

АНОМАЛЬНАЯ ПОЛЕВАЯ ЗАВИСИМОСТЬ ВРЕМЕНИ РЕЛАКСАЦИИ ЯДЕРНЫХ СПИНОВ В ОРГАНИЧЕСКОМ ПРОВОДНИКЕ $(\text{ET})_4\text{Hg}_{2,89}\text{Br}_8$

А.В.Скрипов, А.П.Степанов, В.А.Мержанов¹⁾,
Р.Н.Любовская¹⁾, Р.Б.Любовский¹⁾

Обнаружен линейный рост скорости спин-решеточной релаксации ядер ^1H при увеличении магнитного поля в квазидвумерном органическом проводнике $(\text{ET})_4\text{Hg}_{2,89}\text{Br}_8$ с двумя несоизмеримыми подрешетками.

Ряд органических проводников на основе бис- (этилендитио)тетрагиафульвалена (ET) переходит в сверхпроводящее состояние при атмосферном давлении^{1,2}. Хотя эти соединения типа $(\text{ET})_2\text{X}$ ($\text{X} = \text{I}_3, \text{IBr}_2, \text{AuI}_2, \text{Cu}(\text{SCN})_2$) обнаруживают сильную анизотропию свойств, они являются трехмерными сверхпроводниками³. Недавно был синтезирован органический проводник $(\text{ET})_4\text{Hg}_{2,89}\text{Br}_8$, имеющий две несоизмеримые подрешетки и проявляющий свойства двумерного сверхпроводника с $T_c = 4,3 \text{ K}$ ^{4,5}. Как показано в^{6,7}, информация о размерности электронного спектра может быть получена из измерений времени спин-решеточной релаксации ядер T_1 в различных магнитных полях H . В настоящей работе изучены статическая магнитная восприимчивость χ в интервале 1,3 – 300 К и T_1 ядер ^1H в $(\text{ET})_4\text{Hg}_{2,89}\text{Br}_8$ в интервале 4,5 – 310 К на частотах 33, 45, 64 и 90 МГц ($H = 7,8; 10,6, 15,0$ и $21,1$ кЭ, соответственно). Измерения χ проводились методом Фарадея в полях до 10 кЭ. Измерения T_1 выполнены на импульсном спектрометре ядерного магнитного резонанса SXP фирмы "Брукер". Образец представлял собой набор случайно ориентированных монокристаллов общей массой 20 мг.

На рис. 1 показана температурная зависимость спиновой магнитной восприимчивости χ_s , которая получена путем вычитания из измеренных значений χ диамагнитного вклада заполненных электронных оболочек ($\chi_d = -2,87 \cdot 10^{-4} \text{ см}^3/\text{моль}$ по правилам Паскаля) и небольшого примесного ферромагнитного вклада, соответствующего наличию в образце *brtt* Fe. Как видно из рис. 1, величина χ_s обнаруживает довольно сильную температурную зависимость с максимумом вблизи 30 К. Ниже 3,5 К в восприимчивости появляется диамагнитный вклад, зависящий от величины H и связанный, очевидно, с возникновением сверхпроводимости. Поведение $\chi_s(T)$ в $(\text{ET})_4\text{Hg}_{2,89}\text{Br}_8$ существенно отличается от соответствующей зависимости в изоструктурном соединении $(\text{ET})_4\text{Hg}_{3-\delta}\text{Cl}_8$ ⁸.

На рис. 2 показана температурная зависимость T_1^{-1} в $(\text{ET})_4\text{Hg}_{2,89}\text{Br}_8$ в поле 21,1 кЭ. Выше 170 К скорость релаксации быстро возрастает и обнаруживает максимум вблизи 290 К. Такое поведение T_1^{-1} , наблюдавшееся и в других органических проводниках на основе ET^{9,10}, связано с модуляцией межядерного диполь-дипольного взаимодействия при термически активированных колебаниях молекул ET. Нам будет больше интересовать область $T < 170 \text{ K}$, где доминирующим механизмом релаксации является взаимодействие ядерных спинов с электронами проводимости. Для обычных металлов в этой области наблюдается температурная зависимость корринговского типа ($T_1^{-1} \propto T$), причем скорость релаксации не зависит от магнитного поля. Корринговское поведение T_1^{-1} при низких температурах обнаружено и в исследованных ранее органических проводниках на основе ET^{9,10}. Для $(\text{ET})_4\text{Hg}_{2,89}\text{Br}_8$ температурная зависимость T_1^{-1} нелинейна и, кроме того, наблюдается сильный рост T_1^{-1} при увеличении H (см. врезку к рис. 2). Как видно из рис. 3, в исследованном интервале магнитных полей зависимость $T_1^{-1}(H)$ при различных температурах может быть аппроксимирована линейными функциями.

