием фронтов» импульса [8], влиянием «звона» резонатора [9], осцилляциями свободной индукции, связанными с большими углами отклонения намагниченности [10, 11], неоднородностью коэффициента усиления в магнетиках [12]. Наконец, в недавних работах [7, 13] сделан вывод, что эффект одноимпульсного эха связан с искажением формы возбуждающего импульса, и при воздействии строго прямоугольного импульса одноимпульсное эхо вообще должно отсутствовать.

Сложившаяся неоднозначность в интерпретации эффекта одноимпульсного эха связана с тем, что в силу ряда математических трудностей до сих пор не существует аналитического выражения, описывающего свойства одноимпульсного эха в различных экспериментальных условиях, а неоднократно предпринимавшиеся попытки численного анализа [2, 7, 10, 14] вообще не выявили эффект одноимпульсного эха.