

ОТЧЁТ ПРОЕКТА

«Лаборатория теоретической нанофизики»

наименование проекта

наименование мероприятия

СОГЛАСОВАНО:

Курирующий проректор

Т.А.-Х. Аушев

подпись

ФИО

дата

Руководитель Направления

А.А. Кузнецова

подпись

ФИО

дата

Руководитель Лаборатории

М.В. Фейгельман

подпись

ФИО

дата

2016 г.

1. Общая информация

1.1. Заведующий лабораторией

Фейгельман Михаил Викторович, д.ф.-м.н., профессор
+7-903-799-13-50, mvfeigel@gmail.com

Основное место работы: Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт теоретической физики им. Л.Д. Ландау Российской академии наук

ResearcherID: M-4113-2013

Индекс Хирша (по Web of Science): 35

1.2 Краткое описание направлений деятельности лаборатории

В данном разделе кратко описываются направления и цели деятельности лаборатории. Объем информации не должен превышать 2-3 абзацев.

Содержание настоящего подраздела может использоваться в рекламных и популяризационных целях.

Лаборатория специализируется на развитии теории квантовых транспортных процессов в твердотельных структурах субмикронных размеров. Основные направления исследований:

- **Мезоскопические электронные системы**, число частиц в которых слишком велико для того, чтобы применять уравнения квантовой механики, но слишком мало для использования статистики: флуктуации величин, характеризующих систему в целом, оказываются порядка их средних значений. В металлах характерным масштабом длины, разделяющим мезоскопические и макроскопические системы, является длина L_ϕ , на которой сохраняется фаза волновой функции электрона. В процессах, происходящих на размерах $L < L_\phi$, необходимо учитывать интерференционные эффекты от электронных волн, прошедших по различным возможным путям.
- **Сверхпроводящие гибридные структуры**. Физика обычных «низкотемпературных» сверхпроводников вполне хорошо изучена, если речь идет об однородном макроскопическом образце какого-либо металла или сплава. Если же мы имеем дело со сверхпроводниками очень малых (субмикронных) размеров, соединенными друг с другом микро-контактами, возникает масса удивительных эффектов, в которых чисто квантовомеханические явления проявляются на почти макроскопических масштабах. Очень интересные явления возникают в контактах сверхпроводников через слой ферромагнетика или через двумерный электронный газ в полупроводниковой гетероструктуре – все эти системы активно изучаются экспериментально в последние годы.
- **Квантовые фазовые переходы**. При изменении параметров – плотности электронов, внешнего магнитного поля, концентрации дефектов – тип основного состояния макроскопической квантовой системы может скачком изменяться. Такие явления называются квантовыми фазовыми переходами – в отличие от обычных переходов (например, из парамагнетика в ферромагнетик или из нормального металла в сверхпроводник), происходящих, как правило, при изменении температуры. Большой интерес вызывает проблема описания фазовых переходов между сверхпроводящим, металлическим и диэлектрическим основными состояниями в сильно неупорядоченных двумерных системах.
- **Спинтроника**. В последние несколько лет активно развивается новое научное направление с предполагаемым важнейшим техническим применением – спиновая электроника, или спинтроника. Речь здесь идет о переносе спинов электронов в твердотельных наноструктурах, и основанных на спиновом переносе системах передачи и обработки информации. Основным физическим объектом, с которым связано развитие спинтроники, являются полупроводниковые гетероструктуры с двумерным электронным газом. В самое последнее время начались исследования спинового транспорта в гибридных структурах, содержащих как полупроводники так и сверхпроводники.

➤ **Двумерный электронный газ. Квантовый эффект Холла.** Двумерная электронная система может быть создана с помощью искусственной потенциальной ямы, в которой при низкой температуре заполнен только один квантовый уровень и электроны локализованы в поперечном к плоскости ямы направлении. Остальные две степени свободы образуют «двумерный мир», в котором живут электроны. В сильном перпендикулярном магнитном поле, в котором невзаимодействующие электроны находились бы на одном макроскопически вырожденном уровне Ландау, такая электронная система ведет себя как диэлектрик: диссипативный ток в ней отсутствует; при этом, однако, она имеет конечную холловскую проводимость: ток течет перпендикулярно приложенному электрическому полю. Причем существуют состояния, в которых – в зависимости от плотности электронов – холловская проводимость принимает квантованные значения и равна целым или специальным дробным долям универсальной квантовой величины. При этом сам ток может переноситься особыми квазичастицами, имеющими дробный заряд. При некоторой критической плотности электронов система ведет себя так, как будто бы никакого внешнего магнитного поля нет. Все эти эффекты вызваны взаимодействием электронов и случайно расположенными примесями.

