

существованию сверхпроводящего перехода при температурах $T \geq 0.4$ К, причем (рис. 1) наблюдается корреляция между положением элемента в таблице Менделеева и его влиянием на параметры сверхпроводящего перехода. Снижение T_c тем больше и срыв сверхпроводимости тем раньше (при меньших количествах примеси Sn, Ge, Si), чем выше расположен элемент в IV группе периодической системы элементов.

Если учесть, что таллий является примесью замещения свинца в RbTe [7], а также то, что квазилокальные состояния Tl вносят определяющий вклад в сверхпроводимость, то полученные экспериментальные данные свидетельствуют о сильной пространственной локализации примесных состояний Tl (в пределах одной-двух элементарных ячеек) и важной роли металлической подрешетки в их формировании.

С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] Кайданов В. И., Равич Ю. И. // УФН. 1985. Т. 145. № 1. С. 51—86.
- [2] Кайданов В. И., Немов С. А., Парфеньев Р. В., Шамшур Д. В. // ФТТ, 1987, Т. 29. № 6. С. 1886—1887.
- [3] Кайданов В. И., Немов С. А., Парфеньев Р. В., Шамшур Д. В. // ФТТ. 1985. Т. 27. № 8. С. 2513—2515.
- [4] Житинская М. К., Немов С. А., Парфеньев Р. В., Шамшур Д. В. // ФТТ. 1990. Т. 32. № 1. С. 122—126.
- [5] Немов С. А., Парфеньев Р. В., Шамшур Д. В. // ФТТ. 1985. Т. 27. № 2. С. 589—592.
- [6] Вейс А. Н., Кайданов В. И., Немов С. А. // ФТП. 1983. Т. 17. № 11. С. 1948—1952.
- [7] Гарцман К. Г., Жукова Т. Б., Немов С. А. // Изв. АН СССР, неорг. матер. 1985. Т. 21. № 3. С. 498—500.

Физико-технический институт
им. А. Ф. Иоффе АН СССР
Ленинград

Поступило в Редакцию
31 мая 1990 г.

УДК 537.312.62+538.945+548 : 537.611.45

© Физика твердого тела, том 32, № 11, 1990
Solid State Physics, vol. 32, N 11, 1990

МАГНИТНОЕ УПОРЯДОЧЕНИЕ РЗ-ПОДРЕШЕТКИ В КЕРАМИКЕ $\text{DyBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ В УСЛОВИЯХ ВСЕСТОРОННЕГО СЖАТИЯ

В. П. Дьяконов, Г. Г. Левченко, В. И. Маркович, И. М. Фита

В работах [1, 2], исследовавших влияние магнитного поля на магнитные свойства ВТСП-керамики $\text{DyBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$, было показано, что в этом соединении ниже $T_N=0.95$ К намагниченность проявляет метамагнитный характер, обусловленный сильным расщеплением основного состояния Dy^{3+} в кристаллическом поле, и при температуре $T_H \sim 2.2 \div 2.4$ К (значение T_H зависит от величины магнитного поля) имеет место структурный фазовый переход ян-теллеровского типа.

Влияние давления на магнитное упорядочение РЗ-подрешетки в системе $\text{DyBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ не изучалось, а это представляет определенный интерес, поскольку давлением можно воздействовать как на структуру уровней основного состояния магнитного иона, так и на обменные взаимодействия, что в совокупности определяет магнитное поведение $\text{DyBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$. В настоящей работе изучено влияние давления на температуру магнитного упорядочения моментов Dy^{3+} и поведение в магнитном поле несверхпроводящей керамики $\text{DyBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ (тетрагональная структура). Исследованы температурные и полевые зависимости магнитной восприимчивости, измеренной на переменном токе ($f=30 \div 300$ Гц, $\hbar \sim 1 \div 10$ Э) в области температур 0.05—4.2 К при гидростатических давлениях 4.2 и

7.5 кбар. Измерения проводились в рефрижераторе раствора ${}^3\text{He}$ — ${}^4\text{He}$ [3]. Давление создавалось при комнатной температуре в контейнере из бериллиевой бронзы и измерялось при гелиевых температурах сверхпроводящим манометром. Цилиндрические образцы керамики (\varnothing 2 мм, $l=5$ мм) в тетрагональной фазе были текстурированы методом осевого сжатия с преимущественной ориентацией оси C кристаллитов вдоль оси цилиндра.

