

01;05.4

Пространственная анизотропия аномального акустического затухания и теплопроводности в высокотемпературных сверхпроводниках $\text{La}_2\text{M}\text{CuO}_4$

© С.В. Гуцин

Институт ядерной физики АН Республики Узбекистан, Ташкент

Поступило в Редакцию 26 декабря 1996 г.

Работа посвящена исследованию низкотемпературных тепловых свойств сверхпроводников. Показано влияние группы симметрии на характер теплопроводности и аномального акустического затухания, указаны направления максимального значения коэффициентов теплопроводности и акустического затухания. Сделан общий для кристаллов вывод о необходимом условии отсутствия центра симметрии для существования этих свойств.

В высокотемпературных сверхпроводниках типа $\text{La}_2\text{M}\text{CuO}_4$ и $\text{LnBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$ экспериментально обнаружены низкотемпературные теплоемкость, теплопроводность, акустическое затухание, которые обладают аномальными зависимостями от температуры [1]. Для объяснения подобных свойств в [2] была предложена модель поляронов малого радиуса, которые имели двухъямный потенциал взаимодействия. Теория подобных потенциалов, развитая в [3] низкотемпературных свойств стеккол и обобщенная на случай высоких температур в [4], дает объяснение аномальным тепловым свойствам. Исследованная в [2] конфигурация, содержащая атом меди в центре квадрата атомов кислорода, группа симметрии C_{4v} и переход к двухъямному потенциалу с редукцией группы симметрии C_{2v} . В нашей ранее опубликованной работе [5] рассматривались условия возникновения двухъямного потенциала в $\text{La}_2\text{M}\text{CuO}_4$ для конфигурации, образованной четырехугольником атомов кислорода без атома меди в центре, и соответствующее понижение симметрии от D_{4h} к D_{2h} . Полученные результаты этих работ объясняют аномальное поведение теплоемкости, структурно независимой характеристики.

Этого нельзя сказать об аномальной теплопроводности и акустическом затухании. В представленной работе исследуются пространственные характеристики теплопроводности и акустического затухания.

Низкотемпературные свойства, связанные с транспортом фононов: распространение звука и теплопроводность, как это показано в [3,4], зависят от асимметрии двухъямного потенциала. Такая ситуация возникает при наличии в потенциале взаимодействия члена с кубическим ангармонизмом. Возникающая при этом асимметрия определяет деформационный потенциал, на котором происходит затухание фононов. В [6] деформационный потенциал определяется как

$$\gamma = 1/2(\partial\Delta/\partial\varepsilon + \partial\Delta_0/\partial\varepsilon), \quad (1)$$

где ε -деформация, Δ -асимметрия двухъямного потенциала, Δ_0 — разность между уровнями вследствие туннельного расщепления. При этом второй член много меньше первого и деформационный потенциал определяется лишь первым членом уравнения.

Для стекол подобный потенциал с кубическим ангармонизмом возникает вследствие флуктуаций и кубический член потенциала носит симметричный характер из-за отсутствия выделенного направления в стеклах. Для кристаллов появление такого ангармонизма возможно лишь в системах без центра симметрии.

Для рассматриваемого высокотемпературного сверхпроводника $\text{La}_2\text{M}\text{CuO}_4$ это соответствует сверхпроводящей плоскости, образованной квадратом атомов кислорода с атомом меди в центре. Не составляет труда определить условия возникновения асимметрии в двухъямном потенциале. Рассмотрим ангармонический потенциал для симметрии C_{2v}

$$K_{00}Q_0^2 + K_{11}Q_1^2 + K_{000}Q_0^3 + K_{011}Q_0Q_1^2 + K_{111}Q_1^3 + K_{0000}Q_0^4 + K_{0011}Q_0^2Q_1^2 + K_{1111}Q_1^4, \quad (2)$$

