

ОСОБЕННОСТИ ЭФФЕКТА СЛАБОЙ ЛОКАЛИЗАЦИИ 2D-ДЫРОК НА ПОВЕРХНОСТИ (10 $\bar{1}$ 0) ТЕЛЛУРА (РОЛЬ АНИЗОТРОПИИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО СПЕКТРА)

В.А.Березовец, Ю.Б.Лянда-Геллер, А.О.Смирнов, И.И.Фарбитштейн

*Физико-технический институт им. А.Ф.Иоффе РАН
194021 Санкт-Петербург, Россия*

Поступила в редакцию 11 октября 1993 г.

Исследовалась проводимость системы двумерных (2D) дырочных носителей заряда в аккумулирующем размерно-квантованном слое на поверхности (10 $\bar{1}$ 0) кристалла теллура при температурах 1,3 ÷ 4,2 К. В области слабых магнитных полей обнаружено аномальное положительное магнитосопротивление, интерпретированное в рамках теории слабой локализации взаимодействующих между собой частиц, модифицированной с учетом анизотропии зонного спектра теллура. Выявлена особая роль в процессах слабой локализации 2D-дырок на поверхности теллура смена фазы волновой функции частиц при междолинных переходах.

Квантовые поправки к проводимости 2D-дырок на поверхности теллура были обнаружены при исследовании 2D-слоя на кристаллографической плоскости (0001) при сверхнизких температурах [1]. Для интерпретации эффекта использовалась теория слабой локализации взаимодействующих между собой частиц [2]. При этом оказалось необходимо учесть особенности зонного спектра теллура [3]: снятое спиновое вырождение, многодолинный характер валентной зоны и тригональное искажение траектории Ферми на плоскости (0001), пропорциональное γk_{\perp}^3 . Было выяснено, что значение коэффициента γ фактически определяет знак и величину аномального магнитосопротивления 2D-слоя на исследованной плоскости [1,4].

В данной работе сообщается об исследовании кинетических явлений в классически слабых магнитных полях в дырочном 2D-слое, созданном на грани теллура с кристаллографическими индексами (10 $\bar{1}$ 0), на которой тригональное искажение фермиевских траекторий дырок отсутствует. Вследствие наличия в законе дисперсии валентной зоны теллура линейного по квазиимпульсу члена $\xi = Ak_z$ фермиевские траектории 2D-дырок на этой плоскости при не слишком малых энергиях имеют гантелеобразный вид [3]. При исследовании осцилляций Шубникова-де Гааза в этой системе были надежно выявлены две 2D-подзоны с суммарной концентрацией дырок $\cong 4,5 \cdot 10^{12} \text{ см}^{-2}$ и обнаружен магнитный пробой шейки гантелеобразной траектории в 2D-подзоне с малой энергией Ферми [5,6].

Аккумулирующий слой на поверхности (10 $\bar{1}$ 0) создавался по той же технологии, что и в работе [1]. Эксперимент проводился на автоматизированной установке стационарного магнитного поля, обеспечивающей высокую разрешающую способность при пониженном уровне шумов [6].

На рис. 1 представлена зависимость проводимости образца с аккумулирующим слоем на поверхности (10 $\bar{1}$ 0) от магнитного поля, перпендикулярного этой поверхности, при гелиевых температурах. Видно, что в слабых поперечных магнитных полях наблюдается положительное магнитосопротивление (проводимость уменьшается в магнитном поле), возрастающее с понижением

температуры. Наблюдаемый эффект характеризуется как аномальный, поскольку его величина значительно превышает классическое магнитосопротивление, рассчитанное исходя из найденных в работе [6] величин подвижностей $2D$ -дырок. Проводимость исследуемого образца логарифмически уменьшалась с температурой (врезка на рис.1).