➤ **Квантовый магнетизм и системы с «топологическим порядком».** Обычно обменное взаимодействие спинов магнитных ионов в решетке приводит к их упорядочению в ферро- или антиферро-магнитную структуру, характеризуемую дальним порядком. Это означает, что зная среднее направление локализованного магнитного момента в некотором узле решетки, можно определить, куда будет направлен магнитный момент в любом другом узле. Так всегда происходит в «квазиклассических» случаях, когда спин на каждом узле решетки велик по сравнению с минимальным возможным спином $1/2$. Однако в решетках из спинов $1/2$ квантовые флуктуации очень сильны, и в некоторых случаях даже при нулевой температуре никакой упорядоченной структуры не образуется. Такое состояние называют обычно спиновой жидкостью – в отличие от ферро- или антиферро-магнетика, аналогичных кристаллическим состояниям. Энтропия такой жидкости должна быть равна нулю (ведь мы сейчас обсуждаем случай нулевой температуры!). Настоящую теорию этого состояния еще предстоит построить.

➤ **Теория топологических изоляторов и топологических сверхпроводников.** Топологические изоляторы, а также топологические сверхпроводники сейчас активно изучаются во всем мире. Внутри своего объема такой материал является изолятором и его квантовая структура не допускает переноса электрических зарядов, но в тонком приповерхностном слое тот же материал становится проводником. Или, при охлаждении до низких температур, приобретает сверхпроводящие свойства. Этот эффект нельзя путать с классическим и описанным в курсе элементарной физики скин-эффектом: когда ток с возрастанием частоты начинает протекать преимущественно вблизи поверхности проводника. Внутри топологического изолятора заряд перемещаться не может в принципе, проводящий слой очень тонок, а его природа обусловлена сугубо квантовыми эффектами.

➤ **Физика квантовых вычислений.** Для реализации квантового вычисления надо научиться делать квантовые двоичные элементы (эквивалентные спинам $1/2$) вместо обычных классических двоичных ячеек 0,1, и управлять квантовыми состояниями этих элементов (их называют квантовыми битами, или сокращенно – кубитами) как поодиночке, так и парами из любых двух кубитов. При этом необходимо совместить два принципиально противоположных условия: с одной стороны, мы хотим иметь дело с большой квантовой системой (из многих кубитов), которая должна быть очень хорошо «заэкранирована» от любых посторонних взаимодействий с внешней средой. С другой стороны, мы должны уметь управлять (с большой точностью) значениями «полей», действующих на каждый кубит – для того чтобы реализовать заданный алгоритм. Выполнить оба требования одновременно чрезвычайно сложно, и это потребует куда более глубокого понимания квантовой механики систем многих частиц, чем уже достигнуто физикой за последние десятилетия – а также и создания «квантовой инженерии»,

отличающейся от квантовой механики примерно так же, как теория машин и механизмов или сопромат отличаются от классической механики Ньютона и Лапласа.

2. Кадры

2.1 Кадровый состав лаборатории (по состоянию на 15 ноября 2016 г.)

