Демонстрация топологической защиты как фазово-когерентного явления

Петруша С.В.^{1,2}, Тихонов Е.С.^{1,2}, Квон З.Д.^{3,4}, Михайлов Н.Н.^{3,4}, Дворецкий С.А.³,
Храпай В.С.^{1,2}

¹ *Institute of Solid State Physics, Russian Academy of Sciences, Chernogolovka 142432, Russia*

² *Moscow Institute of Physics and Technology, Dolgoprudny 141700, Russia*

³ *Institute of Semiconductor Physics, Novosibirsk 630090, Russia*

⁴ *Novosibirsk State University, Novosibirsk 630090, Russia*

DOI 10.34077/Semicond2019-479

Одним из ключевых аспектов топологической зонной теории является предсказание существования геликальных поверхностных (в трехмерных системах) или краевых (в двумерных) состояний в топологических изоляторах (ТИ). Для таких электронных состояний предполагается топологическая защита относительно фазово-когерентного рассеяния назад. Данное предсказание имеет фундаментальное значение для краевых состояний в двумерных ТИ, так как наличие только некогерентного рассеяния назад предотвращает Андерсоновскую локализацию, неизбежную для обычных одномерных систем в пределе низкой температуры.

На сегодняшний день имеющиеся экспериментальные подтверждения существования топологической защиты остаются косвенными и неоднозначными. В то время, как нет сомнений в том, что в двумерных ТИ ток протекает по краю [1], сопротивление близкое к кванту $R_q = h/e^2$ наблюдается только для наиболее коротких образцов и с невысокой точностью [2][3]. При этом увеличение длины края приводит к линейному росту сопротивления, характерному для диффузионных проводников [4]. Отсутствие выраженной температурной зависимости, создает сложности в построении состоятельной модели сбоем фазы. Альтернативные к изучению сопротивления подходы, связанные с измерением дробового шума, не позволяют сделать однозначный вывод о природе краевого транспорта [5].

Данная работа [6] посвящена исследованию сопротивления образцов 14нм и 8.3нм квантовых ям HgTe с инвертированным спектром в магнитном поле. Изучались края длиной от ~1мкм до 30мкм, с сопротивлением (R) в нулевом магнитном поле (B) от R_q до $10R_q$. При низкой температуре T (<200 мК) и в малых полях B (~несколько десятков мТ), R резко возрастает до ~1 ГОм в случае квазибаллистических и 10 ГОм для резистивных краев, при этом электронный транспорт остается краевым. В магнитном поле температурная зависимость $R(T)$ имеет активационный характер. Величина энергии активации достигает нескольких десятков мкэВ, зависит от ширины квантовой ямы, поля и длины края и не имеет очевидной связи с одночастичным спектром. При этом в затворной характеристике наблюдаются значительные флуктуации во всем режиме двумерного ТИ, сопровождающиеся сильно нелинейными вольт-амперными характеристиками.

Таким образом, наш эксперимент демонстрирует Андерсоновскую локализацию геликальных краевых состояний, наступающую в конечном магнитном поле. Напротив, отсутствие локализации в нулевом поле является результатом топологической защиты краевых состояний от когерентного рассеяния назад при наличии симметрии по отношению к обращению времени. Мы полагаем, что этот результат крайне важен для всей физики ТИ, так как является первой прямой демонстрацией топологической защиты в двумерных ТИ как фазово-когерентного феномена.

[1] Roth, A. et al., *Science*, **325**, 294 (2009)

[2] Koenig, M. et al., *Science* **318**, 766 (2007)

[3] Olshanetsky, E. B. et al., *Physical Review Letters*, **114**, 126802 (2015)

[4] G.M. Gusev, Z.D. Kvon, E.B. Olshanetsky et al., *Physical Review B*, **89**, 125305 (2014)

[5] S.U. Piatrusha, V.S. Khrapai, Z.D. Kvon et al., *Physical Review B*, **96**, 245417 (2017)

[6] S.U. Piatrusha, E.S. Tikhonov, Z.D. Kvon et al., *arXiv:1902.09807* (2019)