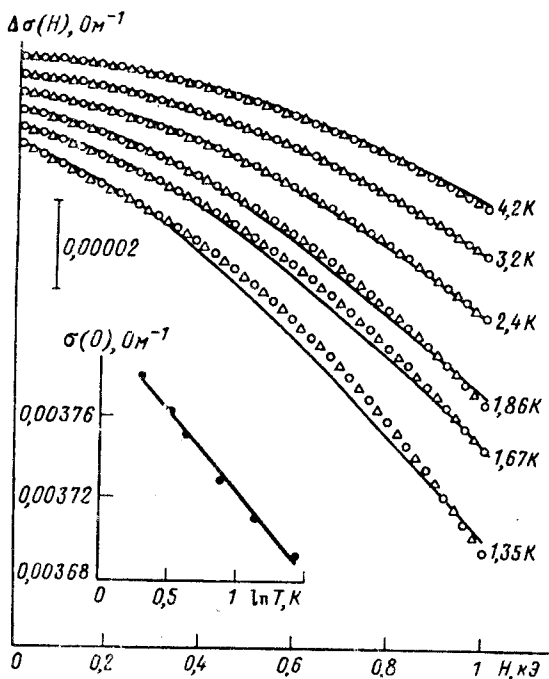


Рис.1. Изменение проводимости в магнитном поле у образца теллура с $2D$ -слоем на поверхности $(10\bar{1}0)$ при разных температурах (кривые - эксперимент, Δ - расчет по (1) при $H_{\parallel} = H_{\gamma\beta}$, \circ - расчет по (1) при $H_{\parallel} \neq H_{\gamma\beta}$. На врезке: температурная зависимость того же образца теллура (\bullet - эксперимент, сплошная линия - линейная аппроксимация). Проводимость рассчитана на единицу площади

Обнаруженные зависимости проводимости $2D$ -слоя от магнитного поля и температуры являются характерным проявлением квантовых поправок к сопротивлению, в частности, эффекта слабой локализации невзаимодействующих между собой частиц.

Для понимания специфики проявления эффекта слабой локализации в теллуре в дырочной $2D$ -системе на поверхности $(10\bar{1}0)$ необходимо детально рассмотреть особенности анизотропии его зонного спектра.

Сильное спин-орбитальное взаимодействие в теллуре полностью снимает спиновое вырождение. Экстремумы валентной зоны расположены в вершинах шестигранной призмы зоны Бриллюэна теллура - точках M и P , переходящих одна в другую при операции инверсии времени. Волновые функции в этих экстремумах являются суперпозицией состояний с проекцией момента количества движения $M_z = \pm 3/2$ на ось z , параллельную оси третьего порядка C_3 . Это определяет сильную анизотропию поверхностей Ферми дырок в теллуре и, соответственно, различие контуров Ферми двумерных дырок на различных кристаллографических поверхностях.

Слаболокализационная поправка к проводимости определяется суммой $C_{MM} = C_{PP}$ куперонов, составленных из волновых функций одной и той же долины M или P , а также $C_{MP} = C_{PM}$ куперонов, недиагональных по долинам. Магнитосопротивление в двумерном случае описывается соотношением

$$\frac{\Delta\sigma(H)}{\sigma_0} = f_2 \left(\frac{H}{H_\phi + H_v + H_{\gamma\xi}} \right) + \frac{1}{2} f_2 \left(\frac{H}{H_\phi + 2H_v} \right) - \frac{1}{2} f_2 \left(\frac{H}{H_\phi} \right), \quad (1)$$

где $\sigma_0 = e^2/2\pi^2\hbar$, $f_2 = \ln x + \Psi(1/2 + 1/x)$, Ψ – дигамма функция. Характерные магнитные поля H_ϕ , H_v , $H_{\gamma\xi}$ связаны с временами релаксации фазы τ_α , определяющими разрушение когерентности частиц: $H_\alpha = \hbar c/4eD\tau_\alpha$ ($\alpha = \phi, v, \gamma\xi$), где D – коэффициент диффузии.

