Сверхдолгоживущие спиновые возбуждения в электронном двумерном газе

Дикман С.М.

ИФТТ РАН, Черноголовка, Московская область, 142432 Россия

DOI 10.34077/Semicond2019-196

Самым низко-энергетичным возбуждением в квантово-холловской системе при заполнении $\nu = 2$ является чисто электронный 'спин-циклотронный экситон' (СЦЭ), который формируется 'спин-перевернутым' электроном, возбужденным с нулевого на первый уровень Ландау и условной 'дыркой' – вакансией, возникающей на нулевом уровне. Энергия такого экситона отделена сверху от более высокой магнетоплазменной моды на величину отрицательного кулоновского сдвига ($\Delta E_C \sim 1\text{ мВ}$), а снизу от основного состояния на величину щели $\omega_c - \Delta E_C - \epsilon_Z \sim 5\text{--}7\text{ мВ}$ (см. Рис1). Пространственная дисперсия СЦЭ характеризуется плавным неглубоким минимумом при волновом векторе $q = q_0 \sim 1/l_B$ [$1\text{--}2$] (l_B – магнитная длина). При низких температурах (фактически при $T < 0.1\text{ К}$) СЦЭ может релаксировать (т.е. аннигилировать) только в случае испускания жестких акустических фононов [3]. Очень медленная релаксация объясняется главным образом тем, что, процесс испускания фонона/фононов затруднен из-за эффективно слабого электрон-фононного взаимодействия для коротких значений длин волн, соответствующих энергии аннигиляции СЦЭ. Теоретическая оценка дает при нулевой температуре значение времени жизни в несколько миллисекунд. Экспериментально показано, что уже при температурах $T > 0.4\text{ К}$ это время составляет 100 мкс [4-5], что, по-видимому, тоже является рекордным значением времени жизни для нелокализованных чисто электронных возбуждений, создаваемых в зоне проводимости. Плотный ансамбль СЦЭ с концентрацией, достигающей 10% от числа N_ϕ квантов магнитного потока, создается лазерной накачкой, соответствующей резонансной частоте возбуждения. Состояния ансамбля исследовались с помощью время-разрешающей техники фотоиндуцированного резонансного поглощения/отражения [4-5]. Внутри диапазона $0.4\text{ К} < T < 1\text{ К}$ при заданной концентрации экситонов, $n = N_x/N_\phi > 5\%$, наблюдалось резкое возрастание сигнала отражения для температур ниже некоторой пороговой величины $T_0 = T(n)$ [5], что объясняется квантовым фазовым переходом экситонного ансамбля из неупорядоченного состояния в некоторое когерентное состояние, предположительно бозе-эйнштейновский конденсат. Теория, в терминах так называемого 'экситонного представления' (см. [2-3]), описывает обе фазы в приближении невзаимодействующих СЦЭ, что дает возможность оценить энергию пространственной локализации СЦЭ, определяемую внешним случайным потенциалом (см. 'Supplementary Note 1' в [5]), и объяснить усиление примерно на порядок сигнала резонансного отражения при переходе в когерентную фазу. Вычисляется также отрицательная вириальная поправка к энергии СЦЭ (пропорциональная n в рамках модели слабо неидеального газа), соответствующая эффективно аттрактивному взаимодействию СЦЭ с другими экситонами ансамбля [6]. Сравнение этой поправки с энергией локализации дает оценку критической концентрации перехода из некогерентной фазы в когерентную. Результаты находятся в согласии с экспериментальными данными.

Рис1.- Схема возбуждения СЦЭ в квантово-холловской системе на основе GaAs/AlGaAs при $\nu=2$. ΔE_C – кулоновский сдвиг.

- [1] C. Kallin and B.I. Halperin, *Phys. Rev. B* **30**, 5655 (1984).
- [2] S. Dickmann and I.V. Kukushkin, *Phys. Rev. B* **71**, 241310(R) (2005).
- [3] S. Dickmann, *Phys. Rev. Lett.* **110**, 166801 (2013).
- [4] L.V. Kulik, A.V. Gorbunov, A.S. Zhuravlev, et al, *Nature Sci. Rep.* **5**, 10354 (2015).
- [5] L.V. Kulik, A.S. Zhuravlev, S. Dickmann, et al, *Nature Comm.* **7**, 13499 (2016).
- [6] S. Dickmann, *Lithuanian Journal of Physics* (2019), in press.