

УДК 537.362

ВЛИЯНИЕ МАГНИТНОГО ПОЛЯ НА АНОМАЛИИ ТЕПЛОВОГО РАСШИРЕНИЯ $BaKbVO$, $BaPbViO$ И $LaSrCuO$

Н. В. Аншукова, А. И. Головашкин, Л. И. Иванова, И. Б. Крынецкий, А. П. Русаков

Обнаружен эффект влияния магнитного поля на аномалию (отрицательность) теплового расширения в системах $BaKbVO$, $BaPbViO$ и $LaSrCuO$. Эффект объясняется наличием сверхструктурного упорядочения в кислородной подрешетке этих систем и подавлением его магнитным полем.

Системы $Ba_{1-x}K_xBiO_3$ (ВКВО) и $BaPb_yVi_{1-y}O_3$ (ВРВО) проявляют многие свойства, аналогичные свойствам купратных высокотемпературных сверхпроводников (ВТСП) [1, 2], несмотря на то, что в этих системах определяющими являются связи $Bi-O$, в отличие от связей $Cu-O$ купратов. Сходство свойств в значительной мере обусловлено сверхструктурным упорядочением в кислородной подрешетке как купратных, так и висмутатных соединений. Предложенная в [1, 2] физическая модель такого сверхструктурного упорядочения кислородной подрешетки, помимо известного упорядочения в решетках Cu или Bi , была экспериментально подтверждена нейтронографическими исследованиями [3].

Одним из общих свойств, характерных для соединений обеих систем (купратных и висмутатных), является аномальное (отрицательное) тепловое расширение при низких температурах. Этот эффект наблюдался только на качественных образцах ВКВО [1], ВРВО [4], $La_{2-x}Sr_xCuO_4$ (LSCO) [1], $YBa_2Cu_3O_{7-x}$ [5] и $Bi_2Sr_2CaCu_2O_8$ [6–8]. В настоящей работе сообщается об обнаружении эффекта сильного влияния магнитного поля $H = 2 - 4$ Тл на аномалию теплового расширения соединений $Ba_{0.6}K_{0.4}BiO_3$, $La_{1.9}Sr_{0.1}CuO_4$ и $BaPb_{0.75}Vi_{0.25}O_3$. Эффект наблюдался как на поликристаллических образцах ВКВО, обладающих кубической симметрией, поликристалле ВРВО, так и на монокристаллическом образце LSCO.

Синтез и аттестация образцов описаны в [1]. Линейное тепловое расширение $\Delta L/L$ измерялось с помощью тензометрического дилатометра с чувствительностью $\sim 10^{-7}$ (L – длина образца) [9].

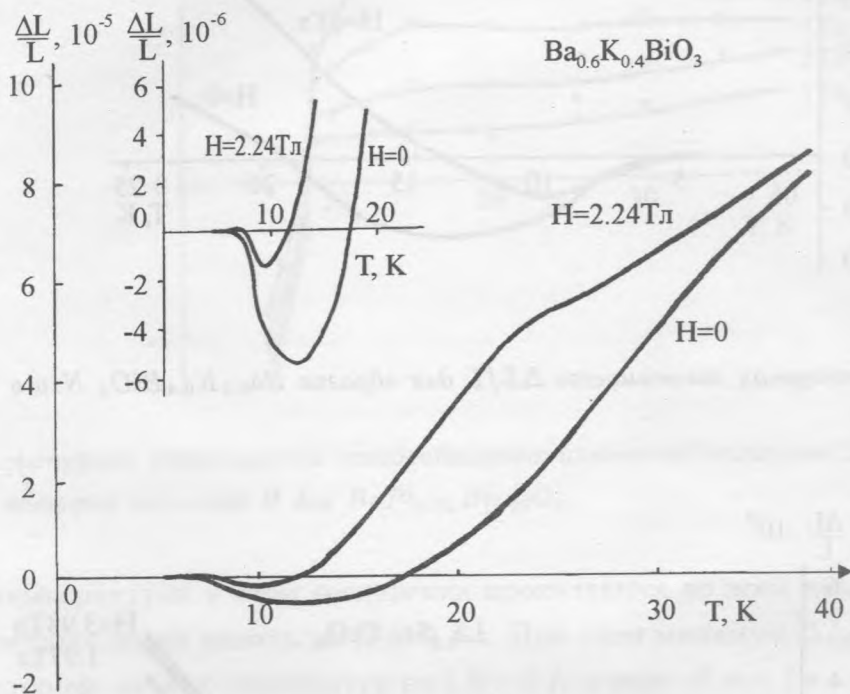


Рис. 1. Температурная зависимость теплового расширения $\Delta L/L$ для образца $Ba_{0.6}K_{0.4}BiO_3$ N1 в полях $H = 0$ и $H = 2.24$ Тл. На вставке показано $\Delta L/L$ в области низких температур $T < 20$ К.