№	ФИО	Ученая степень, ученое звание	Должность	Трудоустройство в лаборатории (штатный сотрудник /совместитель)
1	Фейгельман Михаил Викторович	д.ф.м.н., профессор	в.н.с., зав. лаб.	совместитель
2	Загороднев Игорь Витальевич	к.ф.м.н.	н.с., зам. зав. лаб.	штатный
3	Миронов Сергей Викторович	к.ф.м.н.	н.с.	штатный
4	Махлин Юрий Генрихович	член-корр. РАН, д.ф.м.н., доцент	в.н.с.	совместитель
5	Иоселевич Алексей Соломонович	д.ф.м.н., доцент	в.н.с.	совместитель
6	Скворцов Михаил Андреевич	д.ф.м.н., доцент	в.н.с.	совместитель
7	Фоминов Яков Викторович	к.ф.м.н., доцент	с.н.с.	совместитель
8	Тихонов Константин Сергеевич	к.ф.м.н.	м.н.с.	совместитель
9	Штык Александр Викторович		м.н.с.	совместитель
10	Аванесова Ирина Владимировна		инженер	совместитель
11	Степанов Николай Анатольевич		инженер	совместитель
12	Антоненко Даниил Сергеевич		инженер	совместитель
13	Репин Евгений Витальевич		инженер	совместитель
14	Светогоров Александр Егорович		инженер	совместитель
15	Лункин Алексей Владимирович		техник	совместитель
16	Курилович Владислав Даниилович		техник	совместитель
17	Курилович Павел Даниилович		техник	совместитель

2.2 Сотрудники иных подразделений, привлекавшиеся к работе лаборатории¹

¹ Сотрудники иных подразделений, которым было выплачено вознаграждение из средств Вашей лаборатории по смете Программы 5-100 МФТИ.

№	ФИО	Ученая степень, ученое звание	Должность	Основное подразделение МФТИ, куда зачислен сотрудник
1.	Бурмистров Игорь Сергеевич	д.ф.-м.н.	с.н.с.	лаборатория Топологических квантовых явлений в сверхпроводящих системах
2.	Бараш Лев Юрьевич	к.ф.-м.н.	ассистент	кафедра Проблем теоретической физики (ФОПФ) МФТИ

3. Основные результаты работы лаборатории за 2016 г.

В данном разделе должно быть приведено описание результатов деятельности лаборатории за текущий год. Описание должно включать 1-2 страницы текстовой информации об этапах развития основных направлений деятельности лабораторий в текущем году.

Лаборатория активно занимается научными исследованиями и образовательной деятельностью по тематикам, перечисленным в предыдущем разделе. Ниже приведены конкретные основные достижения лаборатории.

Раздел 3.1. Научные исследования.

В работе E. Goldobin, **S. Mironov**, A. Buzdin, R.G. Mints, D. Koelle, and R. Kleiner, “Effective model for a short Josephson junction with a phase discontinuity”, Phys. Rev. B 93, 134514 (2016) изучены ток-фазовые соотношения коротких джозефсоновских контактов с разрывом фазы, возникающим из-за размещения вблизи изолирующего слоя пары токонесящих инжекторов. Показано, что в широком диапазоне параметров основное состояние джозефсоновского контакта характеризуется ненулевой спонтанной фазой, зависящей от инжектируемого тока. Рассчитаны основные статические и динамические характеристики таких фи-контактов.

В работе **S. Mironov**, Zh. Devizorova, A. Clergerie and A. Buzdin, “Magnetic mapping of defects in type-II superconductors”, Appl. Phys. Lett. 108, 212602 (2016) предложена теория формирования пар вихрь-антивихрь с неквантованным магнитным потоком в сверхпроводниках. Показано, что подобные вихревые диполи формируются при протекании сверхпроводящего тока из-за возмущения токовых линий несверхпроводящими дефектами и последующей генерации локализованного магнитного поля. Также показано, что положение и форма вихревых диполей сильно зависит от формы дефекта. Таким образом, прикладывая к сверхпроводящему образцу внешнее магнитное поле или пропуская через него ток, а затем, например, при помощи сканирующего холловского микроскопа измеряя профиль магнитного поля, можно построить пространственную карту, содержащую информацию о положении дефектов и их форме. Построенная теория полностью объясняет эксперимент, описанный в работе Ge et al., Nat. Commun. 6, 6573 (2015).

