

АНИЗОТРОПИЯ МАГНИТОСОПРОТИВЛЕНИЯ И ОСЦИЛЛЯЦИИ ШУБНИКОВА – ДЕ ГААЗА В ОРГАНИЧЕСКОМ МЕТАЛЛЕ $\beta\text{-(ET)}_2\text{IBr}_2$

М.В.Карцовник¹⁾, П.А.Кононович, В.Н.Лаухин¹⁾,
И.Ф.Щеголев

Изучены полевые и угловые зависимости магнитосопротивления высокосовершенных монокристаллов $\beta\text{-(ET)}_2\text{IBr}_2$ в полях до 150 кЭ при $T = 1,45 \div 4,2$ К. Обнаружено два типа осцилляций Шубникова – де Гааза. Показано, что по крайней мере в сечении плоскостью ac^* поверхность Ферми открыта и заметно гофрирована вблизи направления c^* . Обнаружена сильная анизотропия поперечного магнитосопротивления в плоскости ab .

В настоящее время в литературе нет экспериментальных данных о виде поверхности Ферми (ПФ) органических сверхпроводников класса $(\text{ET})_2\text{X}$. В основном это связано с отсутствием достаточно совершенных монокристаллов, необходимых для большинства методов изучения ПФ. Прогресс в технике их выращивания привел недавно к обнаружению небольших шубниковских осцилляций в кристаллах $\beta\text{-(ET)}_2\text{IBr}_2$ ^{1,2}, $\beta\text{-(ET)}_2\text{I}_3$ ² и $(\text{ET})_2\text{Cu}(\text{SCN})_2$ ³ в поле $H \parallel c^*$. В настоящей статье мы сообщаем о подробном исследовании угловых и полевых зависимостей магнитосопротивления весьма совершенных монокристаллов $\beta\text{-(ET)}_2\text{IBr}_2$, обнаруживающих в полях ~ 150 кЭ при $T = 1,45$ К осцилляции Шубникова – де Гааза с относительной амплитудой до 2,5 %.

Измерения проводились на переменном токе частотой 11,7 Гц в сверхпроводящем соленоиде Международной лаборатории сильных магнитных полей и низких температур (г.Вроцлав, ПНР). Использовались кристаллы, метод синтеза и основные параметры которых описаны в⁴. Измерялось сопротивление двух образцов: одного – вдоль оси a , R_a , другого – вдоль направления c^* , R_c . Первый кристалл вращался вокруг направления b' (поле в плоскости ac^*), второй – либо вокруг направления b' , либо вокруг направления c^* (поле в плоскости ab)²⁾. Погрешность первоначальной ориентировки кристаллов не превышала $\pm 2^\circ$.

На рис. 1 показаны зависимости сопротивлений R_a (кривая 1) и R_c (кривая 2) от угла φ между полем и направлением c^* при $T = 1,45$ К и $H = 150$ кЭ. Для обоих случаев характерна сильно немонотонная зависимость $R(\varphi)$. При уменьшении поля немонотонность сглаживается, однако положение локальных максимумов и минимумов остается неизменным. Полевые зависимости $R_a(H)$ при всех углах имеют тенденцию к насыщению, а в области углов вблизи $H \parallel c^*$ наблюдается даже небольшое падение сопротивления при $H > 100$ кЭ (см. рис. 2). На кривой $R_c(\varphi)$ заметен острый "зуб" вблизи $H \parallel a$, в районе которого $R \sim H^2$. Последнее свидетельствует о том, что ПФ открыта в направлении, близком к c^* .

На зависимостях $R_a(H)$ и $R_c(H)$ при $T < 4,2$ К и $H \gtrsim 70$ кЭ наблюдаются два типа осцилляций Шубникова – де Гааза (см. рис. 2): 1) медленные осцилляции с частотой $0,5 \text{ МГц}^{-1}$, наблюдаемые в интервале углов от 0 до $\pm 10^\circ$ и совпадающие с описанными в¹⁾; 2) быстрые осцилляции, наблюдаемые в широком интервале углов и испытывающие при некоторых углах характерные биения. При $H \parallel c^*$ частота быстрых осцилляций $F \approx 39 \text{ МГц}^{-1}$, что

¹⁾ Отделение Института химической физики АН СССР.