Результаты измерений представлены на рис. 1 – 4. Для двух образцов $Ba_{0.6}K_{0.4}BiO_3$ на рис. 1 – 2 приведены зависимости $\Delta L/L$ от температуры T в разных магнитных полях. Магнитное поле в этих измерениях было направлено перпендикулярно направлению, в котором измерялась деформация. Видно, что в полях $H = 2 - 4$ Тл наблюдается сдвиг температуры T^* , соответствующей минимуму $\Delta L/L$, в сторону низких температур. Кроме того, уменьшается величина аномального (отрицательного) коэффициента теплового расширения α с ростом H . Эффект изменения величины $\Delta L/L$ в полях $H = 2 - 4$ Тл наблюдался нами как в сверхпроводящем, так и в нормальном металлическом состоянии ВКВО до $T \approx 50$ К.

Аналогичное изменение $\Delta L/L$ под влиянием магнитного поля $H = 2 - 4$ Тл наблюдалось нами для монокристаллического образца $La_{1.9}Sr_{0.1}CuO_4$. Измерения были выпол-

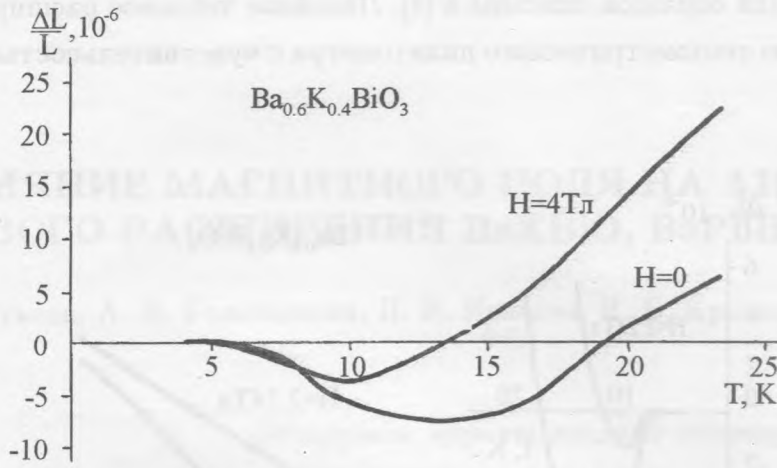


Рис. 2. Температурная зависимость $\Delta L/L$ для образца $Ba_{0.6}K_{0.4}BiO_3$ N1a в полях $H = 0$ и $H = 4$ Тл.

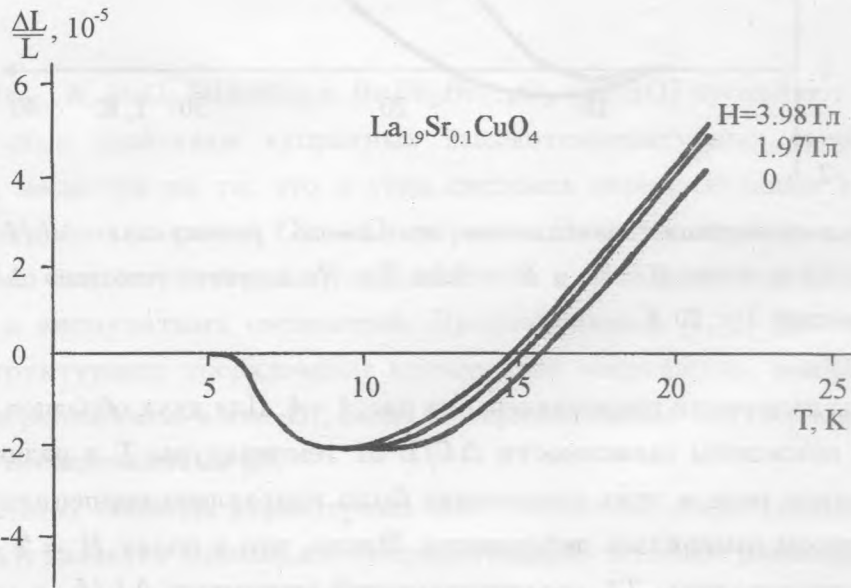


Рис. 3. Температурная зависимость теплового расширения $\Delta L/L$ для монокристалла $La_{1.9}Sr_{0.1}CuO_4$ в полях $H = 0, 1.97$ и 3.98 Тл.