Сбой фазы в (1) определяется временем неупругого рассеяния τ_ϕ , а также упругими временами τ_v и $\tau_{\gamma\xi}$, отвечающими междолинному переходу. Величина $1/\tau_{\gamma\xi}$ в общем случае является суммой двух составляющих [4]. Первая составляющая связана с асимметрией спектра вследствие тригонального искажения поверхности Ферми и пропорциональна γ^2 . Другая ($1/\tau_-$) зависит от величины линейного по k_z члена ξ и обусловлена тем, что состояние в каждой из долин является суперпозицией состояний с проекцией момента количества движения $M_z = \pm 3/2$: одному из направлений импульса отвечает преимущественно положительное значение проекции, другому направлению – отрицательное. Упругое рассеяние, даже не зависящее от спина, изменяет импульс частицы и соотношение вкладов различных проекций момента в электронную волновую функцию. Аналогично упругому рассеянию при наличии зависящего от импульса расщепления спектра, такой процесс приводит к сбою фазы [4]. Соответствующее время $1/\tau_-$ порядка времени междолинного перехода, который в теллуре возможен только в меру смешивания двух проекций M_z при импульсе, отличном от нуля. В случае двумерного газа дырок на поверхности теллура (10 $\bar{1}0$) тригональное искажение контура Ферми отсутствует и время $\tau_{\gamma\xi}$ полностью определяется временем τ_- .

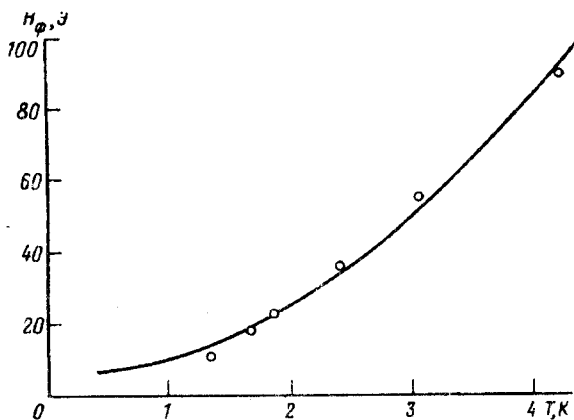


Рис.2. Температурная зависимость экспериментально найденного параметра $H_\phi(0)$; кривая – аппроксимация функцией вида $A_\phi T^2 + H_\phi(0)$ ($A_\phi = 5\text{Э}/\text{K}^2$, $H_\phi(0) = 5\text{Э}$)

Путем сопоставления экспериментальных зависимостей $\Delta\sigma(H, T)$ с выражением (1) методом наименьших квадратов были найдены значения входящих в него параметров в двух предположениях: 1) величины $H_{\gamma\xi}$ и H_v различны и 2) – равны. При этом вклад классического магнитосопротивления учитывался введением дополнительного члена типа bH^2 . Представленные на рис.1 данные позволяют сделать вывод, что, в соответствии с теоретическими представлениями, величины $H_{\gamma\xi}$ и H_v практически совпадают. Наилучшее согласие получено при $H_{\gamma\xi} \cong H_v \cong 300\text{Э}$ ($T = 1,3 \div 4,2\text{K}$). Величина $H_z(1,3\text{K}) = 10\text{Э}$,

и ее температурная зависимость может быть аппроксимирована выражением $H_\phi(T) = A_\phi T^2 + H_\phi(0)$, где $A_\phi = 5 \text{ Э/К}^2$, $H_\phi(0) = 5 \text{ Э}$ (рис.2). Квадратичный характер зависимости $H_\phi(T)$ указывает, по-видимому, на существенную роль в процессах сбоя фазы для данной ориентации электрон-электронного взаимодействия.

Проведенное в данной работе исследование аномального магнитосопротивления $2D$ -дырочного газа на поверхности $(10\bar{1}0)$ теллура демонстрирует важнейшую роль, которую играют особенности зонной структуры в эффектах слабой локализации частиц.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (код проекта 93-02-2669).

-
1. В.А.Березовец, И.И.Фарбштейн, А.Л.Шеланков, Письма в ЖЭТФ **38**, 64 (1984).
 2. Б.Л.Альтшулер, А.Г.Аронов, А.И.Ларкин, Д.Е.Хмельницкий, ЖЭТФ **81**, 768 (1981).
 3. М.С.Бреслер, В.Г.Веселаго, Ю.В.Косичкин и др., ЖЭТФ **57**, 1479 (1969).
 4. A.L.Shelankov, Sol. St. Commun. **53**, 465 (1985).
 5. В.А.Березовец, А.О.Смирнов, И.И.Фарбштейн, ФТТ **30**, 2218 (1988).
 6. В.А.Березовец, Д.В.Машовец, А.О.Смирнов и др., ФТТ **33**, 3502 (1991).