

ВЛИЯНИЕ ВЫСОКОГО ГИДРОСТАТИЧЕСКОГО ДАВЛЕНИЯ НА ВЕЛИЧИНУ ОБМЕННОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ В МОНОКРИСТАЛЛАХ Eu_2CuO_4

*М.И.Еремец**, *А.В.Ломсадзе**, *А.А.Максимов*, *А.В.Пучков*,
*В.В.Стружкин**, *И.И.Тартаксовский*

*Институт физики твердого тела АН СССР
142432, Черноголовка*

**Институт физики высоких давлений АН СССР
142092, Троицк*

Поступила в редакцию 21 июня 1991 г.

После переработки 7 сентября 1991 г.

Определена зависимость обменного интеграла J в CuO_2 -плоскости от давления в диапазоне 0-410 кбар. Величина J измерялась по спектрам двухмагнного комбинационного рассеяния света в антиферромагнетике Eu_2CuO_4 . Показано, что с уменьшением постоянной решетки относительное изменение обменного взаимодействия значительно слабее, чем в классических антиферромагнетиках.

Общим для большинства высокотемпературных сверхпроводящих материалов является наличие в них единого структурного мотива - CuO_2 -плоскостей. В настоящее время установлено, что диэлектрические фазы высокотемпературных сверхпроводников являются магнитоупорядоченными. С помощью исследований по рассеянию нейтронов ¹ было установлено, что эти фазы являются антиферромагнетиками со спином $S = \frac{1}{2}$, локализованным на атомах меди, и сравнительно высокими температурами Нееля T_N , которые могут превышать комнатные. В купратных же плоскостях существуют сильные антиферромагнитные корреляции при температурах, значительно превышающих температуру трехмерного упорядочения T_N .

Интерес к исследованию магнитных свойств ВТСП материалов обусловлен важностью установления роли магнитных взаимодействий в механизме высокотемпературной сверхпроводимости ^{2,3}. Одним из эффективных методов исследования антиферромагнитного упорядочения в купратных плоскостях является комбинационное рассеяние (КР) света. Как показали многочисленные исследования, в спектрах КР диэлектрических кристаллов La_2CuO_4 и их аналогов ⁴⁻⁶ наблюдается широкая полоса B_{1g} -симметрии с максимумом в районе 3000 см^{-1} , отвечающая рассеянию света с рождением двух магнов. Аналогичная полоса наблюдается и в диэлектрической фазе кристаллов $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{6+x}$ ^{7,8}. В сверхпроводящих фазах этих же кристаллов, а также в высокотемпературных сверхпроводниках на основе Bi и Tl , двухмагнная полоса в спектре КР не наблюдается, но наблюдается вплоть до частот $> 4000 \text{ см}^{-1}$ широкий, практически бесструктурный фон электронного происхождения.

Согласно теории, описывающей положение и форму двухмагнной полосы в спектре КР двумерного антиферромагнетика с координационным числом z и спином S ^{9,10}, положение максимума ω_{max} связано с обменным интегралом J ¹⁾ соотношением $\omega_{\text{max}} \approx 1,37JSz$. Применительно к купратной плоскости ВТСП соединения это соотношение принимает вид ($S = \frac{1}{2}$, $z = 4$):

¹⁾При определении J мы не учитывали перенормировку этой величины за счет квантовых флуктуаций в двумерном антиферромагнетике со спином $S = \frac{1}{2}$ ¹⁰.

Величина J определяется степенью перекрытия волновых функций соседних атомов Cu и O ($p-d$ -перекрытие) в CuO_2 -плоскости. В свою очередь, перекрытие волновых функций зависит от расстояния между атомами. Поэтому значительный интерес представляют экспериментальные исследования в условиях высокого гидростатического давления, позволяющие непосредственно определить характер зависимости обменного интеграла от расстояния между соседними атомами в CuO_2 -плоскости.