нены в геометрии, когда деформация измерялась перпендикулярно оси "с" кристалла, а магнитное поле было параллельно направлению, в котором измерялась деформация. Результаты приведены на рис. 3. Как видно из рисунка, отрицательные значения $\Delta L/L$

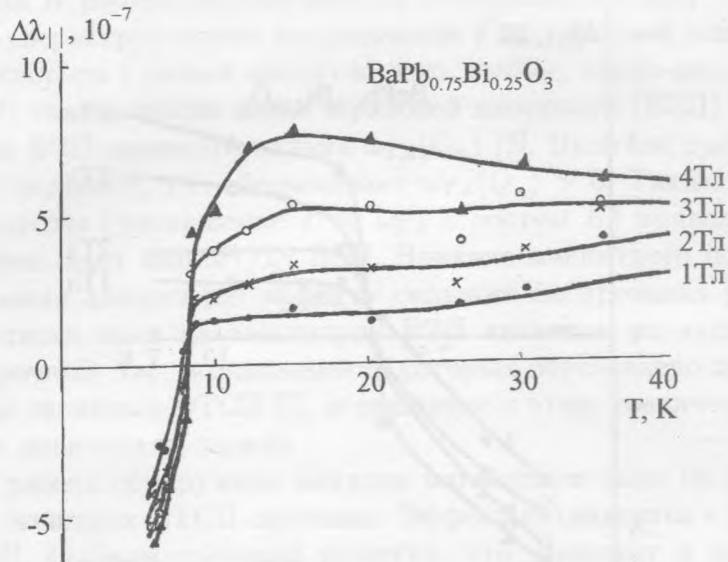


Рис. 4. Температурные зависимости относительных изменений величины $\Delta L/L$ в магнитном поле для четырех значений H для $\text{BaPb}_{0.75}\text{Bi}_{0.25}\text{O}_3$.

при низких температурах в этом соединении проявляются во всем исследованном интервале магнитных полей вплоть до $H \approx 4 \text{ Тл}$. При этом минимум $\Delta L/L$ смещается с ростом H в сторону низких температур на $1.5 - 2 \text{ К}$ в поле $H \approx 4 \text{ Тл}$.

Для соединения $\text{BaPb}_y\text{Bi}_{1-y}\text{O}_3$ измерялась магнитострикция $\lambda_{||} = \lambda(H) = \Delta L/L(H)$ как функция H при фиксированной температуре. Измерения выполнены в полях, параллельных измеряемой деформации. На основе этих данных получены кривые относительного изменения $\Delta\lambda_{||} = \Delta L/L(H) - \Delta L/L(0)$, приведенные на рис. 4 и 5 для четырех значений H в температурной области $6 \text{ К} \leq T \leq 41 \text{ К}$. Кривые отражают зависимость не величины теплового расширения $\Delta L/L(H)$, а относительное изменение этой величины в поле H при фиксированной температуре. Видно, что при $T > T_c$ в состоянии нормального металла наблюдается заметное относительное изменение $\Delta L/L$ в поле H . Интересной особенностью является также смена знака изменения $\Delta\lambda_{||}$ при $T \approx 8 \text{ К}$. Эти данные указывают на более сложное поведение образца ВРВО в магнитном поле.

Обнаруженный эффект влияния магнитного поля на аномалию теплового расширения в исследованных системах мы связываем с понижением стабильности их решеток в поле. Известно, что температурная зависимость коэффициента теплового расширения α определяется зависимостью параметра Грюнаизена γ , т.е. логарифмической производной частот фононов по объему образца. Положительным значениям α соответствует

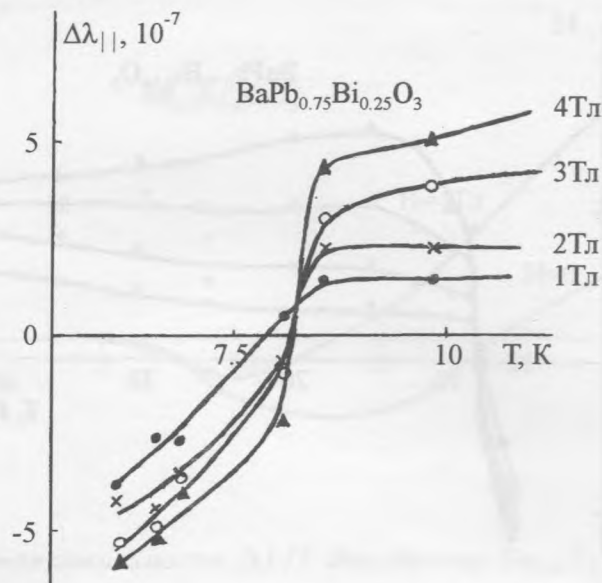


Рис. 5. Температурные зависимости относительного изменения величины $\Delta L/L$ в магнитном поле в области низких температур $T \leq 10$ K для четырех значений H для $\text{BaPb}_{0.75}\text{Bi}_{0.25}\text{O}_3$.