Температурная зависимость восприимчивости в нулевом поле, измеренная под давлением, показывает максимум, аналогичный тому, что наблюдается при $P=0$ в точке Нееля. При $T < T_N$ восприимчивость уменьшается вплоть до 0.05 К, так же как и при нормальном давлении. Температура максимума повышается с увеличением давления. На рис. 1 показана определенная таким образом, близкая к линейной, барическая зависимость температуры Нееля $\text{DyBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$; $dT_N/dP=0.017$ К/кбар. Отметим, что скорость роста T_N с давлением в $\text{DyBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ значительно больше такой величины в $\text{GdBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ (0.007 К/кбар), определенной

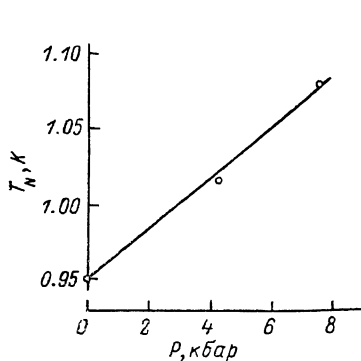


Рис. 1. Барическая зависимость температуры Нееля $\text{DyBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$.

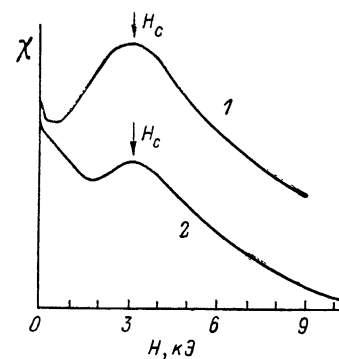


Рис. 2. Характерная полевая зависимость восприимчивости ($f=300$ Гц, $\hbar=1.4$ Э) при $T < T_N$. $T=0.55$ (1) и 0.59 К (2).

в [4] по данным магнитной теплоемкости при $P=5$ кбар (в наших измерениях магнитной восприимчивости $\text{GdBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ под давлением до 20 кбар $dT_N/dP \approx 0.01$ К/кбар). В работе [4] авторы сделали вывод об обменном характере взаимодействий ионов Gd на том основании, что величина $K^{-1}d \ln T_N/dP$ (K — сжимаемость) для $\text{GdBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ в 5 раз превышает ожидаемое значение при учете лишь дипольного взаимодействия. Для $\text{DyBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ экспериментальное значение величины $d \ln T_N/dP$ в 27 раз выше расчетного в дипольном приближении, что также указывает на преобладание обменных взаимодействий между Dy^{3+} . Этот вывод согласуется с результатами анализа магнитной теплоемкости вблизи T_N [5].

Характерная полевая зависимость восприимчивости, измеренной на частоте 300 Гц, ниже T_N при $P=0$ (1) и 4.2 кбар (2) представлена на рис. 2. Под давлением кривые $\chi(H)$ при $T < T_N$ значительно отличаются от таковых при $P=0$: восприимчивость сильно уменьшается при включении поля H , причем этот эффект увеличивается с ростом давления. В результате максимум на кривой $\chi(H)$, связанный с фазовым переходом (ФП) АФМ \rightarrow ПМ (который имеет место лишь в хорошо ориентированных вдоль поля H кристаллитах образца [1]), размыт и становится различным при температурах значительно ниже T_N в сравнении с нормальным давлением. Так, если при $P=0$ максимум $\chi(H)$ проявляется уже при 0.89 К, то при $P=4.2$ кбар он фиксируется лишь ниже 0.75 К, а при $P=7.5$ кбар — ниже 0.62 К. Такое поведение $\chi(H)$, возможно, связано со значительным увеличением времени спин-решеточной релаксации Dy в керамике $\text{DyBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ при возрастании давления, которым определяется измере-

мая при $f \neq 0$ в поле H адиабатическая восприимчивость. В пользу этого утверждения свидетельствует и тот факт, что форма кривых $\chi(H)$, записанных при помощи методики постоянного тока ($f=0$), практически не зависит от давления. Отметим, что после снятия давления ($P=0$) магнитное поведение при $T < T_N$ (в частности, фазовая $T-H$ диаграмма) воспроизводится точно; таким образом, эффект давления обратим.

