

Реконструкция энергетического спектра на краю двумерной электронной системы с сильным спин-орбитальным взаимодействием.

Девятков Э.В. (ИФТТ РАН)

Исследование фазовых переходов, при которых происходит смена основного состояния двумерной системы в режиме квантового эффекта Холла (КЭХ), связанная со сменой спиновой либо изоспиновой поляризации, привлекает внимание на протяжении многих лет исследования низкоразмерных электронных систем в квантующих магнитных полях. Примерами таких фазовых переходов являются (i) переход [1] из спин-неполяризованного в наклонное антиферромагнитное состояние при общем факторе заполнения 2 в двуслойной электронной системе; (ii) переход [2,3] между спин-неполяризованным и полностью спин-поляризованным основным состоянием однослойной системы в режиме дробного квантового эффекта Холла при факторе заполнения $2/3$. В обоих случаях существенную роль играют электронные корреляции (межслоевые и внутрислоевые, соответственно).

Переходы такого рода возможны и в однослойных двумерных системах с сильным спин-орбитальным взаимодействием в режиме КЭХ при низких факторах заполнения. Одночастичный спектр двумерной электронной системы с спин-орбитальным взаимодействием типа Рашбы был получен в работе [4]. В пределе экстремально высоких магнитных полей этот спектр представляет собой хорошо известную лестницу уровней Ландау, расщеплённых по спину. Уменьшение магнитного поля эквивалентно адиабатическому включению спин-орбитального взаимодействия. Важно отметить, что спин-орбитальное взаимодействие влияет даже на систематику уровней. Таким образом, можно ожидать что энергетическая щель на уровне Ферми закроется при критических значениях магнитного поля B_1 и B_2 для факторов заполнения 1 и 2, соответственно. Эта простая одночастичная картина пересечения уровней может быть серьёзно модифицирована электрон-электронным взаимодействием, хотя бы потому что зеемановское расщепление чувствительно к увеличению за счёт обменных эффектов при нечётных факторах заполнения [5].

Для такого рода исследований наиболее подходящей является двумерная электронная система, созданная в узкой несимметричной квантовой яме $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ с высоким содержанием индия $x = 0.75$. Двумерный электронный газ в такой системе характеризуется (i) высокой подвижностью поскольку структура не имеет специального допирования; (ii) низкой электронной концентрацией, которой можно управлять в широких пределах с помощью внешнего затвора; (iii) сильным спин-орбитальным взаимодействием типа Рашбы; (iv) большим затравочным g -фактором, который подвержен дополнительному увеличению за счёт обменных эффектов $g^* < 30$.

Количественные измерения щели в спектре на уровне Ферми стандартными транспортными методами (активация, магнетоёмкость) в данной системе малоинформативны. $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ ($x=0.75$) квантовые ямы характеризуются длиннопериодной модуляцией концентрации In , что приводит к длиннопериодным флуктуациям потенциала в яме. В таких условиях стандартные количественные методики измерения щели дадут величину, усреднённую по площади образца.

Вместо этого мы выполнили локальные измерения щели в несжимаемой полоске электронной жидкости на краю образца с соответствующим фактором заполнения 1 и 2 в режиме КЭХ при помощи краевого транспорта. Эта методика [6] локальных измерений нечувствительна к таким флуктуациям: они только сдвигают положение несжимаемой полосы с данным локальным

фактором заполнения относительно края, что никак не проявляется в измерениях.

Экспериментально продемонстрирована одновременная реконструкция краевого и объёмного спектров, вызванная сильным спин-орбитальным взаимодействием для двух нижних факторов заполнения 1 и 2 для двумерного электронного газа в $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ квантовой яме с высоким содержанием индия $x = 0.75$. Реконструкция спектра имеет разный сценарий при этих факторах заполнения: область реконструкции спектра характеризуется занулением энергетической щели для фактора заполнения 2, в то время как при 1 реконструкция идёт через сосуществование двух фаз КЭХ, соответствующих $\nu=1$ состоянию с различными спиновыми проекциями. Анализ показывает сильное влияние многочастичных эффектов на реконструкцию спектра при $\nu=1$.

Частично эти результаты опубликованы в работе Phys. Rev. B 86, 125304 (2012)

Литература

1. Khrapai V. S., Deviatov E. V., Shashkin A. A., Dolgoplov V. T., Hastreiter F., Wixforth A., Campman K. L., and Gossard A. C., Canted Antiferromagnetic Phase in a Double Quantum Well in a Tilted Quantizing Magnetic Field // Phys. Rev. Lett. -- 2000. vol. 84, -- pp. 725-728.
2. Eisenstein J. P., Stormer H. L., Pfeiffer L. N., and West K. W., Evidence for a spin transition in the $2/3$ fractional quantum Hall effect // Phys Rev. B -- 1990. vol. 41 -- pp. 7910-7913;
3. Engel L. W., Hwang S. W., Sajoto T., Tsui D. C., and Shayegan M., Fractional quantum Hall effect at $2/3$ and $3/5$ in tilted magnetic fields // Phys Rev. B -- 1992. vol. 45, -- pp. 3418-3425 (1992).
4. Бычков Ю.А., Рашба Э.И., Свойства двумерного электронного газа со снятым вырождением спектра // Письма в ЖЭТФ, -- 1984. т. 39, -- С. 66-69.
5. Ando T. and Uemura Y., Theory of Oscillatory g Factor in an MOS Inversion Layer under Strong Magnetic Fields // J. Phys. Soc. Jpn. -- 1974. vol.37, -- pp. 1044-1052
6. Девятов Э.В., Краевые состояния в режимах целочисленного и дробного квантовых эффектов Холла // Успехи физических наук, т.177, №2, стр. 207 (2007)