положительное γ , т.е. увеличение частоты фононов с температурой T . Наличие отрицательных значений α , наблюдаемых для оксидных ВТСП систем, показывает, что для них существуют аномальные ветви фононного спектра, частоты которых уменьшаются с ростом температуры [1, 2]. Поскольку $\alpha < 0$ наблюдается при низких температурах, это указывает на то,

что $\gamma < 0$ соответствует наиболее низкочастотной ветви колебаний, т.е. поперечной акустической ветви ω_{TA} . Учитывая, во-первых, что плотность фононных состояний максимальна вблизи границы зоны Бриллюэна, и, во-вторых, что сверхструктурное упорядочение в кислородной подрешетке соответствует направлению [100], можно утверждать, что $\omega_{TA}(Q)$ аномальна для волновых векторов Q в окрестности волнового вектора $Q_n = (\pi/a)$ [100]. Таким образом, "аномальными" являются поперечные акустические фононы с частотами $\omega_{TA}(Q)$ для волновых векторов $Q \approx Q_n$ вблизи границы зоны Бриллюэна, где максимальна их плотность состояний. Эксперимент для ВКВО и LSCO показал, что температура T^* , соответствующая минимальному значению $\Delta L/L$ (т.е. области отрицательных α), понижается с ростом H . Поскольку $kT^* \sim \hbar\omega_{TA}(Q_n)$, то с ростом H уменьшается $\hbar\omega_{TA}(Q_n)$.

Таким образом, с ростом H растет неустойчивость кристалла, т.е. $\omega_{TA} \rightarrow 0$.

С другой стороны, сверхструктурное упорядочение в кислородной подрешетке (т.е. упорядочение ионов кислорода с разной валентностью, точнее, ионно-ковалентных связей $Cu - O$ или $Bi - O$) эквивалентно волне зарядовой плотности (ВЗП) в этой подрешетке. Амплитуда этой ВЗП пропорциональна $\omega_{TA}(Q_n)$ [2]. Наличие такой ВЗП обеспечивает стабильность решетки, т.е. обеспечивает $\omega_{TA}(Q_n) > 0$. Таким образом, экспериментальные результаты (уменьшение T^* и ω_{TA} с ростом H) приводят к выводу, что магнитное поле уменьшает амплитуду ВЗП. Влияние магнитного поля на аномалию теплового расширения аналогично эффекту сильного легирования [1]. Причиной такого влияния магнитного поля на амплитуду ВЗП является, по нашему мнению, разрыв электронно-дырочных пар, возникновение которых обусловлено особенностями электронной структуры оксидных ВТСП [2], и связанное с этим увеличение экранирования ВЗП свободными носителями заряда.

Таким образом, в работе обнаружено влияние магнитного поля на аномалию теплового расширения в оксидных ВТСП системах. Эффект связывается с уменьшением в поле амплитуды ВЗП, стабилизирующей решетку, что приводит к возникновению аномального теплового расширения при более низких температурах.

Авторы благодарят Л. И. Леонюк за предоставление образцов монокристаллов $LaSrCuO$. Работа выполнена при поддержке научного совета ГНТП "Актуальные направления в физике конденсированных сред" (подпрограмма "Сверхпроводимость").

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Anshukova N. V., Golovashkin A. I., Ivanova L. I., et al. *Physica C*, **282-287**, 1065 (1997).
- [2] Golovashkin A. I., Anshukova N. V., Ivanova L. I., Rusakov A. P. 1-st Euroconference ACS'98 (Greece, Crete, 1998); *Physica C* (1999) (в печати).
- [3] McQueeney R. J., Petrov Y., Egami T., et al. *Phys. Rev. Lett.*, **82**, 628 (1999).
- [4] Anshukova N. V., Golovashkin A. I., Ivanova L. I., et al. *Intern. J. Modern. Phys.*, **B12**, 3251 (1998).
- [5] You H., Welp U., Fang Y. *Phys. Rev.*, **B43**, 3660 (1991).
- [6] Mouallem-Bahout M. et al. *Mater. Lett.*, **18**, 181 (1994).
- [7] Yang Z. J., Yewondwossen M., Lawther D. W., et al. *J. Supercond.*, **8**, 233 (1995).
- [8] Asahi T. et al. *Phys. Rev.*, **B55**, 9125 (1997).
- [9] Аншукова Н. В., Богуславский Ю. Б., Головашкин А. И. и др. *ФТТ*, **35**, 1415 (1993).

Поступила в редакцию 29 июня 1999 г.