²⁾ $c^* \parallel [a \cdot b]$; $b' \parallel [a \cdot c^*]$

соответствует площади сечения ПФ $\sim 3,7 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-2}$ ($\sim 50\%$ от сечения зоны Бриллюэна плоскостью ab). Частота биений здесь $\sim 0,3 \text{ МГц}^{-1}$. Они, скорее всего, свидетельствуют о существовании двух близких по площади экстремальных сечений ПФ.

Амплитуда быстрых осцилляций немонотонно зависит от φ , достигая максимальных значений в точках локальных максимумов и вблизи локальных минимумов кривых $R_a(\varphi)$ и $R_c(\varphi)$ (точки A, B и им аналогичные на рис. 1). В этих точках биения отсутствуют. Абсолютный максимум амплитуды, $\sim 2,6\%$ от величины сопротивления, наблюдается в точке A . Частота здесь $\sim 40 \text{ МГц}^{-1}$, масса носителей, оцененная по температурной зависимости амплитуды,

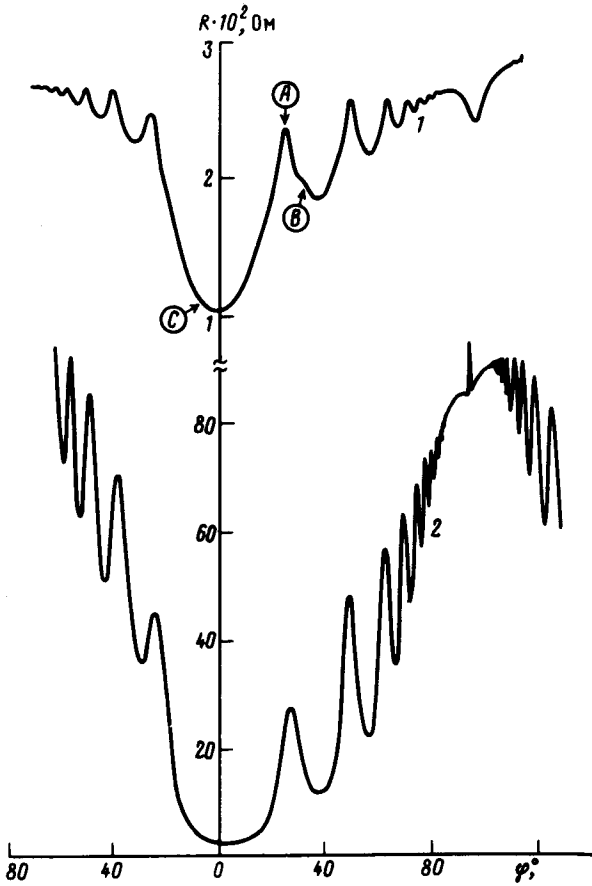


Рис. 1. Зависимость сопротивления R_a ($I \parallel a$, кривая 1) и R_c ($I \parallel c^*$, кривая 2) от угла φ между полем, лежащем в плоскости ac^* , и осью c^* : $H = 150 \text{ кЭ}$, $T = 1,45 \text{ К}$

$\sim 5 m_0$. По мере роста $|\varphi|$ амплитуда в характерных точках, аналогичных точкам A и B быстро падает. В окрестности точек A, B и C быстрые осцилляции проявляются и на угловых зависимостях $R_a(\varphi)$ (в масштабе рис. 1 они плохо различимы).

Угловая зависимость частоты F быстрых осцилляций показана в полярных координатах на рис. 3. На большей своей части она хорошо аппроксимируется прямой, соответствующей тому направлению поля, при котором наблюдается "зуб" на кривой 2 рис. 1. Это согласуется со сделанным выше выводом об открытости ПФ в направлении, близком к c^* . Волнообразный характер кривой $F(\varphi)$ в центральной ее части, указывает на гофрировку ПФ в этом направлении, которая приводит, с другой стороны, к немонотонности угловых зависимостей магнитосопротивления $R(\varphi)$ (см. рис. 1).

При вращении кристалла вокруг направления c^* (поле в плоскости ab) при $H = 150$ кЭ и $T = 1,45$ К сопротивление R_c меняется более, чем в 10 раз, что свидетельствует о заметной анизотропии свойств $\beta\text{-(ET)}_2\text{IBr}_2$ в плоскости ab . В такой ориентировке зависимости $R_c(H)$ при всех углах не показывают тенденции к насыщению и на них не обнаруживаются осцилляции. Это говорит в пользу того, что открытость ПФ вдоль направления c^* проявляется в любых сечениях.

