

ВОЗМОЖНОСТЬ РАДИКАЛЬНОГО ОСЛАБЛЕНИЯ МНОГОЧАСТИЧНЫХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЙ В ОРГАНИЧЕСКОМ МЕТАЛЛЕ α -(BETS)₂KHg(SCN)₄

С. И. Песоцкий^{abc}, Р. Б. Любовский^{ac}, В. Биберахер^{b**}, М. В. Карцовник^b,
В. И. Нижанковский^c, Н. Д. Куш^a, Х. Кобаяши^{d***}, А. Кобаяши^{e***}*

^a *Институт проблем химической физики Российской академии наук
142432, Черноголовка, Московская обл., Россия*

^b *Walther Meissner Institute
D-85748, Garching, Germany*

^c *International Laboratory of High Magnetic Fields and Low Temperatures
Wroclaw, 53-529, Poland*

^d *Institute for Molecular Science
Okazaki, 444, Japan*

^e *Research Center for Spectrochemistry, Graduate School of Science
University of Tokyo 113, Japan*

Поступила в редакцию 23 августа 2001 г.

Подробно изучено поведение осцилляций де Гааза–ван Альфена в зависимости от угла между направлением магнитного поля и перпендикуляром к проводящим слоям в квазидвумерном органическом металле α -(BETS)₂KHg(SCN)₄. На угловой зависимости амплитуды осцилляций наблюдалась серия минимумов при ± 43.2 , ± 64.6 , $\pm 72.0^\circ$, связанных с эффектом «спиновых нулей», давшая возможность однозначно оценить величину расщепляющего фактора. Анализ этой величины позволил предположить отсутствие или, по крайней мере, радикальное ослабление многочастичных взаимодействий в исследованном соединении.

PACS: 71.18.+y, 72.20.My

Семейство изоструктурных квазидвумерных органических металлов α -(ET)₂MHg(XCN)₄, где ET — бис(этилендитио)тетрагидрофульвален, M = K, Tl, Rb, NH₄, X=S, Se, были объектом пристального внимания в физике органических проводников последние десять лет [1]. Причиной тому оказалось сосуществование в поверхности Ферми этих металлов как гофрированных открытых листов, характерных для квазиодномерных электронных систем, так и гофрированного цилиндра, типичного для квазидвумерного металла, и взаимодействие этих час-

тей поверхности Ферми. Следствием этого явилось одновременное наблюдение ряда явлений, присущих как квазиодномерным, так и квазидвумерным системам, например, квантовых осцилляций различного типа, связанных с замкнутыми орбитами, и фазового перехода пайерлсовского типа, сопровождающегося нестингом открытых листов поверхности Ферми. Такой переход наблюдался в соединениях с M = K, Tl, Rb и X = S при $T \leq 10$ K [1]. Природа состояния ниже температуры перехода пока не ясна, но проведенные в последнее время интенсивные исследования фазовой диаграммы [2, 3] предоставили серьезные аргументы в пользу состояния с волной зарядовой плотности. Остальные металлы указанного семейства сохраняют поверхность Ферми вплоть

*E-mail: pesot@icp.ac.ru

**W. Biberacher.

***H. Kobayashi and A. Kobayashi.

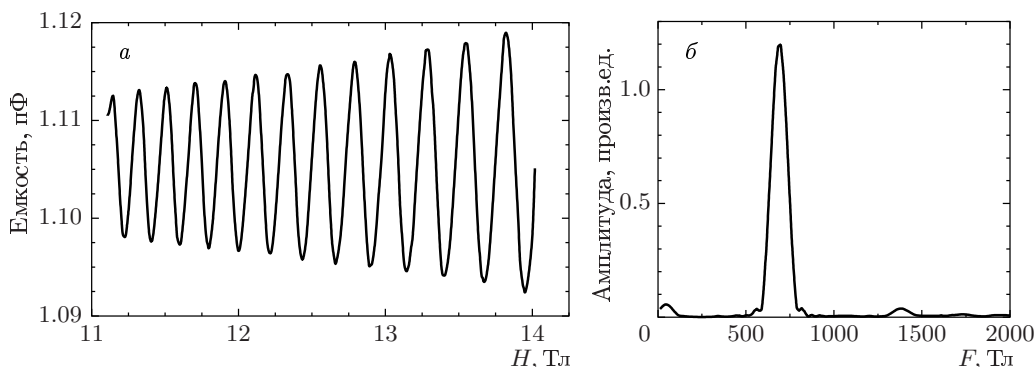


Рис. 1. Осцилляции крутящего магнитного момента в α -(BETS) $_2$ TlHg(SeCN) $_4$ при $T = 0.45$ К, $\theta = 12.6^\circ$ (а) и фурье-спектр этих осцилляций (б)

до самых низких температур [1], причем одно из них, α -(ET) $_2$ NH $_4$ Hg(SCN) $_4$, переходит в сверхпроводящее состояние при $T \approx 1$ К [4].