обозначения в [5]. Вид потенциала определяется наличием лишь двух нормальных колебаний для симметрии C_{2v} : Q_0 -полносимметричного и Q_1 -неполносимметричного. Минимизируя по Q_0 и переобозначая

$$X = Q_0 + K_{000}(4K_{0000})^{-1} \quad (3)$$

можно получить решение кубического уравнения:

$$X_{1,2} = K^{1/3}(2_{\pm}^{1/2}1/2(d - 3/4K^{2/3})), \quad (4)$$

где

$$d = \{3/16(K_{000}/K_{0000})^2 - 1/2(K_{00}/K_{0000}) - 1/2(K_{011}Q_1^2/K_{0000})\}, \quad (5)$$

$$k = \{1/32(K_{000}/K_{0000})^3 + 1/2(K_{00}K_{000}/K_{0000}^2) + K_{000}K_{0011}Q_1^2/K_{0000}^2 + K_{0011}Q_1^2/K_{0000}\} \quad (6)$$

$$\text{при условии} \quad dk = 0. \quad (7)$$

Из решения (4) видно, что в этом случае существует отличная от нуля асимметрия потенциала. Для конфигурации, рассмотренной в [5], соответствующей слою, соединяющему сверхпроводящие плоскости, деформационный потенциал определяется существенно меньшей величиной туннельного расщепления или учетом высших ангармонических членов потенциала взаимодействия.

В этой связи можно сделать следующий вывод: коэффициент релаксационного поглощения звука, который единым образом определяется в [3,4]:

$$l_{rel} = \vartheta^{-1} \sum D^2 (\rho v^3 4kT \coth(E/kT))^{-1} \omega^2 \tau (1 + \omega^2 \tau^2)^{-1}, \quad (8)$$

обозначения в [4] и $D = 2\Delta\gamma/E$, существенным образом зависит от направления распространения. Для учета затухания в слое между сверхпроводящими плоскостями необходимо учитывать ангармонические члены шестого порядка.

Аналогичным образом может быть рассмотрена низкотемпературная теплопроводность. Как следует из [7,8], она определяется следующим образом:

$$\begin{aligned} \kappa(T) = & (24\pi)^{-1} (\rho\eta^{1/2}) (h\omega G_1 b^2)^{-1} (v_l/d_l^2 + 2v_t/d_t^2) (T \ln(w/T))^2 \\ & \times [1 + 9G_{11}/b^2 G_T (\ln(w/T))^2]^{-1}, \end{aligned} \quad (9)$$

$d = \ll \gamma \gg$ усредненная по ансамблю двухуровневых систем, т.е. опять возникает существенная анизотропия в распространении тепла вдоль сверхпроводящей плоскости и вдоль соединяющих эти плоскости слоев.

Подводя итоги, можно сказать, что проведенное исследование впервые показывает пространственную анизотропию низкотемпературных

теплопроводности и акустического затухания, существующих в высокотемпературных сверхпроводниках $\text{La}_2\text{M}\text{CuO}_4$, которые зависят от формы двухъямного потенциала и направление распространения которых определяется симметрией плоскости распространения. Поэтому можно высказать общее утверждение: в кристаллах, обладающих аномальными тепловыми свойствами, необходимым условием существования аномальной теплопроводности и акустического затухания является отсутствие центра симметрии в плоскости распространения. Необходимым, но не достаточным, так как существуют дополнительные условия асимметрии двухъямного потенциала, например условие (7) в рассмотренном случае. Следует отметить, что подобный вывод не относится к аномальной температурной зависимости теплоемкости в области низких температур.

Полученные результаты могут быть использованы при изучении тепловых и акустических свойств новых сверхпроводников.

Список литературы

- [1] Лазарев В.Б., Гавричев К.С., Горбунов В.Е., Гринберг Я.Х., Слуцкий П.З. / Журнал неорганической химии. 1990. Т. 35. С. 3–11.
- [2] Szymzak K.H., Ganzel Z., Wittin A. / Int. Journal of Modern Physics. 1990. V. 4. P. 1369–1378.
- [3] Anderson G.W., Halperin B.J., Varma C.M. *Philosophical Magazin*. 1972.V. 25. P. 1–9.
- [4] Паршин Д.А. // ФГТ. 1994. Т. 36. В. 7. С. 1809–1880.
- [5] Гуцин С.В., Джуманов С. / Письма в ЖТФ. 1995. Т. 21. В. 21. С. 1–4.
- [6] Гуревич В.Л., Паршин Д.А. // ЖЭТФ. 1982. Т. 83. В. 6.
- [7] Гуревич В.Л. / Кинетика фононных систем. М.: Наука, 1980. 400 с.
- [8] Карпов В.Г., Паршин Д.А. // ЖЭТФ. 1985. Т. 88. В. 6. С. 2212–2227.