В работе I.S. Veshchunov, W. Magrini, **S.V. Mironov**, A.G. Godin, J.-B. Trebbia, A.I. Buzdin, Ph. Tamarat & B. Lounis “Optical manipulation of single flux quanta”, Nat. Commun. 7, 12801 (2016) предложен и экспериментально реализован оптический метод управления одиночными абрикосовскими вихрями в сверхпроводниках при помощи сфокусированного лазерного пучка, основанный на явлении притяжения вихрей к областям пространства, обладающим более высокой температурой. Продемонстрирована возможность конструирования различных

профилей магнитного потока. Также показано, что освещение решетки вихрей мощным лазерным пучком с его последующим выключением приводит к формированию плотного вихревого сгустка, окруженных областью, не содержащей вихрей. Характер изменения радиуса сгустка и свободной от вихрей области при включении внешнего магнитного поля полностью согласуется с теоретическими результатами, полученными в рамках модели геометрического барьера.

Исследовано триплетное спаривание, наведенное за счет эффекта близости в спиновом клапане на основе $\text{CoO}_x/\text{Py1}/\text{Cu}/\text{Py2}/\text{Cu}/\text{Pb}$, где $\text{Py} = \text{Ni}_{0.81}\text{Fe}_{0.19}$ [P.V. Leksin, N.N. Garif'yanov, A.A. Kamashev, A.A. Validov, **Ya.V. Fominov** et al. "Isolation of proximity-induced triplet pairing channel in a superconductor/ferromagnet spin valve", Phys. Rev. B 93, 100502 (2016)]. В результате оптимизации параметров системы получен эффект полного переключения между нормальным и сверхпроводящим состояниями, обусловленный триплетным каналом. Для наблюдения "изолированного" триплетного эффекта спинового клапана мы использовали осцилляции величины ΔT_c (разность температур сверхпроводящего перехода при антипараллельной и параллельной взаимной ориентации намагниченностей слоев Py1 и Py2) обычного эффекта спинового клапана в зависимости от толщины Py2 слоя. Было найдено значение толщин, при котором осцилляции ΔT_c подавлены. Для такого образца был получен "чистый" триплетный эффект спинового клапана, приводящий к минимуму T_c при ортогональной конфигурации намагниченностей.

Исследована плотность состояний в диффузных сверхпроводниках с точечными магнитными примесями произвольной силы, описываемыми пуассоновской статистикой [**Y.V. Fominov, M.A. Skvortsov** "Subgap states in disordered superconductors with strong magnetic impurities", Phys. Rev. B 93, 144511 (2016)]. Теория среднего поля Шибы-Русинова предсказывает нетривиальную структуру плотности состояний с несколькими жесткими краями спектра. Учет инстантонных конфигураций с нарушенной репличной симметрией приводит к появлению локализованных подщелевых состояний в классически запрещенной области. Исследовано размытие щели за счет конкуренции потенциального и не потенциального беспорядка. В последнем случае источником флуктуаций является неоднородность концентрации магнитных примесей, которая влияет на плотность состояний двояким образом: как за счет флуктуаций силы распаривания, так и за счет наведенных флуктуаций сверхпроводящего параметра порядка.

В работе P.A. Ioselevich, P.M. Ostrovsky, **M.V. Feigel'man** "Josephson current between topological and conventional superconductors", Phys. Rev. B 93, 125435 (2016) вычислен джозефсоновский ток между обычным и топологическим сверхпроводниками. Найдена ток-фазовая характеристика. Показано, что в режиме контакта с туннельным барьером ток сильно подавлен по сравнению со случаем сверхпроводников одинакового типа. Помимо основных характеристик в случае общего положения подробно исследована простая одномерная модель топологического сверхпроводника.

Построена теория поглощения ультразвука в сверхпроводнике с сильно развитой псевдощелью Δ_p [**A.V. Shtyk and M.V. Feigel'man** "Ultrasonic attenuation in a pseudogapped superconductor", arXiv:1609.01683, направлена в Phys. Rev. B]. Показано, что при низких температурах $T \ll T_c$ поглощение экспоненциально подавлено, пропорционально $\exp(-2\Delta/T)$, где Δ – коллективная сверхпроводящая щель, малая по сравнению с одночастичной щелью Δ_p . Основной вклад в поглощение происходит от распада модуляции плотности на две коллективные амплитудные моды параметра порядка. Этот эффект может быть использован для измерения величины Δ .

