Транспорт в двумерной вязкой жидкости: эксперимент

Гусев Г.М.¹, Levin A.D.¹, Levinson E.V.¹, Bakarov A.K.^{2,3}

¹ Институт Физики, Университет Сао Пауло

² ИФП СО РАН, 630090, Новосибирск, пр. Ак. Лаврентьева, 13

³ Новосибирский государственный университет, 630090, Новосибирск, ул. Пирогова, 2

DOI 10.34077/Semicond2019-195

Достаточно давно была проведена попытка объяснить транспорт заряженных частиц с помощью гидродинамической теории описывающей динамику любой многочастичной системы релаксирующей к термодинамическому равновесию. Гидродинамические эффекты в транспорте значительно усиливаются, когда электронная жидкость протекает через узкий канал. Учет электронной вязкости приводит к уменьшению сопротивления с квадратом температуры - к так называемому эффекту Гуржи. Эффект Гуржи находится в явном противоречии с квазиклассической теорией переноса, поскольку он приводит к уменьшению удельного электрического сопротивления, хотя столкновения становятся более частыми [1].

Вторым замечательным признаком вязкости является обтекание цилиндрического препятствия двумерной жидкостью, которое было рассмотрено Стоксом еще в 19 столетии. Это может привести к так называемому «парадоксу Стокса»: в случае двумерного течения, перпендикулярного оси кругового цилиндра, не существует решения уравнений Стокса, обращаясь в ноль на поверхности цилиндра и остающегося конечным вдали от него [2].

Еще одним замечательным признаком гидродинамического эффекта является круговое движение в поле потока, называемое вихрем. Такое движение может генерировать противоток вблизи области инъекции тока, что можно обнаружить в эксперименте как проявление отрицательного напряжения [3].

Наконец, гидродинамическая теория может быть распространена на жидкость с двумя различными типами носителей заряда, где взаимное трение между двумя жидкостями может оказать существенное влияние на транспортные свойства. Оба канала рассеяния приводят к вязкости и могут быть извлечены из эксперимента независимо.

В данной работе экспериментально изучены все перечисленные выше эффекты. В качестве экспериментальной системы были использованы высокоподвижные двумерные электроны в квантовых ямах на основе GaAs. Измерялись транспортные и магнетотранспортные свойства мезоскопических мостиков в широком диапазоне температур и в слабых магнитных полях, где гидродинамические эффекты доминировали над одночастичными эффектами [4-6].

Были обнаружены:

1. Эффект Гуржи - уменьшение сопротивления с температурой.
2. Влияние препятствия в виде диска на температурную зависимость сопротивления из за эффекта Стокса.
3. Отрицательное нелокальное сопротивление из за образования вихрей.
4. Гуржи эффект обусловленный взаимным трением между жидкостями.

[1] R. N. Gurzhi, *Sov. Phys. Usp.* **11**, 255 (1968); R. N. Gurzhi, A. N. Kalinenko, and A. I. Kopeliovich, *Phys. Rev. Lett.* **74**, 3872 (1995).

[2] Andrew Lucas, *Phys. Rev. B* **95**, 115425 (2017).

[3] L. Levitov and G. Falkovich, *Nat. Phys.* **12**, 672 (2016).

[4] G. M. Gusev, A. D. Levin, E. V. Levinson et al, *Phys. Rev. B*, 2018, v. **98**, 161603(R)

[5] A. D. Levin, G. M. Gusev, E. V. Levinson, et al *Phys. Rev. B*, 2018, v. **97**, 245308.

[6] G. M. Gusev, A. D. Levin, E. V. Levinson, and A. K. Bakarov, *AIP advance*, 2018, v. **8**, 025318.