Сравнительно недавно на основе органической молекулы BETS (бис(этилендитио)тетраселенафульвален) были синтезированы квазидвумерные металлы α -(BETS) $_2$ KHg(SCN) $_4$ и α -(BETS) $_2$ NH $_4$ Hg(SCN) $_4$, изоструктурные своим ET-аналогам из упомянутого семейства. В молекуле BETS по сравнению с ET часть атомов серы заменена на атомы селена. Учитывая, что в ET-металлах проводимость внутри проводящего слоя обеспечивается перекрытием именно орбиталей серы, можно было ожидать, что такая замена существенно повлияет на свойства новых комплексов. И действительно, металлы α -(BETS) $_2$ KHg(SCN) $_4$ и α -(BETS) $_2$ NH $_4$ Hg(SCN) $_4$ не показали при понижении температуры ни пайерсовского, ни сверхпроводящего переходов [5]. Анализ поведения осцилляций Шубникова–де Гааза в этих металлах позволил предположить в качестве основной причины подавления переходов частичное ослабление электрон–электронного кулоновского отталкивания [5].

В настоящей работе на основе исследования осцилляций де Гааза–ван Альфена в α -(BETS) $_2$ KHg(SCN) $_4$ предлагается в качестве версии подавления переходов полное отсутствие как электрон–электронного, так и электрон–фононного взаимодействий или их радикальное ослабление.

Объектом исследования явились монокристаллические образцы α -(BETS) $_2$ KHg(SCN) $_4$, имевшие массу 120–150 мкг. Наблюдение эффекта де Гааза–ван Альфена проводилось по методике [6], в которой изменение намагниченности определялось по изменению крутящего момента емкостного магнито-

метра. При этом поле разворачивалось от 0 до 14 Тл, а температура фиксировалась в интервале от 0.45 до 1.3 К. В исследованном соединении были обнаружены осцилляции де Гааза–ван Альфена при различных направлениях магнитного поля (пример представлен на рис. 1а). Спектр осцилляций содержит единственную фундаментальную частоту (рис. 1б), зависимость которой от угла θ между направлением поля и перпендикуляром к проводящим слоям описывается обычным для цилиндрической поверхности Ферми соотношением

$$F(\theta) = F(0) / \cos \theta \approx 675 \text{ [Тл]} / \cos \theta.$$

Величина $F(0) \approx 675$ Тл, определяющая площадь сечения цилиндра проводящей плоскостью, хорошо согласуется с результатами работы [5] и почти на 20 % больше величины, предсказанной теоретически [7]. Циклотронная масса носителей, связанных с цилиндрической частью поверхности Ферми, была вычислена из температурной зависимости амплитуды осцилляций де Гааза–ван Альфена и составила величину

$$\mu = m^* / m_0 = 1.09 \pm 0.02$$

при поле, параллельном оси цилиндра (m^* — эффективная масса электрона, m_0 — масса свободного электрона).

Угловая зависимость амплитуды осцилляций де Гааза–ван Альфена, изображенная на рис. 2, содержит ряд минимумов. Минимум при $\theta = 0$ связан с особенностями методики измерений [6]. Природа минимумов при $\theta = -32.3, -54^\circ$ окончательно не ясна, но, вероятнее всего, связана с гофрировкой цилиндрической поверхности Ферми. Минимумы при $\theta = \pm 43.2, \pm 64.6, \pm 72.0^\circ$ являются так называемыми спиновыми нулями и связаны с расщеплением

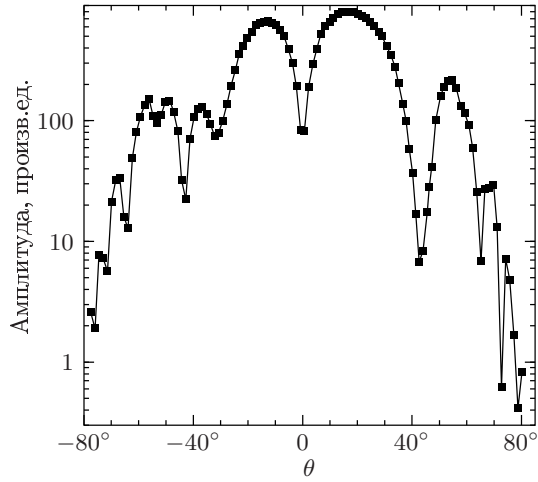


Рис. 2. Угловая зависимость амплитуды осцилляций де Гааза-ван Альфена в α -(BETS)₂TlHg(SeCN)₄ при $T = 0.45$ К