В данной работе были исследованы спектры КР монокристаллов Eu_2CuO_4 , которые являются структурным аналогом La_2CuO_4 , в диапазоне давлений от 0 до 410 кбар. Для создания высокого давления использовалась камера с алмазными наковальнями¹¹. Образцы, представляющие собой монокристаллические пластинки с хорошо развитой $\bar{a}\bar{b}$ -плоскостью и имеющие размеры $\approx 40 \times 40 \times 10$ мкм³, помещались в отверстие с диаметром ≈ 100 мкм в рениевой гasketке. В качестве среды, передающей давление, использовался гелий, что обеспечивало гидростатичность сжатия в исследуемом диапазоне давлений¹². Давление в камере измерялось по сдвигу линии R_1 флуоресценции рубина¹². Измерения проводились с использованием Ag^+ -лазера с длиной волны возбуждающего света $\lambda = 4880 \text{ \AA}$ на тройном рамановском спектрометре DILOR XY с микроприставкой.

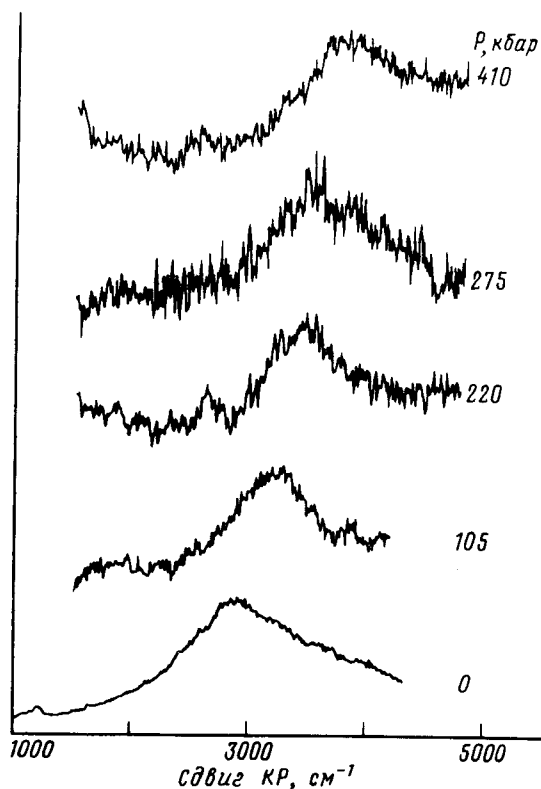


Рис. 1. Спектры КР света монокристалла Eu_2CuO_4 в области двухмагнного рассеяния при различных давлениях P

На рис.1 приведены экспериментально полученные спектры КР Eu_2CuO_4 при различных давлениях. Видно, что с повышением давления максимум

двухмагнитной полосы заметно сдвигается в сторону высоких энергий, и при давлении $P = 410$ кбар сдвиг составляет $\approx 1000 \text{ см}^{-1}$. Зависимость обменного интеграла J от давления согласно формуле (1) представлена на рис.2 и является практически линейной в диапазоне давлений от 0 до 410 кбар.

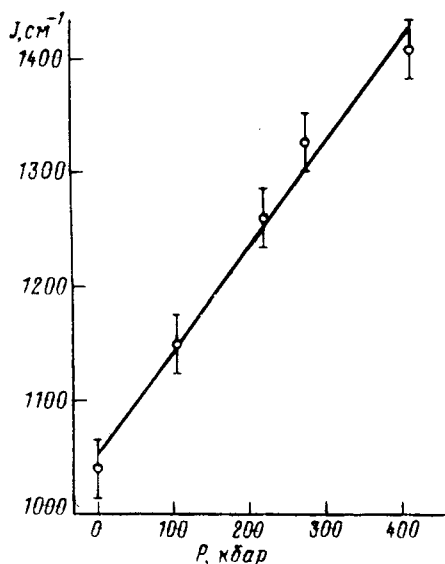


Рис. 2. Зависимость обменного интеграла в кристаллах Eu_2CuO_4 от давления P

Видно, что при повышении давления от 0 до 400 кбар значение обменного интеграла изменилось на $\sim 30\%$. Для оценки изменения постоянной решетки были использованы данные работы ¹³, которая была выполнена на кристаллах $(\text{La}_{0,9}\text{Sr}_{0,1})_2\text{CuO}_{4-y}$ в диапазоне давлений $P = 0 \div 70$ кбар; величина коэффициента сжимаемости согласно этим измерениям составляет $(2,5 \pm 0,4) \cdot 10^{-4}/\text{кбар}$. Кроме того, выполненные измерения постоянных решетки в кристаллах $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{6+x}$ при давлениях до 200 кбар ⁴ показывают близкие значения коэффициента сжимаемости в $\bar{a}\bar{b}$ -плоскости. Таким образом, изменение расстояния между атомами Cu и O в $\bar{a}\bar{b}$ -плоскости Eu_2CuO_4 при давлении 400 кбар составляет $\sim 10\%$.

