

142432, Московская область,
г. Черноголовка, ул. академика Осипяна, д. 2
Институт физики твердого тела
Российской академии наук
Диссертационный совет Д002.100.02

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

на диссертацию Бисти Вероники Евгеньевны “Коллективные возбуждения в многокомпонентных двумерных системах”, представленную на соискание ученой степени доктора физико-математических наук (специальность 01.04.07 - физика конденсированного состояния).

Актуальность. Исследование коллективных возбуждений в двумерных электронных системах остается актуальной темой как теоретических так и экспериментальных исследований на протяжении уже более 40 лет. Такой постоянный интерес к коллективным возбуждениям связан с тем, что с теоретической точки зрения вычисление их спектра с учетом межэлектронного взаимодействия представляет собой сложную задачу за рамками теории возмущений. С экспериментальной точки зрения измерения спектров коллективных возбуждений в различных двумерных системах позволяют понять то, как устроен многочастичный спектр, и оценить важность межэлектронного взаимодействия. Также интерес к коллективным возбуждениям связан с появлением в последнее десятилетие новых двумерных материалов: графен, двумерные топологические изоляторы, диалкогениды переходных металлов, фосфорен и многие другие.

В первой главе диссертации представлены результаты теоретического анализа коллективных возбуждений в квантовых ямах с несколькими активными зонами размерного квантования в присутствии магнитного поля. Во-второй главе диссертации представлены результаты теоретического изучения спектра магнитоплазмонов и магнитоэкситонов в двойных квантовых ямах. В третьей главе изучается спектр магнитоэкситонов в графене. Наконец, в четвертой главе рассматривается задача об уровнях Ландау в двумерных системах с сильной спин-орбитальной связью. Все эти задачи, несмотря на свой фундаментальный характер, в тоже время были мотивированы и преследовали цель объяснить конкретные экспериментальные данные. Разумное согласие теоретических предсказаний с экспериментальными данными по спектрам возбуждений позволяет двигаться дальше в экспериментальном изучении двумерных систем. Вышеизложенное подтверждает несомненную актуальность результатов, представленных в диссертации.

Новизна и достоверность. В диссертационной работе впервые получен ряд принципиально важных новых результатов, имеющих фундаментальное значение для физики

конденсированного состояния. Наиболее интересные из них следующие. Во-первых, в случае двумерной электронной системы с несколькими активными уровнями размерного квантования показано существование новых мод, вблизи целочисленных факторов заполнения в магнитном поле. Во-вторых, показано существование в двойной квантовой яме в сильном магнитном поле синглетного и триплетного возбуждений (относительно изоспинового индекса, нумерующего квантовые ямы) с энергиями, связанными с энергиями межслоевого и внутреслоевого магнитноэкситона. В третьих, построена теория линий циклотронного резонанса в двухслойном графене с учетом электрон-дырочной асимметрии и кулоновского взаимодействия. В четвертых, изучено влияние деформаций на дырочные уровни Ландау в двумерной электронной системе.

Научная и практическая значимость Научная значимость диссертации состоит в ряде новых фундаментальных результатов, полученных впервые. Наиболее интересны два из результатов диссертации, полученных автором впервые в мире: 1) показано существование новых мод, вблизи целочисленных факторов заполнения в магнитном поле в двумерной электронной системе с несколькими активными уровнями размерного квантования, 2) построена теория линий циклотронного резонанса в двухслойном графене с учетом электрон-дырочной асимметрии и кулоновского взаимодействия. Эти результаты нашли свое применение в правильном анализе экспериментальных данных. Исходя из вышесказанного, можно с уверенностью сказать, что научная и практическая значимость всех результатов диссертации высока и несомненна.

Результаты диссертации В.Е. Бисти могут быть рекомендованы к использованию в организациях, проводящих экспериментальные исследования в области физики двумерных систем (ИРЭ РАН, ИС РАН, НЦ КИ ПИЯФ, МГУ, ФИАН, ИФП СО РАН, и др.).

Диссертация В.Е. Бисти написана понятным языком и содержит достаточное количество иллюстраций. В ней четко сформулированы цели исследования, достаточно полно описаны и проанализированы использованные теоретические методы и обсуждены полученные результаты.

Замечания. По диссертации следует высказать несколько общих замечаний и частых вопросов, не имеющих принципиального характера:

- В главе 1 изучаются коллективные возбуждения в одиночных квантовых ямах с учетом наличия двух подзон размерного квантования, а в главе 2 — коллективные возбуждения в двойных квантовых ямах. При этом полученные результаты сравниваются с экспериментальными данными. В тоже время, совершенно не обсуждается влияние таких реально присутствующих в экспериментальных образцах факторов, как наличие конечной толщины двумерного электронного газа, случайного потенциала и, наконец, градиента

электронной концентрации. Было бы полезно указать, как в какую сторону указанные факторы действуют с точки зрения сравнения с экспериментальными данными. Также было бы полезно привести оценки ширины линий коллективных возбуждений, получающихся из-за наличия случайного потенциала и конечного времени жизни одночастичных электронных возбуждений из-за межэлектронного взаимодействия.

- В главе 1 для вычисления спектра коллективных возбуждений в двухзонной ситуации используется незранированное кулоновское взаимодействие. В ситуации, когда нижняя подзона заполнена, не ясно почему можно не учитывать экранировку взаимодействия для электронов в верхней подзоне за счет электронов в нижней подзоне (например, для уровней Ландау такая экранировка обсуждалась в работе I.L. Aleiner and L.I. Glazman, *Phys. Rev. B* 52, 11296 (1995)).
- В главе 3 изучается спектр магнитоэкситонов в двухслойном графене. С учетом того, что в графене из-за упругих деформаций могут возникать гигантские псевдомагнитные поля, которые приводят к экспериментально наблюдаемым уровням Ландау, не ясно до какой степени можно не учитывать их влияние на спектр одноэлектронных возбуждений в долинах K и K' . Также не ясно почему можно не учитывать эффекты электрон-фононного взаимодействия, например, вызывающие расщепление уровней Ландау (см., например, работу V. Cheianov, A. P. Dmitriev, and V. Yu. Kachorovskii, *Phys. Rev. B* 58, 776 (1998) для обычного двумерного электронного газа). Было бы полезно прокомментировать эти вопросы в диссертации.
- В главе 3 было бы полезно объяснить почему среди большого разнообразия двумерных материалов (черный фосфор, дихалкогениды переходных металлов, монохалкогениды и др.), выбран для изучения именно двухслойный графен. Было бы полезно также объяснить какие черты спектра магнитоэкситонов являются уникальными для двухслойного графена.
- В главе 3 изучается влияние перескоков между ближайшими соседями на спектр магнитоэкситонов в двухслойном графене. Не ясно почему рассматриваемые эффекты более важные чем, например, логарифмическая перенормировка скорости в дираковских точках за счет межэлектронного взаимодействия, что также должно влиять на спектр уровней Ландау.

Эти замечания не влияют на общую высокую оценку работы, которая выполнена на научном уровне, соответствующем уровню доктора наук.