В работе **I.S. Burmistrov, I.V. Gornyi, A.D. Mirlin**, "Local density of states and its mesoscopic fluctuations near the transition to a superconducting state in disordered systems", Phys. Rev. B 93, 205432 (2016) с помощью подхода нелинейной сигма-модели и метода ренормализационной

группы, развита теория локальной плотности состояний в неупорядоченных сверхпроводниках. Развита теория учитывает взаимное влияние беспорядка и межэлектронного взаимодействия, в том числе отталкивания в канале частица-дырка. Детально изучена двумерная система, которая была бы андерсоновским изолятором в отсутствие взаимодействия, а также двумерные и трехмерные системы, которые испытывают переход Андерсона в отсутствие взаимодействия. Получены результаты для средней локальной плотности состояний и ее мезоскопических флуктуаций при температуре выше температуры сверхпроводящего перехода T_c . Средняя локальная плотность состояний имеет заметное подавление около уровня Ферми, как в металлической фазе (т.е. при температуре выше T_c), так и в диэлектрической фазе около перехода сверхпроводник-изолятор. Предсказано существование гигантских мезоскопических флуктуаций локальной плотности состояний в режиме, где андерсоновская локализация на фоне слабого короткодействующего взаимодействия увеличивает температуру сверхпроводящего перехода. Также показано, что кулоновское взаимодействие, наоборот, подавляет мезоскопические флуктуации локальной плотности состояний.

Изучена теплоемкость взаимодействующей неупорядоченной электронной системы с нарушенной симметрией по отношению к обращению времени в рамках двухпетлевого приближения ренормализационной группы [I.S. Burmistrov "Two-loop renormalization of the Finkel'stein theory: The specific heat", Ann. Phys. (N.Y.) 364, 120 (2016)]. С помощью подхода нелинейной сигма модели в двухпетлевом приближении вычислена аномальная размерность оператора Финкельштейна, который контролирует скейлинг теплоемкости с температурой. Показано, что в отличие от невзаимодействующей задачи с учетом двухпетлевого вклада абсолютное значение аномальной размерности оператора Финкельштейна отличается от аномальной размерности оператора, определяющего скейлинг второго момента локальной плотности состояний. Полученные результаты применены к переходу металл-изолятор в размерности $d=2+\epsilon$.

Для маленькой ферромагнитной частицы и/или квантовой точки около стоунеровской неустойчивости изучена динамика полной намагниченности в присутствии туннельной связи с металлическим резервуаром [A. Shnirman, A. Saha, I.S. Burmistrov, M.N. Kiselev, A. Altland, Y. Gefen "U(1) and SU(2) quantum dissipative systems: the Caldeira-Leggett versus Ambegaokar-Eckern-Schön approaches", ЖЭТФ 149, 666 (2016) и T. Ludwig, I.S. Burmistrov, Y. Gefen, A. Shnirman, "Strong non-equilibrium effects in spin torque systems", arxiv:1610.09944]. Обобщено действие Амбегаокара-Эккерна-Шона и соответствующие уравнения движения, известные ранее только для зарядовой степени свободы (U(1) случай), на случай намагниченности (SU(2)). Ланжевенские силы в этих уравнениях определяются геометрической фазой. Показано, что получающее действие Амбегаокара-Эккерна-Шона приводит к другим силам Ланжевена, чем обычно используемый феноменологический подход на основе диссипативного действия Калдейры-Леггета. С помощью уравнений Ланжевена показано, что низкотемпературная диффузия намагниченности на сфере Блоха определяется геометрической фазой. Изучена задача о прецессии намагниченности в однодоменной ферромагнитной наночастице, связанной туннельными контактами с ферромагнитными резервуарами при наличии конечной разности потенциалов, которая приводит к появлению спинового крутящего момента. Найдено, что в случае медленной релаксации электронной функции распределения в наночастице, нефермиевская функция распределения приводит к исчезновению прецессии намагниченности, а при увеличении разности потенциалов происходит резкое переключение ориентации намагниченности.