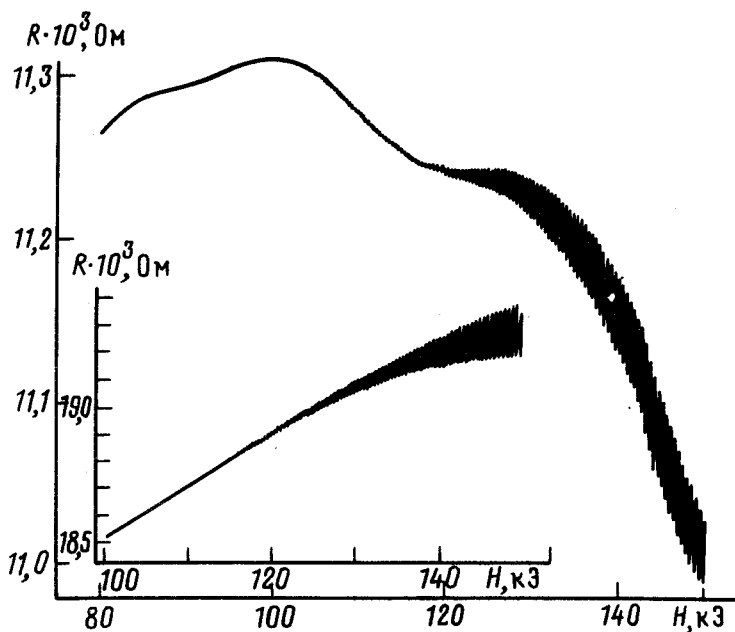


Рис. 2. Зависимость сопротивления R_a в точке C на рис. 1. На вставке показана соответствующая кривая для $t. B$

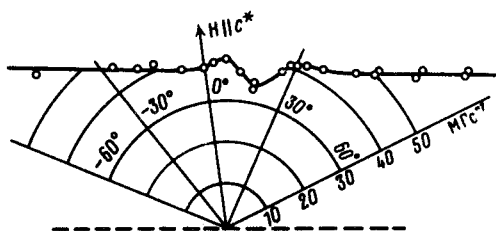


Рис. 3. Полярная диаграмма зависимости частоты F быстрых шубниковских осцилляций от угла φ между полем, лежащем в плоскости ac^* и осью c^* . Пунктиром показано направление, соответствующее "зубу" на кривой $R_c(\varphi)$, (рис. 1)

Зависимость $R_a(H)$ при $H \parallel c^*$ в полях выше 150 кЭ изучалась недавно в ². Авторы ² не наблюдают тенденции к насыщению R_a вплоть до 270 кЭ. Не наблюдаются также медленные осцилляции Шубникова — де Гааза. Частота же быстрых осцилляций примерно вдвое

ниже, чем их минимальная частота у нас, а амплитуда слабо зависит от магнитного поля. В настоящее время нам не ясны причины столь радикальных расхождений между нашими результатами и результатами работы ². Отметим также, что наше заключение о существовании замкнутых орбит на ПФ в плоскости ab , охватывающих $\sim 50\%$ соответствующего сечения зоны Бриллюэна, противоречит результатам расчета ⁵.

Выражаем глубокую благодарность Н.Е.Алексеевскому и Т.Палевскому за поддержку работы, Э.Б.Ягубскому и Е.Э.Лаухиной за предоставление высокосовершенных монокристаллов, Д.Е.Хмельницкому и Е.П.Вольскому за полезные дискуссии.

Литература

1. Карцовник М.В., Лаухин В.Н., Нижанковский В.И., Игнатьев А.А. Письма в ЖЭТФ, 1988, 47, 302.
2. Murata K., Toyota N., Honda Y. et al. J. Phys. Soc. Jap. 1988, 57, 1540.
3. Oshima K., Mori T., Inokuchi H. et al. Phys. Rev., B, 1988, 37, 401.
4. Авраменко Н.В., Зварыкина А.В., Лаухин В.Н. и др. Письма в ЖЭТФ, 1988, 48, 429.
5. Kübler J., Weger M., Sommers C.B. Sol. St. Comm., 1987, 62, 801.

Институт физики твердого тела
Академии наук СССР

Поступила в редакцию
28 октября 1988 г.