¹⁾ Институт химической физики АН СССР

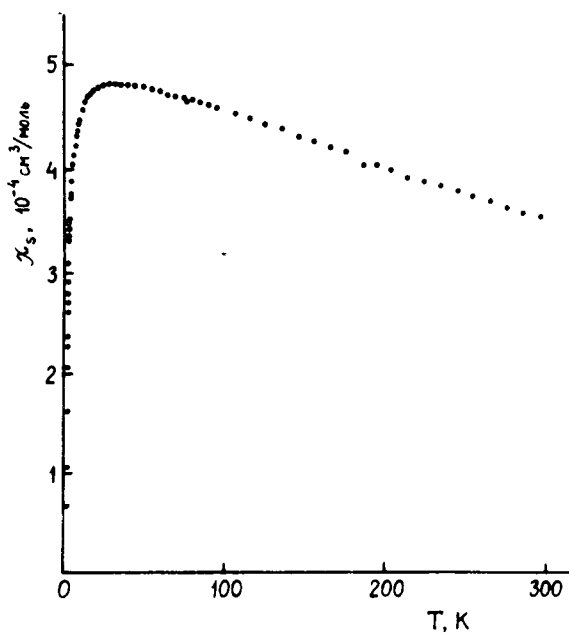


Рис. 1

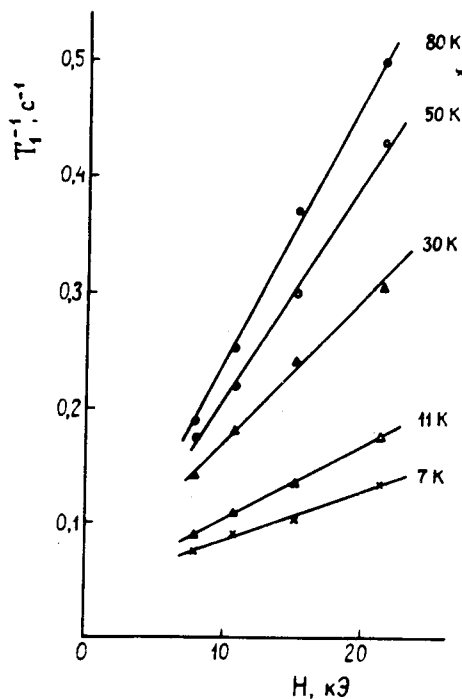


Рис. 3

Рис. 1. Температурная зависимость спиновой магнитной восприимчивости $(\text{ET})_4\text{Hg}_{2,89}\text{Br}_8$

Рис. 3. Зависимость T_1^{-1} от магнитного поля при различных температурах

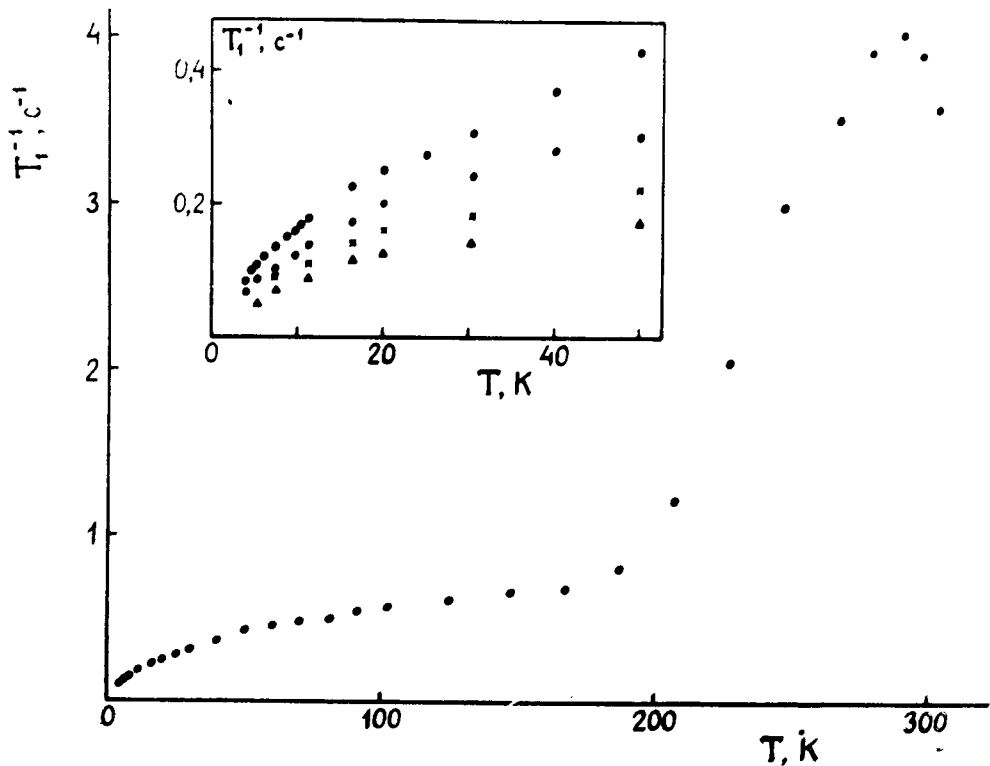


Рис. 2. Температурная зависимость T_1^{-1} ядер ^1H в поле 21,1 кЭ. Врезка: низкотемпературная часть зависимости $T_1^{-1}(T)$ при $H = 7,8$ (▲), 10,6 (×), 15,0 (○) и 21,1 кЭ (●)

