

Сингулярность плотности состояний и анизотропия транспорта в 2D электронном газе со спин-орбитальным взаимодействием в параллельном магнитном поле

В.А. Саблик^{*}, Ю.Я. Ткач[§]

Институт радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова РАН, пл. Академика Введенского, 1, Фрязино, Московской обл., 141190.

*sablikov@gmail.com, §utkach@gmail.com

2D электронный газ со спин-орбитальным взаимодействием в параллельном магнитном поле образует анизотропную систему с сингулярностью Ван Хоа плотности состояний, управляемую магнитным полем. Мы исследовали тензоры проводимости и спиновой восприимчивости, определяющей эффект Эдельштейна. В зависимости от магнитного поля или положения уровня Ферми проводимость и спиновая восприимчивость имеют резкие особенности в виде глубокого провала, образующегося, когда уровень Ферми проходит через точку сингулярности.

Введение

Доклад посвящен исследованию анизотропного транспорта в двумерном (2D) электронном газе со спин-орбитальным взаимодействием (СОВ) при наличии параллельного магнитного поля. Интерес к этой системе вызван двумя причинами. Во-первых, она моделирует анизотропию электронной системы с СОВ, возникающую вследствие сильного электрон-электронного взаимодействия без внешнего магнитного поля [1], но в отличие от нее допускает относительно простое решение. Во-вторых, в последнее время транспорт в параллельном магнитном поле становится важным инструментом экспериментального исследования 2D электронных систем с сильным СОВ.

Сингулярность плотности состояний

При отсутствии магнитного поля плотность состояний в 2D электронный газ с СОВ имеет сингулярность типа $D(E) \sim (E + E_{so})^{-1}$ на дне зоны, где E_{so} – характерная энергия СОВ.

В параллельном магнитном поле структура зонного спектра изменяется, как показано на рис. 1. Образуется седловая точка и упомянутая сингулярность превращается в сингулярность Ван Хоа в плотности состояний [2]. В пространстве импульсов седло расположено на оси перпендикулярной магнитному полю \mathbf{B} . Энергия седловой точки зависит от магнитного поля и с увеличением B изменяется от дна зоны до дираковской точки при определенной ве-

личине B , зависящей от величины СОВ, а далее сингулярность отсутствует.

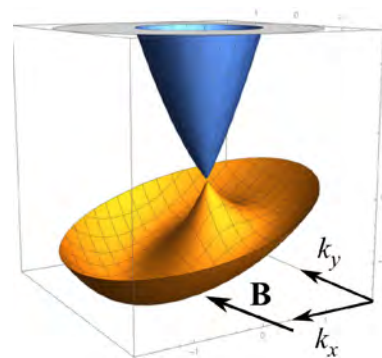


Рис. 1. Спектр 2D электронов с СОВ в параллельном магнитном поле

Благодаря сингулярности плотности состояний возникают особенности транспорта, проявляющиеся в зависимостях проводимости и спиновой восприимчивости от энергии Ферми и от магнитного поля. При этом существенным оказывается влияние сингулярности как на плотность состояний, участвующих в транспорте электронов, но и на вероятность рассеяния.

Анизотропия и особенности транспорта

Транспорт изучен на основе квазиклассического кинетического уравнения, при решении которого важным моментом является учет процессов рассеяния в условиях анизотропии. В анизотропной системе приближение времени релаксации становится несправедливым [3]. Поэтому расчеты проведены

путем решения кинетического уравнения со столкновительным членом в интегральной форме для рассеяния на немагнитных дефектах с короткодействующим потенциалом.

Изучены проводимость и спиновая поляризация, индуцированная электрическим током (эффект Эдельштейна [4]). Тензор проводимости G_{ij} диагонален в системе координат с осью x вдоль магнитного поля. Если электрическое поле направлено под углом к магнитному, то возникает планарный эффект Холла, величина которого зависит от этого угла.

Диагональные компоненты проводимости в зависимости от магнитного поля или положения уровня Ферми имеют резкий провал, когда уровень Ферми находится вблизи точки сингулярности Ван Хофа, рис. 2. Спиновая восприимчивость, которая определяется как коэффициент, связывающий спиновую плотность и электрическое поле $S_i = \sum_j \chi_{ij} E_j$, обладает подобными особенностями.

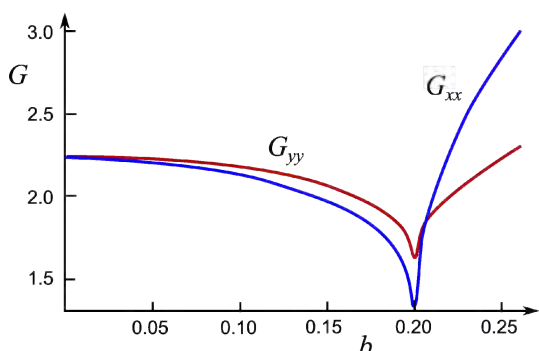


Рис. 2. Зависимость проводимости от магнитного поля (в относительных единицах)

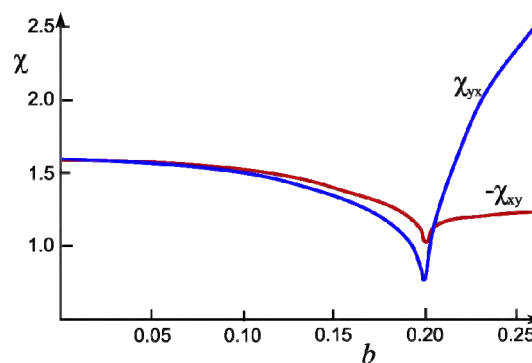


Рис. 3. Зависимость спиновой восприимчивости от магнитного поля (в относительных единицах)

В этом случае однако диагональные компоненты χ_{ij} в главных осях равны нулю, а недиагональные имеют провал при условии, когда уровень Ферми лежит вблизи седловой точки, рис. 3. Особенности транспорта (анизотропия проводимости и планарный эффект Холла, а также резкий провал проводимости, связанный с сингулярностью Ван Хофа) управляются магнитным полем и могут использоваться для исследования электронного спектра в системах с сильным СОВ.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (проект № 17-02-00309) и программ РАН.

Литература

1. E. Berg, M.S. Rudner, S.A. Kivelson // *Physical Review B*, V. 85, 035116 (2012).
2. Ю.Я. Ткач // *Письма в ЖЭТФ*, том **104**, вып. 2, с. 103 – 107 (2016).
3. K. Vyborny, A.A. Kovalev, J. Sinova, T. Jungwirth // *Physical Review B*, V. 79, 045427 (2009).
4. V. Edelstein // *Solid State Communications*, V. 73, 233 (1990).