Изучено неупругое сечение рассеяния электронов на металлической квантовой точке вблизи стоунеровской неустойчивости [E.V. Repin, I.S. Burmistrov "Inelastic electron scattering off a quantum dot in the cotunneling regime: The signature of mesoscopic Stoner instability", Phys. Rev. B 93, 165425 (2016)]. Результаты получены для режима сильной кулоновской блокады, когда сечение рассеяния определяется процессами котуннелирования. При наличии достаточно сильного обменного взаимодействия, квантовая точка имеет конечный спин в основном

состоянии. В этом, так называемом, режиме мезоскопической стоунеровской неустойчивости, найдено, что при низких температурах неупругое сечение рассеяния электронов с энергией близкой к химическому потенциалу отличается от неупругого сечения рассеяния на магнитной примеси с тем же спином. Это различие связано как с наличием низколежащих многочастичных состояний в квантовой точке, так и с корреляциями в туннельных амплитудах. Полученные результаты дают возможное объяснение отсутствия насыщения скорости сбоя фазы при низких температурах в недавних экспериментах N. Tenen et al. Phys. Rev. Lett. 109, 226403 (2012), в которых было обнаружено существование локальных спиновых капель в неупорядоченной электронной системе.

Изучено косвенное обменное взаимодействие магнитных примесей в (001) CdTe/HgTe/CdTe симметричной квантовой яме [P.D. Kurilovich, V.D. Kurilovich, and I.S. Burmistrov “Indirect exchange interaction between magnetic impurities in the two-dimensional topological insulator based on CdTe/HgTe/CdTe quantum wells”, Phys. Rev. B 94, 155408 (2016)]. Рассмотрен случай низких температур и химического потенциала, лежащего в щели двумерного квазичастичного спектра. Найдено, что косвенное обменное взаимодействие между магнитными примесями экспоненциально зависит от расстояния между ними. Учет асимметрии интерфейсов в квантовой яме приводит к осцилляциям косвенного обменного взаимодействия с расстоянием и появлению членов, которые не инварианты относительно поворота в плоскости (001). Косвенное обменное взаимодействие имеет сложную структуру, причем знак некоторых членов зависит от знака энергетической щели.

В рамках двухпетлевого приближения и метода фонового поля показано, что локальные чисто-скейлинговые операторы без производных в нелинейной сигма модели Финкельштейна могут быть построены прямым обобщением операторов известных для невзаимодействующего случая [E.V. Repin, I.S. Burmistrov “Mesoscopic fluctuations of the single-particle Green's function at Anderson transitions with Coulomb interaction”, arxiv:1609.02699]. Эти операторы описывают мезоскопические флуктуации одночастичной функции Грина и локальной плотности состояний. В рамках двухпетлевого приближения найдены аномальные размерности всех построенных операторов.

В работе I.S. Burmistrov, I.V. Gornyi, V.Yu. Kachorovskii, M.I. Katsnelson, A.D. Mirlin, “Quantum elasticity of graphene: Thermal expansion coefficient and specific heat”, arxiv:1609.00924 (принята в Phys. Rev. B) исследована термодинамика свободно подвешенной мембраны графена и вычислены фононные вклады в коэффициент термического расширения и теплоемкость. Показано, что взаимное влияние квантовых и классических ангармонических флуктуаций приводит к необычным упругим свойствам мембраны. Квантовые флуктуации контролируются безразмерным параметром, $g \ll 1$ (для графена $g = 0.05$), который равен нулю в классическом пределе. Показано, что коэффициент термического расширения отрицательный и остается почти постоянным вплоть до сверхнизкой температуры $T \sim \exp(-2/g)$. Найдено, что коэффициент термического расширения расходится в классическом пределе. При сверхнизких температурах коэффициент термического расширения логарифмически уменьшается до нуля с понижением температуры. Такое поведение отличается от обычного степенного вымерзания с температурой. Также получены результаты для теплоемкости и коэффициента Грюнайзена.

