

ОСОБЕННОСТИ БАРИЧЕСКОЙ ЗАВИСИМОСТИ ТЕМПЕРАТУРЫ КЮРИ В СОЕДИНЕНИЯХ $\text{CuM}_2\text{Cl}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$

В. П. Дьяконов, В. И. Маркович, П. И. Поляков

Исследование трехмерных гейзенберговских ферромагнетиков с общей формулой $\text{CuM}_2\text{X}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ($M—\text{K}, \text{NH}_4, \text{Rb}, \text{Cs}$; $X—\text{Cl}, \text{Br}$) под давлением до 10 кбар [1] позволило установить закономерность изменения температуры Кюри T_c в условиях гидростатического сжатия для этой серии кристаллов, а именно, с ростом объема элементарной ячейки производная dT_c/dP монотонно растет и изменяет знак.

Расчет параметров обмена в двух ближайших координационных сферах и их изменение под давлением до 10 кбар, а также анализ путей сверхобмена [1, 2] показал, что у исследованных соединений доминантным взаимодействием между ближайшими соседями является ферромагнитное, а во второй координационной сфере конкурируют ферромагнитные взаимодействия в базисной плоскости и антиферромагнитные вдоль тетрагональной оси C . При этом величина антиферромагнитного вклада в обмен вторых соседей существенно больше у кристаллов с наименьшими параметрами элементарной ячейки, а именно, в соединениях с хлором — $\text{CuM}_2\text{Cl}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$.

При всестороннем сжатии до 10 кбар слабо проявляется эффект отнительного увеличения антиферромагнитного вклада в сверхобмен вторых соседей. Поэтому были продолжены исследования влияния высокого гидростатического давления на характер фазовых переходов в ферромагнетиках $\text{CuM}_2\text{Cl}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ($M—\text{K}, \text{NH}_4, \text{Rb}$) с целью получения более наглядного и существенного проявления конкуренции ферромагнитных и антиферромагнитных взаимодействий, определяющих особенности магнитного упорядочения изоморфных соединений двухвалентной меди.

В настоящей работе была измерена магнитная восприимчивость трех вышеуказанных кристаллов под давлением до 17 кбар в интервале температур 0.4—4.2 К и установлены барические зависимости температуры Кюри. Для измерения магнитной восприимчивости применялся индукционный метод на переменном токе [1].

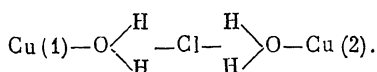
Специальный двухслойный контейнер камеры высокого давления (КВД) изготовлен из облагороженной бериллиевой бронзы Бр Б2, внутренний диаметр 7 мм. Толкатель и составной плунжер изготовлены из стали 38ХНЮ [3]. Давление фиксировалось по нагружению, максимальное нагружение около 8.5 тонн. Давление в канале КВД определялось по температуре сверхпроводящего перехода олова согласно калибровке [4], погрешность в определении давления не превышала ± 0.3 кбар. Ошибка в измерении температуры оценивается в 5 мК.

Исследования выполнены на монокристаллических образцах — диаметр ≈ 2 мм, длина ≈ 6 мм и масса ~ 0.05 г. Магнитная восприимчивость измерялась вдоль направления легкого намагничивания для кристаллов $\text{CuM}_2\text{Cl}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ — это направления (110) и (110).

На рисунке представлено изменение под давлением критической температуры $\Delta T_c(P) = T_c(P) - T_c(0)$. Хотя зависимости $T_c(P)$ для соединений $\text{CuK}_2\text{Cl}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ и $\text{Cu}(\text{NH}_4)_2\text{Cl}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ при $P < 10$ кбар практически линейны ($dT_c/dP = -0.014 \pm 0.002$ К · кбар⁻¹, $dT_c/dP = -0.007 \pm 0.002$ К · кбар⁻¹ соответственно) [5, 6], с увеличением давления $P > 10$ кбар ход этих зависимостей становится существенно нелинейным. Зависимость $T_c(P)$ соединения $\text{CuRb}_2\text{Cl}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, нелинейно возрастающая при $0 < P < 10$ кбар [7], претерпевает излом при $P \sim 11$ кбар и практически выходит на насыщение при $P \sim 15$ кбар.