Подобная полевая зависимость скорости спин-решеточной релаксации в металле является совершенно необычной. Возможные дополнительные каналы релаксации (например, связанные с низкочастотными флуктуациями сверхтонких магнитных полей или с присутствием парамагнитных примесей) приводят только к уменьшению T_1^{-1} с ростом H . Особенности спиновой диффузии в квазиодномерных и квазидвумерных металлах ^{6, 7} также должны приводить к уменьшению T_1^{-1} с ростом H . Для получения дополнительной информации о механизме спин-решеточной релаксации полезно проанализировать экспериментальные данные на основе обобщенного соотношения Корринги

$$T_1^{-1} = \frac{4\pi k_B T}{(g \mu_B)^2 \hbar} \chi_s^2 a_H^2 F, \quad (1)$$

где a_H — константа сверхтонкого взаимодействия, g — электронный g -фактор, μ_B — магнетон Бора, F — фактор усиления. Температурная зависимость χ_s при $T > 30$ К может (по крайней мере, качественно) объяснить отклонения от линейного вида зависимости $T_1^{-1}(T)$. Если использовать оценку $a_H \approx 10^{-10}$, то при низких температурах и $H = 21,1$ кЭ получим из (1) $F \gg 3$. С другой стороны, при экстраполяции данных по T_1^{-1} на $H = 0$ имеем значения $F < 1$, характерные как для обычных металлов, так и для исследованных ранее органических проводников $(\text{ET})_2\text{X}^{10}$. Таким образом, можно заключить, что для $(\text{ET})_4\text{Hg}_{2,89}\text{Vr}_8$ существует механизм усиления релаксации, эффективность которого растет с ростом магнитного поля.

Рост T_1^{-1} при увеличении H наблюдался ранее лишь для ядер ^{199}Hg в квазидвумерном металле $\text{Hg}_{3-\delta}\text{AsF}_6$ с несоизмеримой подрешеткой ртути ¹¹. Для объяснения этих данных был предложен ¹¹ механизм усиления T_1^{-1} , связанный с циклотронным движением электронов по орбитам очень малого радиуса, которые возникают из-за несоизмеримости цепочек Hg. Заметим, что такой механизм может работать лишь для чистых металлов, где $\omega_c \tau > 1$ (ω_c — циклотронная частота, τ — время релаксации импульса электрона). Хотя соединение $(\text{ET})_4\text{Hg}_{2,89}\text{Vr}_8$ также является квазидвумерным проводником и обладает несоизмеримой подрешеткой ртути, оно имеет низкую проводимость ⁴, и рассмотренное выше условие для него не должно выполняться. Для сильно разупорядоченных проводников характерно усиление T_1^{-1} при увеличении сопротивления ¹², однако рост T_1^{-1} при увеличении H не предсказывается. Таким образом, наблюдаемая полевая зависимость T_1^{-1} в $(\text{ET})_4\text{Hg}_{2,89}\text{Vr}_8$ вряд ли может быть объяснена на основе рассмотренных в литературе моделей. По-видимому, важную роль играет несоизмеримость двух подрешеток в этом соединении, что должно приводить к сложному виду поверхности Ферми. Возможной причиной усиления T_1^{-1} с ростом H являются эффекты частичной локализации электронных состояний несоизмеримого двумерного металла в магнитном поле. Дополнительную информацию о механизме релаксации могут дать измерения T_1 в более высоких магнитных полях.

Литература

1. Ягубский Э.Б., Шегелев И.Ф., Лаухин В.Н. и др. Письма в ЖЭТФ, 1984, 39, 12.
2. Urayama H., Yamochi H., Saito G. et al. Chem. Lett., 1988, 1, 55.
3. Буздин А.И., Булаевский Л.Н. УФН, 1984, 144, 415.
4. Любовская Р.Н., Жиляева Е.И., Заврыкина А.В. и др. Письма в ЖЭТФ, 1987, 45, 416.
5. Любовская Р.Н., Жиляева Е.И., Песоцкий С.И. и др. Письма в ЖЭТФ, 1987, 46, 149.
6. Deureux F., Nechtschein M. In: Quasi-Dimensional Conductors I. Berlin: Springer, 1979, p. 145.
7. Буздин А.И., Булаевский Л.Н. ЖЭТФ, 1979, 76, 1431.
8. Sekretarczyk G., Graja A., Pichet J. et al. J. de Phys., 1988, 49, 653.

9. Хейнмаа И.А., Алла М.А., Вайнруб А.М., Липмаа Э.Т. ЖЭТФ, 1986, 90. 1748.
10. Скрипов А.В., Степанов А.П. ФТТ, 1986, 28, 2338.
11. Ehrenfreund E., Ron A., Weger M. Phys. Rev. Lett., 1981, 47, 942.
12. Götze W., Ketterle W. Z. Phys. B, 1983, 54, 49.

Институт физики металлов

Уральское отделение Академии наук СССР

Поступила в редакцию

16 января 1989 г.