В работе V.A. Kozii, M.A. Skvortsov “Energy relaxation rate and its mesoscopic fluctuations in quantum dots”, Ann. Phys. 371, 20 (2016) проанализирована применимость золотого правила Ферми для описания релаксации квазичастиц в замкнутой диффузной квантовой точке с межэлектронным взаимодействием. Предполагая, что одночастичные уровни уже хорошо разрешены, но начальный этап релаксации все еще можно описывать с помощью экспоненциального затухания, вычислены как средняя скорость релаксации, так и ее мезоскопические флуктуации. Малость мезоскопических флуктуаций может быть использована в качестве апостериорного критерия применимости золотого правила Ферми. Технически, вычисления проводятся в рамках келдышевской диаграммной техники в реальном пространстве,

при этом корреляции в квазидискретном спектре учитываются непertурбативно с помощью нелинейной суперсимметричной сигма модели. Рассмотрен случай унитарной симметрии. Развитый подход является комплиментарным к решеточной модели фоковского пространства. В Без использования упрощающих предположений относительно матричных элементов взаимодействия, выведены точные выражения для мезоскопических флуктуаций скорости релаксации в ведущем порядке. Показано, что для квазичастицы с большой энергией (над тепловым состоянием) мезоскопические флуктуации ширины уровня становятся большими, приводя к нарушению золотого правила Ферми.

Проведен численный анализ перехода Андерсона на случайном регулярном графе с диагональным беспорядком [**K.S. Tikhonov**, A.D. Mirlin, **M.A. Skvortsov** "Anderson localization on random regular graphs", arXiv:1604.05353 (направлена в Phys. Rev. Lett)]. Задача может быть описана в рамках модели сильной связи на решетке из N узлов, локально имеющей структуру дерева с постоянным числом ветвления. В определенном смысле, данный ансамбль можно рассматривать как бесконечномерный аналог андерсоновской модели в d -измерениях. Подробно исследована делокализованная фаза и обнаружена важность учета эффектов конечного размера. Показано, что полученные данные могут быть интерпретированы в терминах кроссовера от малых $N \ll N_c$ к большим $N \gg N_c$ размерам, где N_c - корреляционный объем, экспоненциально расходящийся на переходе. Отличительной чертой этого кроссовера является немонотонность статистики спектра и волновых функций, связанная со свойствами критической фазы в рассматриваемой модели, что делает анализ при конечных значениях N крайне нетривиальным. Полученные результаты подтверждают аналитическое предсказание о том, что состояния в делокализованной фазе являются эргодическими с обратной долей участия растущей как $1/N$.

В работе **A.E. Svetogorov** and **Yu. Makhlin** "Non-adiabatic geometric phases and dephasing in an open quantum system", Письма в ЖЭТФ 103, 602 (2016) исследовано влияние шума на геометрические фазы в квантовой системе в случае неадиабатической эволюции. Рассмотрены случаи слабого коротко-коррелированного шума, а также квазистационарного шума. Найдены диссипативные поправки к фазе, а также соответствующий вклад в разрушение когерентности. В связи с недавними экспериментами получены также главные неадиабатические поправки к результатам, известным для адиабатического предела.

В работе P. Schad, A. Shnirman, and **Yu. Makhlin** "Using Majorana spin-1/2 representation for the spin-boson model" Phys. Rev. B 93, 174420 (2016) показано, что майорановское представление для спиновых операторов позволяет эффективно использовать теоретико-полевые методы для изучения спиновой динамики. В дополнение к этому широкий класс спиновых корреляционных функций удастся выразить через корреляторы майорановских операторов того же порядка (в отличие от прямолинейного подхода, в котором порядок удваивается), что упрощает вычисления. Для спин-бозонной модели использование построенного метода приводит к быстрому вычислению корреляций поперечных компонент спина. Однако, для продольных компонент полученный результат не соответствует длинно-временному поведению. Обнаружена причина такого расхождения, а также предложен подход, позволяющий эффективно вычислять все спиновые корреляции. Предложенный удобный и точный метод основан на выражении спиновых операторов через поперечные майорановские фермионы; показано, что корреляторы этих поперечных фермионов легко вычисляются с использованием эффективного гауссова действия.

Исследована модель спиновой жидкости Китаева на шестиугольной решетке с возмущением в виде магнитного поля, направленного вдоль одной из главных осей [**A.V. Lunkin**, **K.S. Tikhonov**, **M.V. Feigel'man** "Long-range spin correlations in a honeycomb spin model with magnetic field" Письма в ЖЭТФ 103, 124 (2016)]. Вычислена асимптотика динамической корреляционной спиновой функции на больших временах и расстояниях.