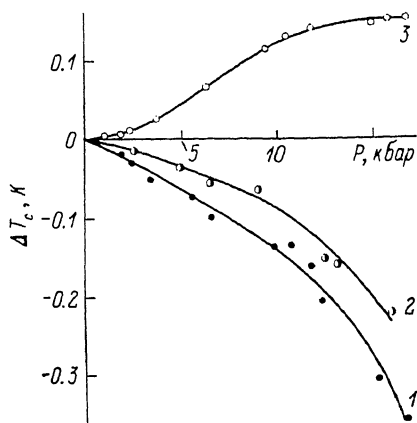
Как следует из ранее проведенного рассмотрения [1], зависимость $T_c(P)$ в соединениях $\text{CuM}_2\text{Cl}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ обусловлена главным образом изменением под давлением обменных взаимодействий. Ферромагнитное взаимодействие между ближайшими соседями J_1 под давлением ($P < 10$ кбар) в кристалле $\text{CuK}_2\text{Cl}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ слегка уменьшается, у $\text{Cu}(\text{NH}_4)_2\text{Cl}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ остается практически постоянным, у $\text{CuRb}_2\text{Cl}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ растет.

Наиболее сильным взаимодействием между d -орбиталями во второй координационной сфере является антиферромагнитное взаимодействие вторых соседей вдоль тетрагональной оси $J_2(c)$, при котором осуществляется σ -связь между двумя наполовину заполненными $\psi(x^2-y^2)$ молекулярными орбиталями. При этом сверхобмен вдоль оси C между e_g -орбиталями осуществляется по цепочке



Так как длина связи $\text{Cu}-\text{O}$ и параметры ковалентности этой связи практически одинаковы в исследованных кристаллах [2], то параметр обмена $J_2(c)$, определяемый величиной интегралов перекрытия на участке $\text{H}_2\text{O}-\text{Cl}-\text{H}_2\text{O}$, должен возрастать с уменьшением размеров элементарной ячейки вдоль тетрагональной оси, что и происходит при сжатии кристалла. Согласно таблице, антиферромагнитный вклад $J_2(c)$ в обменное взаимодействие должен возрастать в ряду соединений $\text{CuRb}_2\text{Cl}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, $\text{Cu}(\text{NH}_4)_2\text{Cl}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, $\text{CuK}_2\text{Cl}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$.

При давлениях $P < 10$ кбар это подтверждается результатами измерений парамагнитной температуры Кюри—Вейсса Θ двух соединений $\text{Cu}(\text{NH}_4)_2\text{Cl}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ и $\text{CuK}_2\text{Cl}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$. У магнитоэлектрика $\text{CuRb}_2\text{Cl}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, имеющего наибольшие размеры решетки, из-за одновременного роста параметров J_1 и $J_2(c)$ под давлением возрастание $J_2(c)$ почти не отражается на характере изменения температуры Кюри—Вейсса.



Зависимость температуры Кюри $\Delta T_c(P) = T_c(P) - T_c(0)$ от давления.
1 — $\text{CuK}_2\text{Cl}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, 2 — $\text{Cu}(\text{NH}_4)_2\text{Cl}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$,
3 — $\text{CuRb}_2\text{Cl}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$.

Параметры решетки и критическая температура изоморфных соединений двухвалентной меди

	a, Å	c, Å	T_c , К	$\left. \frac{dT_c}{dP} \right _{P=0}$, К · кбар ⁻¹
$\text{CuK}_2\text{Cl}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	7.455	7.935	0.877	-0.014
$\text{Cu}(\text{NH}_4)_2\text{Cl}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	7.594	7.967	0.701	-0.007
$\text{CuRb}_2\text{Cl}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	7.609	8.042	1.017	0

Всестороннее сжатие при $P > 10$ кбар приводит к дальнейшему росту антиферромагнитного взаимодействия $J_2(c)$, так что оно начинает превалировать и определять топологию фазовой $P-T$ -диаграммы: критическая температура $\text{Cu}(\text{NH}_4)_2\text{Cl}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ и $\text{CuK}_2\text{Cl}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ начинает резко уменьшаться, а в $\text{CuRb}_2\text{Cl}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ рост $T_c(P)$ при $P > 14$ кбар практически прекращается, при $P \sim 15$ кбар $dT_c/dP \approx 0$. Дальнейшее увеличение давления и соответственно увеличение антиферромагнитного вклада в сверхобмен вторых соседей, по-видимому, должно привести к изменению знака производной dT_c/dP .

