

ВЛИЯНИЕ ДАВЛЕНИЯ НА ТЕПЛОЕМКОСТЬ $GdBa_2Cu_3O_{7-x}$

Н.Е.Алексеевский, А.В.Гусев, Г.Г.Девярых,
А.В.Кабанов, В.Н.Нарожный, В.И.Нижанковский, Е.П.Хлыбов

Проведены измерения теплоемкости $GdBa_2Cu_3O_{7-x}$ под давлением в интервале температур 2 – 4 К. Обнаружено возрастание T_N от 2,23 до 2,265 К под давлением ~ 5 кбар, $dT_N/dP = 7 \cdot 10^{-6}$ К/бар.

Ранее сообщалось, что в системе $GdBa_2Cu_3O_{7-x}$ при измерении теплоемкости был обнаружен максимум при температуре 2,23 К, который по-видимому, связан с переходом соединения в антиферромагнитное состояние¹, см. также^{2,3}. При $T < T_N = 2,23$ К образец оставался в сверхпроводящем состоянии. Таким образом, для $GdBa_2Cu_3O_{7-x}$ наблюдается сосуществование сверхпроводимости и антиферромагнитного упорядочения. Изучение взаимовлияния сверхпроводящей и магнитной подсистем, а также природы магнитного упорядочения для ВТСП, к числу которых принадлежит и $GdBa_2Cu_3O_{7-x}$, представляет значительный интерес. Важную информацию можно получить, проводя измерения под давлением, см., например^{4,5}. В настоящей работе сообщается о результатах измерения теплоемкости соединения $GdBa_2Cu_3O_{7-x}$ под давлением при $2\text{ К} < T < 4\text{ К}$, т. е. вблизи T_N . Измерения теплоемкости проводились в калориметре, описанном в⁶. Для измерения под давлением была сконструирована и изготовлена малогабаритная бомба высокого давления из специальной немагнитной бериллиевой бронзы. Масса пустой бомбы около 52 г. Оценка концентрации парамагнитных примесей из результатов измерения теплоемкости пустой бомбы показывает, что их содержание не превышает 10^{-2} ат.%. В качестве среды использовалась смесь керосин-трансформаторное масло. Давление измерялось по смещению T_c оловянного манометра.

Образец $GdBa_2Cu_3O_{7-x}$ был приготовлен аналогично¹ и являлся практически однофазным. Масса образца при измерении под давлением составляла 0,355 г. Для определения теплоемкости образца проводились измерения теплоемкости бомбы с образцом под давлением и теплоемкости пустой бомбы. На рисунке показаны результаты измерения теплоемкости образца $GdBa_2Cu_3O_{7-x}$ при нормальном и высоком давлении. На вставке показана температурная зависимость теплоемкостей бомбы с образцом под давлением и пустой бомбы. Отметим, что при $T = T_N = 2,265$ К теплоемкость образца почти на порядок превышает теплоемкость бомбы. Как видно из рисунка, температура максимума в теплоемкости под давлением увеличивается и составляет $T_N = 2,265$ К при давлении около 5 кбар¹⁾ (при $P = 0$, $T_N = 2,23$ К). Относительная погрешность определения T_N при этом не превышает 0,01 К. Уширение пика в теплоемкости под давлением не произошло. Время установления теплового равновесия для образца с бомбой в калориметре не превышало времени для образца без бомбы. Смещение максимума теплоемкости на 0,035 К в область более высоких температур свидетельствует о возрастании температуры магнитного упорядочения у соединения $GdBa_2Cu_3O_{7-x}$ под давлением. Оценка энтропии перехода под давлением показала хорошее ее совпадение с энтропией перехода без давления.

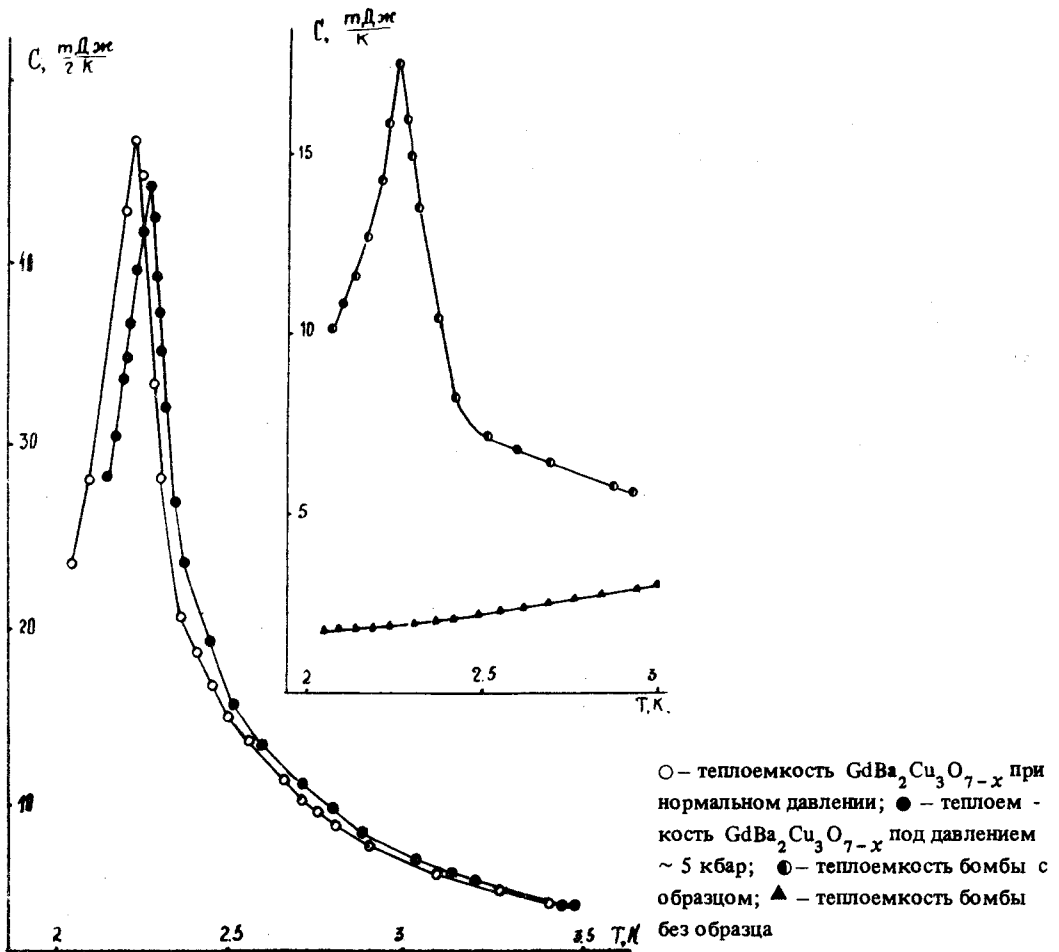
Величина магнитной энтропии, определенная из теплоемкости, составила 11,7 Дж/моль·К, что составляет около 70% от величины