Фазовая линия перехода АФМ \rightarrow ПМ $H_c(T)$ при давлениях 4.2 и 7.5 кбар имеет особенности, наблюдавшиеся при $P=0$: 1) в точке R при $T \sim 0.25$ К восприимчивость в поле достигает максимума (точка R интерпретируется как критическая в рамках теории двухподрешеточного АФМ [6], в ней стыкуются линии ФП I и II родов); 2) необычное для изинговского АФМ возрастание поля ФП при $T \rightarrow 0$.

При низких температурах поле H_c увеличивается с давлением и, таким образом, область АФМ фазы на $T-H$ диаграмме расширяется под давлением. При $P=7.5$ кбар H_c при $T < 0.4$ К увеличивается на 10 %, а T_N — на 12 % (при $P=0$ $H_c(T_N)=3.25$ кЭ). Из этих данных следует, что под давлением обменные константы увеличиваются на 10 %, учитывая, что $T_N = \mathcal{J}_{11} - \mathcal{J}_{12}$, $H_c(T \sim 0) \sim \mathcal{J}_{12}$ (\mathcal{J}_{11} , \mathcal{J}_{12} — константы внутри- и междодрешеточного обмена).

Отметим, наконец, еще один эффект давления на магнитное поведение $\text{DyBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ при $T > T_N$. Восприимчивость в постоянном поле $H = 7.6$ кЭ при указанных давлениях монотонно возрастает с охлаждением в области 1.1—4.2 К, т. е. не наблюдается аномалия на $\chi(T)_{H=\text{const}}$, обнаруженная при $P=0$ в районе 2.3 К [2]. Таким образом, в условиях всестороннего сжатия не реализуется структурный переход при $T_n \sim 2.3$ К, возможно, связанный с упорядочением орбиталей Dy. После снятия давления аномалия на $\chi(T)$ при $H=7.6$ кЭ и $P=0$ вновь наблюдается, однако теперь при более низкой температуре (~ 1.8 К).

В заключение констатируем: в работе установлено, что в исследуемом интервале давлений температура магнитного упорядочения $\text{DyBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ линейно возрастает, область АФМ фазы на $T-H$ диаграмме при всестороннем сжатии расширяется и давление препятствует реализации низкотемпературного структурного перехода.

Авторы выражают благодарность Н. А. Дорошенко за изготовление керамики DyBaCuO .

Работа поддерживается Научным советом по проблеме ВТСП и выполнялась в рамках проекта № 619 Государственной программы «Высокотемпературная сверхпроводимость».

С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] Левченко Г. Г., Маркович В. И., Свистунов В. М., Фита И. М. // ФТТ. 1990. Т. 32. № 2. С. 292—294.
- [2] Дорошенко Н. А., Дьяконов В. П., Левченко Г. Г., Маркович В. И., Свистунов В. М., Фита И. М. // ФТТ. 1990. Т. 32. № 6. С. 1862—1864.
- [3] Дьяконов В. П., Фита И. М. // ПТЭ. 1984. № 6. С. 238.
- [4] Алексеевский Н. Е., Гусев А. В., Девятых Г. Г., Кабанов А. В., Нарожный В. Н., Нижанковский В. И., Хлыбов Е. П. // Письма в ЖЭТФ. 1988. Т. 48. № 10. С. 540—542.
- [5] Dirken M. W., de Jongh L. J. // Sol. St. Comm. 1987. V. 64. N 9. P. 1201—1202.
- [6] Барьяхтар В. Г., Витебский И. М., Яблонский Д. А. // ФТТ. 1977. Т. 19. № 7. С. 2135—2142.

Донецкий физико-технический
институт АН УССР

Поступило в Редакцию
4 июня 1990 г.