

УДК 621

А.А.Грешнов (6 курс, каф. ФТТ), Г.Г.Зегря, д.ф.-м.н., проф.

КВАНТОВЫЙ ЭФФЕКТ ХОЛЛА: МИКРОСКОПИЧЕСКАЯ ТЕОРИЯ

Несмотря на огромное число работ, посвященных исследованию квантового эффекта Холла, последовательная микроскопическая теория этого явления до сих пор отсутствует. Напомним, что в условиях сильного магнитного поля, направленного перпендикулярно плоскости (xy) двумерного полупроводникового образца, при низких температурах наблюдается квантование холловского сопротивления $\rho_{xy} = h/\nu e^2$. Здесь ν является целым числом, причем точность квантования ограничена лишь погрешностью измерения и может достигать миллионной доли процента. Важно, что квантование имеет место в некотором интервале магнитных полей либо концентраций (на холловских плато).

Такое поведение проводимости двумерного электронного газа в сильном магнитном поле противоречит выводам классической кинетической теории и диаграммной техники усреднения по беспорядку (самосогласованному борновскому приближению). Это связано с имеющим место в магнитном поле явлением сильной локализации. Для его описания необходимо иметь точные представления об электронных состояниях в хаотическом потенциале рассеивающих примесей.

Для решения задачи о холловской проводимости в магнитном поле был использован микроскопический расчет со следующим модельным потенциалом примесей:

$$U(r) = \sum_{n=1}^N A_n \exp\left(-\frac{(r-r_n)^2}{R^2}\right),$$

где величины A_n и r_n распределены равномерно в интервале $[-A, A]$ и по всей плоскости, соответственно. Полученные после диагонализации гамильтониана энергии и волновые функции использовались затем для расчета проводимости по формуле Кубо

$$\sigma_{xy} = \frac{e}{S} \sum_{m < \mu} \sum_n \frac{x_{mn} (J_y)_{nm} + c.c.}{E_m - E_n}$$

Здесь x_{mn} и $(J_y)_{nm}$ – матричные элементы координаты и тока, E_m – энергии электронных состояний в хаотическом потенциале, S – площадь образца, μ – уровень химического потенциала. Необходимо заметить, что максимально допустимые современными вычислительными возможностями размеры образцов не превышают 100 магнитных длин, что затрудняет прямое сравнение с экспериментальными данными. Тем не менее, такое сравнение возможно благодаря магнетотранспортным исследованиям на мезоскопических образцах, в том числе субмикронных размеров.

Измерения холловской проводимости, проведенные в работе [1] на кремниевом транзисторе с размерами $0,6 \times 0,6$ мкм² в магнитном поле $B=16$ Тл, позволяют обнаружить новые особенности квантового эффекта Холла в мезоскопических образцах. Именно, помимо флуктуаций проводимости в областях между плато, имеется значительный мезоскопический шум на первом и частично втором холловских плато. В тоже время точность квантования на высших плато остается практически идеальной. Оба этих эффекта проявились в наших расчетах и подтверждают правильность модели.

В работе показано, что точность квантования холловской проводимости связана с сильной локализацией электронов в магнитном поле. Помимо численных расчетов выполнена оценка ширины области между плато и точности квантования на плато для образца конечных размеров.

ЛИТЕРАТУРА:

1. D.H.Codben, E.Kogan, Phys.Rev. B 54, R17316 (1996).