Зависимость обменного интеграла от расстояния между атомами r определяется перекрытием соответствующих волновых функций и в общем случае может иметь достаточно сложный вид. Понятно, что при малом изменении r восстановить эту зависимость с удовлетворительной точностью из данных эксперимента не представляется возможным. Однако, для описания скорости изменения обменного интеграла при изменении расстояния между атомами можно, как это принято, использовать приближение зависимости $J(r)$ в виде степенной функции ^{6,15}. Так, выполненный в работе ¹⁵ подробный анализ многочисленных экспериментальных данных и проведенные численные расчеты показывают, что для случая 180° суперобменного взаимодействия в классических антиферромагнетиках (например, K_2NiF_4 , K_2MnF_4 и т.д.) $J \propto r^{-12}$.

В случае Eu_2CuO_4 эта зависимость, как следует из данных эксперимента, значительно слабее: $J \propto r^{-n}$, $n = 3 \pm 0,5$. Такое поведение обменного интеграла от расстояния может быть связано с изначально сильным перекрытием волновых функций, в результате чего дальнейшее сближение атомов Cu и O не приводит к резкому усилению взаимодействия. Действительно, на сильное перекрытие волновых функций указывает сама величина обменного взаимодействия в ВТСП материалах ($J \approx 1000 \text{ см}^{-1}$) ⁴⁻⁸, которая существенно

превышает характерные значения в ранее исследованных двумерных антиферромагнетиках⁵. Эти рассуждения носят, однако, качественный характер. Для более полного понимания природы обменного взаимодействия в системе Cu-O-Cu и его количественного описания требуется проведение соответствующего теоретического анализа и модельных расчетов.

-
1. Birgeneau R.J., Shirane G. *Physical Properties of High Temperature Superconductors*, ed. D.M.Ginsberg. Word Scientific Publishing, 1989.
 2. Anderson P.W., Baskaran G., Zou Z., Hsu T. *Phys. Rev. Lett.*, 1987, 58, 2790.
 3. Schrieffer J.R., Wen X.-G., Zhang S.-C. *Phys. Rev. Lett.*, 1988, 60, 944.
 4. Lyons K.B., Fleury P.A., Remeika J.P. et al. *Phys. Rev. B*, 1987, 37, 2353.
 5. Maksimov A.A., Tartakovskii I.I., Timofeev V.B. *Physica C*, 1989, 160, 249.
 6. Sulewaki P.E., Fleury P.A., Lyons K.B. *Phys. Rev. B*, 1990, 41, 225.
 7. Lyons K.B., Fleury P.A., Schneemeyer L.F., Waszczak J.V. *Phys. Rev. Lett.*, 1988, 60, 732.
 8. Krol D.M., Stavola M., Schneemeyer L.F. et al. *Phys. Rev. B*, 1988, 38, 11346.
 9. Parkinson J. J. *Phys. C*, 1969, 2, 2012.
 10. Weber W.H., Ford G.W. *Phys. Rev. B*, 1989, 40, 6890.
 11. Jayaraman A. *Rev. Sci. Instr.*, 1986, 57, 1013.
 12. Mao H.K., Xu J., Bell P.M. *J. Geophys. Res.*, 1986, 91, 4673.
 13. Takahashi H., Murayama C., Yomo S. *Jap. J. Appl. Phys.*, 1987, 26, 1504.
 14. Александров И.В., Гончаров А.Ф., Стишов С.М. *Письма в ЖЭТФ*, 1988, 47, 357.
 15. Jongh L.J., Block R. *Physica B+C*, 1975, 79, 568.