уровней Ландау в магнитном поле [8]. Такие нули существуют при условии

$$\cos(\pi p g / 2) = 0,$$

где p — номер гармоники, g — g -фактор. Наличие трех спиновых нулей и предположение, что эффективная масса связана с углом θ обычным для цилиндрической поверхности Ферми соотношением $\mu(\theta) = \mu(0) / \cos \theta$, позволяет для первой гармоники однозначно и с хорошей точностью вычислить расщепляющий фактор:

$$S = \frac{g\mu(0)}{2} = \frac{(2n + 1) \cos \theta_n}{2} = 1.09 \pm 0.03,$$

где θ_n — положение спиновых нулей и $n = 1, 2, 3$. Таким образом в пределах ошибок измерений

$$S \approx \mu(0). \tag{1}$$

Учет влияния многочастичных взаимодействий для расщепляющего фактора дается выражением [8]

$$S = \frac{g\mu(0)}{2} = \frac{\mu_c(0)g_s(1 + \gamma)}{2(1 + \gamma')}, \tag{2}$$

где $\mu_c(0)$ — относительная зонная масса, зависящая только от дисперсионного закона, g_s — g -фактор, определенный из ЭПР ($g_s \approx 2$ для известных органических металлов [1]), γ — электрон-электронная поправочная константа для эффективной массы и γ' — электрон-электронная поправочная константа

для g -фактора. В то же время выражение для эффективной массы с учетом многочастичных взаимодействий, вычисленной из температурной зависимости амплитуды осцилляций, имеет вид [8]

$$\mu(0) = \mu_c(0)(1 + \gamma)(1 + \lambda), \tag{3}$$

где λ — электрон-фононная константа для массы. Самым естественным способом удовлетворить соотношению (1), учитывая (2) и (3), можно, предположив $\gamma = \gamma' = \lambda = 0$, т. е. многочастичные взаимодействия отсутствуют или очень сильно ослаблены. В этом случае эффективная масса равна зонной. В принципе, соотношение (1) могло бы быть удовлетворено при случайной комбинации трех констант и зонной массы. В пользу этого может говорить теоретическая оценка зонной массы, $\mu_c(0) \approx 0.6$ [7]. Однако ранее было показано, что соотношение (1) выполняется для изоструктурного комплекса α -(BETS)₂TlHg(SeCN)₄ [9] и, что более важно, для комплекса κ -(BETS)₂GaCl₄ [10], имеющего иную кристаллическую и электронную структуры. Ситуация, когда во всех трех соединениях соотношение (1) выполняется за счет случайных комбинаций упомянутых констант, представляется маловероятной. Поэтому предположение о радикальном ослаблении многочастичных взаимодействий в α -(BETS)₂TlHg(SeCN)₄ кажется вполне оправданным. В этом случае легко объяснимо отсутствие сверхпроводящего и пайерлсовского переходов в исследованном металле.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (проект 00-02-04019 DFG), NWO и Российской программы «Физика квантовых и волновых процессов».

ЛИТЕРАТУРА

1. J. Wosnitzer, *Fermi Surface of Low Dimensional Metals and Superconductors*, Springer-Verlag, Berlin (1996); M. V. Kartsovnik and V. N. Laukhin, *J. Phys. I France* **6**, 1753 (1996); J. Singleton, *Rep. Prog. Phys.* **63**, 1111 (2000).
2. M. V. Kartsovnik, W. Biberacher, E. Steep, P. Christ, K. Andres, A. G. M. Jansen, and H. Müller, *Synt. Metals* **86**, 1933 (1997).
3. P. Christ, W. Biberacher, M. V. Kartsovnik, E. Steep, E. Balthes, H. Weiss, and H. Müller, *Письма в ЖЭТФ* **71**, 437 (2000); D. Andres, M. V. Kartsovnik, W. Biberacher, H. Weiss, E. Balthes, H. Müller, and N. D. Kushch, submitted to *Phys. Rev. Lett.* (2001).

4. H. H. Wang, K. D. Carlson, U. Geiser, W. K. Kwok, M. D. Washon, J. E. Thompson, N. F. Larsen, G. D. McGabe, R. S. Hulscher, and J. M. Williams, *Physica C* **166**, 57 (1990).
5. S. A. Ivanov, C. H. Mielke, T. Coffey, D. A. Howe, C. C. Agosta, B. W. Fravel, and L. K. Montgomery, *Phys. Rev. B* **55**, 4191 (1997).
6. P. Christ, W. Biberacher, H. Müller, and K. Andres, *Sol. St. Comm.* **98**, 451 (1994).
7. D. K. Seo, M. H. Whangbo, B. Fravel, and L. K. Montgomery, *Sol. St. Comm.* **100**, 191 (1996).
8. D. Shoenberg, *Magnetic Oscillations in Metals*, Cambridge University Press (1984).
9. S. I. Pesotskii, R. B. Lyubovskii, V. I. Nizhankovskii, W. Biberacher, M. V. Kartsovnik, K. Andres, J. A. A. J. Perenboom, N. D. Kushch, E. B. Yagubskii, and H. Kobayashi, *ЖЭТФ* **90**, 527 (2000).
10. С. И. Песоцкий, Р. Б. Любовский, М. В. Карцовник, В. Биберахер, К. Андрес, Н. Д. Куш, Х. Кобаяши, А. Кобаяши, *ЖЭТФ* **115**, 205 (1999).