Отзыв научного консультанта на диссертацию

Григорьева Павла Дмитриевича

«Особенности магнитосопротивления в слоистых квазидвумерных проводниках»

представленную на соискание ученой степени

доктора физико-математических наук

по специальности 01.04.02 - теоретическая физика

Диссертация Григорьева П. Д. посвящена в основном исследованию электронных свойств квазидвумерных слоистых проводников в магнитном поле. Большая часть перспективных и активно изучаемых в настоящее время проводящих материалов, таких как высокотемпературные сверхпроводники, гетероструктуры, органические металлы и многие другие характеризуются высокой анизотропией электронных свойств. Магнитное поле является мощным инструментом определения электронной структуры различных металлов. В последнее десятилетие эти исследования приобрели особенную актуальность в связи с активным экспериментальным изучением свойств высокотемпературных сверхпроводников с помощью магнитных квантовых осцилляций и угловой зависимости магнитосопротивления.

Несмотря на то, что подобные исследования проводились на протяжение многих десятилетий, имелся ряд важных пробелов. Например, отсутствовала теория магнитосопротивления в сильно анизотропных слоистых металлах, когда расстояние между уровнями Ландау больше или сравнимо с межслоевым интегралом перескока. В металлическом режиме, когда энергия Ферми много больше расстояния между уровнями Ландау, в диссертации вычислена межслоевая проводимость для когерентного межслоевого переноса электронов в сильном магнитном поле в различных предельных случаях, определяемых отношениями трех параметров: расстоянием между уровнями Ландау, межслоевым интегралом перескока и уширением уровней из-за рассеяния на точечных примесях. Эти вычисления впервые объяснили важные качественные особенности магнитосопротивления, наблюдаемые в слоистых квазидвумерных проводниках.

В диссертации в рамках приближения среднего поля также исследовано влияние волн зарядовой или спиновой плотности на электронные свойства в магнитном поле, что объяснило ряд интересных качественных эффектов в органических металлах и других соединениях.

Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, трёх приложений, списка публикаций и списка литературы.

В первых трех главах диссертации изучается магнитосопротивление в слоистых нормальных металлах с сильной квазидвумерной анизотропией. В модели присутствуют ферми-газ электронов с сильно анизотропным законом дисперсии в магнитном поле с рассеянием на точечных примесях. Вычисления проводимости используют методы диаграммной техники.

В первой главе вычисляется монотонная часть продольного межслоевого магнитосопротивления в различных пределах, определяемых соотношениями между интегралом межслоевого перескока, расстоянием между уровнями Ландау и их уширением из-за рассеяния на примесях. Это магнитосопротивление нельзя получить в рамках тау-приближения с постоянным временем рассеяния тау. В частности впервые показано, что в пределе высокого магнитного поля (когда расстоянием между уровнями Ландау много больше их уширением из-за рассеяния на примесях и интеграла межслоевого перескока) имеется сильное продольное межслоевое магнитосопротивление, которое пропорционально квадратному корню из величины магнитного поля, перпендикулярного слоям. Подобный рост является общим явлением и наблюдается даже тогда, когда квантовые осцилляции подавлены температурой. Также исследованы некоторые промежуточные интервалы параметров.

Во второй главе в рамках той же модели вычислены магнитные квантовые осцилляции продольного межслоевого магнитосопротивления. Этот расчет впервые объяснил «медленные осцилляции» магнитосопротивления и сдвиг фазы биений шубниковских осцилляций, наблюдающиеся во многих экспериментах. Теоретически исследованы зависимость этих эффектов от магнитного поля, межслоевого интеграла перескока, температуры и т.д.

В третьей главе изучена угловая зависимость магнитосопротивления. В разделе 3.2 получены новые аналитические результаты в рамках стандартной теории магнитосопротивления, полезные для описания экспериментов, а в разделе 3.3 исследованы отклонения от этой теории.

Четвертая глава посвящена волнам зарядовой или спиновой плотности в условиях неидеального нестинга. В разделе 4.2 в рамках приближения среднего поля и функционала Гинзбурга-Ландау исследована фазовая диаграмма и микроскопическая структура волны зарядовой плотности в сильном магнитном поле, а в разделе 4.3 изучается солитонная фаза волн плотности. В разделах 4.4 и 4.5 изучено влияние волн плотности на анизотропию и другие особенности электронной проводимости и магнитных квантовых осцилляций.

В пятой главе изучены некоторые свойства сверхпроводимости, возникающей на фоне волны зарядовой или спиновой плотности. В частности показано, что верхнее критическое поле Hc2 в таком сверхпроводящем состоянии может в разы превышать Hc2 без волны плотности, что связано с изменением закона дисперсии электронов, вызванного волной плотности. Также исследуется взаимодействие спиновой структуры параметров порядка такой сверхпроводимости и волны спиновой плотности.

Все основные результаты диссертации детально сравниваются с экспериментальными данными.

В диссертации предсказан (или впервые объяснен) и исследован целый ряд новых качественных эффектов. Полученные результаты являются достаточно общими и применимы для широкого класса слоистых квазидвумерных соединений, таких как органические металлы, гетероструктуры, трителлуриды редкоземельных металлов и многих других. Некоторые качественные эффекты, предсказанные и исследованные в диссертации, могут также иметь отношение к слоистых высокотемпературным сверхпроводникам и помочь в их экспериментальном изучении с помощью квантовых и угловых осцилляций магнитосопротивления, измерение которых в последние 10 лет стало возможным в доступных магнитных полях и очень популярным.

Тема и содержание диссертации соответствует отрасли физико-математических наук и научной специальности 01.04.02 – теоретическая физика. Основные научные результаты диссертации опубликованы в 22 статьях в рецензируемых научных изданиях с высоким импакт фактором. Во всех этих работах основные теоретические результаты были получены самим диссертантом. Более 1/3 этих статей опубликованы диссертантом без соавторов. Материал диссертации в полной мере изложен в этих 22 статьях. Количество публикаций по теме диссертации (22) удовлетворяет необходимым требованиям, предъявляемым к диссертации на соискание ученой степени доктора физико-математических наук. Замечу, что всего у диссертанта к моменту подачи диссертации опубликовано более 60 статей в ведущих международных научных журналах.

Объём и уровень проведенного исследования, а также новизна и актуальность полученных результатов, свидетельствуют о том, что диссертация Григорьева П.Д. удовлетворяет всем требованиям ВАК, а её автор заслуживает присвоения ученой степени доктора физико-математических наук.

Ведущий научный сотрудник

ИТФ им. Л.Д. Ландау РАН

142432, г. Черноголовка, пр-т Семенова, д.1-а,

Доктор физ.-мат. наук по специальности 01.04.02-теоретическая физика

Александр Михайлович Дюгаев