Наблюдаемое поведение барических зависимостей T_c свидетельствует о сложном конкурирующем характере ферромагнитных и антиферромаг-

нитных обменных взаимодействий в исследованных кристаллах $\text{CuM}_2\text{Cl}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ и подтверждает высказанное ранее [1] предположение о важной роли антиферромагнитного взаимодействия вторых соседей вдоль тетрагональной оси, что наиболее явно проявляется с ростом давления.

Л и т е р а т у р а

- [1] Дьяконов В. П., Зароченцев Е. В., Левченко Г. Г., Маркович В. И. ФТТ, 1987, т. 29, № 10, с. 2894—2901.
 [2] Looyestijn W. I., Klaasen T. O., Poulis N. I. Physica, 1980, vol. 101B, N 1, p. 53—70.
 [3] Дорошев В. Д., Ковтун Н. М., Молчанов А. И., Поляков П. И., Сынков В. Г. ПТЭ, 1984, № 4, с. 195—199.
 [4] Берман И. В., Брандт Н. Б., Гинзбург Н. И. ЖЭТФ, т. 53, № 1, с. 123—133.
 [5] Галкин А. А., Дьяконов В. П., Цинцадзе Г. А., Фита И. М. ФТТ, 1976, т. 18, № 6, с. 1596—1602.
 [6] Герман Б. Р., Дьяконов В. П., Маркович В. И., Цинцадзе Г. А. ФТТ, 1984, т. 26, № 12, с. 3705—3706.
 [7] Герман Б. Р., Дьяконов В. П., Маркович В. И., Черныш Л. Ф., Цинцадзе Г. А. ФТТ, 1984, т. 26, № 11, с. 3458—3459.

Донецкий физико-технический институт АН УССР
Донецк

Поступило в Редакцию
19 января 1988 г.

УДК 546.28

Физика твердого тела, том 30, в. 6, 1988
Solid State Physics, vol. 30, № 6, 1988

ПОГЛОЩЕНИЕ СВЕТА ДИСЛОКАЦИЯМИ С ДЕФЕКТАМИ

М. И. Молоцкий

В существующих теориях дислокационного поглощения (ДП) света предполагается, что при оптическом возбуждении сохраняется проекция волнового вектора вдоль оси дислокации [1—3]. Такое предположение не выполняется в непрямозонных полупроводниках. Как показали недавние расчеты [4, 5], не прямой характер запрещенной зоны в кремнии сохраняется в проекции на ось дислокации. Поэтому ДП в кремнии возможно только при передаче возбуждаемому электрону дополнительного импульса от внешнего источника, например, от точечного дефекта (ТД) или фона. Если поглощение света обусловлено электрон-фононным взаимодействием, то его интенсивность сильно зависит от температуры. Однако опыты [6, 7] по ДП кремния указывают на слабую температурную зависимость. В то же время интенсивность ДП резко падает после отжига ТД, возникающих наряду с дислокациями, при пластической деформации кристалла. Это говорит о том, что ДП в кремнии обусловлено не электрон-фононным взаимодействием, а наличием ТД на линии дислокации.

Авторы работы [7] предположили, что роль ТД сводится к передаче электронам недостающего импульса при их рассеянии в поле ТД. В этом случае коэффициент ДП при переходах между состояниями объемных и дислокационных зон будет пропорционален комбинированной плотности состояний обеих зон

$$K_d(\omega) \propto \int g_d(E) g_b(E + \hbar\omega) dE.$$

Поскольку для объемных зон плотность состояний $g_b(E) \propto E^{1/2}$, а для дислокационных $g_d(E) \propto E^{-1/2}$, то $K_d(\omega) \propto (\hbar\omega - E_l)$, где E_l — расстояние между краями зон. Линейная зависимость $K_d(\omega)$ действительно наблюдалась в ДП кремния для переходов со значениями E_l вблизи 1 и 1.1 эВ [6, 7]. Эти переходы, по-видимому, связаны с возбуждением по-