Экситонные состояния в целочисленных и дробных Холловских диэлектриках

д.ф.-м.н., проф. РАН **Леонид Викторович Кулик**

Институт физики твердого тела им. Ю.А. Осипьяна РАН, Черноголовка

Дан обзор оптических методов формирования и зондирования неравновесных ансамблей циклотронных возбуждений с единичной проекцией орбитального момента на ось магнитного поля и полным спином 1 (спин-триплетных циклотронных экситонов) в целочисленном холловском диэлектрике на факторе заполнения электронов 2.

Спин-триплетные экситоны беспрецедентно долго релаксируют в основное состояние (более 1 мс), что связано с особенностями их дисперсионной зависимости и с необходимостью выполнения законов сохранения энергии, импульса и спина электронной системы в процессе релаксации. Соответственно, даже при низких уровнях фотовозбуждения, не приводящих к перегреву электронной системы, оказалось возможным создание плотных ансамблей неравновесных спин-триплетных экситонов: на уровне 10% от плотности квантов магнитного потока [1]. Предложен метод определения функции распределения экситонов в импульсном пространстве с помощью трехчастичных экситонных комплексов, взаимодействующих с электронной системой – плазмаронов [2,3].

Обнаружено, что при достижении некоторой критической плотности ансамбль экситонов переходит в новое неравновесное коллективное состояние – магнетофермионный конденсат, который является примером системы двумерных фермионов с коллективными бозевскими свойствами [4]. Так, например, длина пробега экситонов в конденсате увеличивается, по крайней мере, на три порядка величины по сравнению с длиной пробега в газовой фазе, а сам конденсат может растекаться на макроскопические расстояния порядка размера исследуемого образца (3-4 мм). Измерена скорость распространения конденсата в объем холловского диэлектрика [5]. Показано, что распределение плотности экситонов в промежутке между краем пятна локального фотовозбуждения и фронтом распространения конденсатной области не демонстрирует диффузионного характера, а имеет вид однородного плато, что объясняется несжимаемостью магнетофермионного конденсата [6].

Рассмотрена возможность экспериментального формирования экситоноподобных комплексов в дробном холловском диэлектрике на факторе заполнения электронов 1/3 (лафлиновская жидкость). Оказалось, что нейтральные возбуждения в лафлиновской жидкости устроены значительно сложнее, чем в целочисленном холловском диэлектрике, а времена релаксации комплексов при низких температурах становятся практически бесконечными [7]. Предложен экспериментальный метод исследования экситонных комплексов в лафлиновской жидкости, который сводится к новому каналу оптического рассеяния – антистоксовому-стоксовому когерентному рамановскому рассеянию [8].

1. *L.V. Kulik, A.V. Gorbunov, A.S. Zhuravlev, V.B. Timofeev, S. Dickmann, and I.V. Kukushkin*, “Super-long life time for 2D cyclotron spin-flip excitons”, Scientific Reports 5, Article number: 10354 (2015).
2. *A.S. Zhuravlev, V.A. Kuznetsov, L.V. Kulik, V.E. Bisti, V.E. Kirpichev, I.V. Kukushkin, and S. Schmult,* ”Artificially constructed plasmarons and plasmon-exciton molecules in 2D metals”, Phys. Rev. Lett. 117, 196802 (2016).
3. *V.A. Kuznetsov, L.V. Kulik, M.D. Velikanov, A.S. Zhuravlev, A.V. Gorbunov, S. Schmult, and I.V. Kukushkin,* “Three-particle electron-hole complexes in two-dimensional electron systems”, Phys. Rev. B 98, 205303 (2018).
4. *L.V. Kulik, A.S. Zhuravlev, S. Dickmann, A.V. Gorbunov, V.B. Timofeev, I.V. Kukushkin & S. Schmult,* “Magnetofermionic condensate in two dimensions”, Nature Comm. 7, Article number: 13499 (2016).
5. *L.V. Kulik, A.V. Gorbunov, A.S. Zhuravlev, V.A. Kuznetsov, I.V. Kukushkin,* “Spin transport in the bulk of two-dimensional Hall insulator”, Appl. Phys. Lett. 114, 62403 (2019).
6. *L.V. Kulik, V.A. Kuznetsov, A.S. Zhuravlev, A.V. Gorbunov, V.V. Solovyev, V.B. Timofeev, I.V. Kukushkin, S.Schmult,* “Long-range non-diffusive spin transfer in a Hall insulator”, Sci. Rep. 8, 10948 (2018).
7. *L.V. Kulik, A.S. Zhuravlev, L.I. Musina, E.I. Belozerov, A.B. Vankov, O.V. Volkov, A.A. Zagitova, I.V. Kukushkin & V.Y. Umansky,* “Laughlin anyon complexes with Bose properties”, Nature Communications 12, Article number: 6477 (2021).
8. *L.V. Kulik, A.S. Zhuravlev, A.V. Larionov, A.A. Zagitova, and I.V. Kukushkin,* “Anti-Stokes–Stokes Raman scattering of light from the excited Laughlin liquid”, Appl. Phys. Lett. 123, 083101 (2023).