$$\Delta S_m = R \ln(2J + 1) = 16,7 \text{ Дж/моль} \cdot \text{К}, \quad J = 7/2,$$

т. е. не менее 70% образца переходит в магнитоупорядоченное состояние.

1) В работе были проведены также измерения теплоемкости соединения $GdBaSrCu_3O_{7-x}$ при нормальном давлении. Для него наблюдалось значительное уширение λ -перехода. При этом в отличие от¹⁰ температура максимума смещалась в низкотемпературную область, $T_N \sim 2,1$ К.

Таким образом, в настоящей работе обнаружено возрастание температуры антиферромагнитного (АФМ) упорядочения $\text{GdBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$ при повышении давления. Величина dT_N/dP составляет $7 \cdot 10^{-6}$ К/бар. Необходимо отметить, что с ростом давления у соединения $\text{GdBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$ возрастает и температура сверхпроводящего перехода T_c . Причем в системе с магнитным редкоземельным ионом Gd рост T_c под давлением происходит быстрее, чем в системе с немагнитным ионом Y⁷.



В настоящее время существуют различные взгляды на природу упорядочения в соединениях $\text{REBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$. Сравнивая величины T_N соединений 1 — 2 — 3 с различными редкими землями, авторы работ^{2, 3} делают вывод о преимущественно обменном характере взаимодействия между магнитными ионами RE в этих соединениях. В то же время в ряде работ см. например,⁸ указывается на возможность объяснения упорядочения в системе $\text{GdBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$ чисто диполь-дипольным взаимодействием между ионами гадолиния. Если аналогично тому, как это делалось для редкоземельных халькогенидов молибдена^{4, 5} оценить из результатов настоящей работы величину производной $|\partial \ln T_N / \partial \ln V| = |\kappa^{-1} d \ln T_N / dP|$, используя значения сжимаемости $\kappa = 0,65 \cdot 10^{-6}$ бар⁻¹⁹, то получится величина ~ 5 . В то же время, для диполь-дипольного взаимодействия величина этой производной должна быть близка к 1, т. к. в этом случае $T_N \sim \mu_{\text{эфф}}^2 / a^3 \sim \mu_{\text{эфф}}^2 / V$ ⁴. Таким образом, результаты измерения теплоемкости $\text{GdBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$ под давлением позволяют сделать вывод об обменном характере взаимодействия, приводящего к АФМ — упорядочению ионов гадолиния в этом соединении. Заметим, что в пользу обменного характера взаимодействия свидетельствуют также результаты измерения ЭПР на Gd^{3+} ¹¹.

Литература

1. *Девярых Г.Г., Гусев А.В., Кабанов А.В. и др.* ДАН СССР, 1988, 301, 818.
2. *Ramirez A.P., Schneeneyer L.F., Wasgesak J.V.* Phys. Rev. B, 1987, 36, 7145.
3. *Van der Menlen H.P., Franse J.J.M., Tarhawskil Z., et al.* Physica C, 1988, 152, 65.
4. *Алексеевский Н.Е., Нарожный В.Н., Додокин А.П., Багдасаров Х.С.* ДАН СССР, 1985, 281, 1094.
5. *Алексеевский Н.Е., Нарожный В.Н.,* Тезисы докладов XI Международной конференции МАРИВД, Киев, 1987, с. 69.
6. *Гусев А.В., Жерненков Н.В., Кабанов А.В., Полозков С.А.* Заводская лаборатория, 1987, 11, 55.
7. *Borges H.A., Kwok R., Thompson J.D. et al.* Phys. Rev. B, 1987, 36, 2404.
8. *Harabhusan Sen.* Phys. Lett. A; 1988, 129, 131.
9. *Ecke J., Fietz W.H., Dietrich M.R. et al.* Physica C, 1988, 153 – 155, 954.
10. *Hulliger F., Ott H.R.* Z. Phys. B, 1987, 67, 291.
11. *Алексеевский Н.Е., Гарифуллин И.А., Гарифьямов Н.Н. и др.* ЖЭТФ, 1988, 94, 276.

Институт химии Академии наук СССР

Институт физики высоких давлений

им. Л.Ф.Верещагина

Академии наук СССР

Институт физических проблем

Академии наук СССР

Поступила в редакцию

12 ноября 1988 г.