Для спиновой цепочки с XXZ-обменом исследован распад бозонных возбуждений системы с низкими частотами (по сравнению с температурой) из-за рассеяния на тепловых квазичастицах, возникающий при учете нелинейности спектра фермионов Йордана-Вигнера около Ферми-поверхности [I.V. Poboiko, M.V. Feigel'man "Spin correlation functions and decay of quasiparticles in XXZ spin chain at $T>0$ ", arXiv:1608.05937, принята в Phys. Rev. B]. Найдена ширина спектральной линии и асимптотика корреляционной функции спин-спин на больших временах и расстояниях.

Раздел 3.2. Образовательная деятельность.

Сотрудники лаборатории принимают активное участие в образовательном процессе МФТИ:

1. Ю.Г. Махлин ведет курс "Диаграммные методы" для студентов 3-го курса на кафедре Проблем теоретической физики (ФОПФ)
2. М.А. Скворцов читал курс лекций "Функциональные интегралы в теории твердого тела" для студентов 5 курса (весенний семестр 2015 г., кафедра Проблем теоретической физики).
3. И.С. Бурмистров ведет курс «Квантовые явления в наноструктурах» для студентов 5-го курса кафедры «Физика и технология наноструктур».
4. Я.В. Фоминов читает курс лекций "Транспорт в мезоскопических системах" (для студентов 5-го курса).
5. К.С. Тихонов в весеннем семестре 2016 г. вел курс "Задачи по квантовой механике" для 3-курсников.
6. А.С. Иоселевич читает курс "Теория протекания и фракталы" для 3-курсников кафедры Проблем теоретической физики.
7. И.В. Загороднев ведет семинары по курсу "Квантовая механика" на кафедре теоретической физики МФТИ.
8. Силами сотрудников Лаборатории организованы факультетские лекции (М.В. Фейгельман, М.А. Скворцов, Я.В. Фоминов, А.С. Иоселевич) и семинары (И.В. Побойко, Н.А. Степанов, А.Е. Светогоров) по курсу "Приближенные методы аналитических вычислений" для студентов 2-го курса ФОПФ.
9. Курс "Теория конденсированного состояния: современные проблемы" читают М.В. Фейгельман, А.С. Иоселевич, Я.В. Фоминов, И.С. Бурмистров и Ю.Г. Махлин.
10. Д.С. Антоненко, Н.А. Степанов и И.В. Побойко в осеннем семестре ведут "Семинар по квантовой механике" для 3-курсников.

Под руководством сотрудников лаборатории в 2016 г. защищено 5 магистерских дипломных работ, 3 бакалаврских и планируется 1 защита кандидатской диссертации (30 декабря 2016 г.). Подробно об этом написано в разделе 5.2.

4. Планы деятельности лаборатории на следующие 2017-2018 гг

В данном разделе необходимо отразить план работ лаборатории на 2017-2018 гг. Описание плана работы лаборатории должно включать 1-2 страницы текстовой информации об этапах развития основных направлений деятельности лаборатории на следующие 2017-2018 гг с обоснованием актуальности продолжения (или начала) работ.

Планируется продолжить научную и образовательную работу по всем направлениям деятельности лаборатории, перечисленным выше, в разделе 1.2. Ниже приведены конкретные актуальные научные задачи, на решение которых будут направлены основные усилия лаборатории. Многие из этих задач продолжают начатые в 2014-2016 гг исследования в лаборатории, однако, есть и принципиально новые.

Планируется продолжить теоретическое изучение механизмов взаимодействия вихрей в сверхпроводниках с лазерным излучением и возможности реализации оптически управляемых джозефсоновских контактов с перестраиваемым ток-фазовым соотношением.

Представляет интерес изучить влияние особенностей зонной структуры сильных ферромагнетиков (полуметаллов) на эффект спинового вентиля в гибридных системах сверхпроводник/ферромагнетик/полуметалл и на ток-фазовые характеристики джозефсоновских фи-контактов, содержащих слой полуметалла.

Планируются теоретические исследования когерентных транспортных процессов в сверхпроводящих контактах, содержащих материалы с нарушенной симметрией обращения времени.

Планируется рассмотреть котуннелирование в гранулированном металле в рамках модели с переменными интегралами перекрытия со случайными зарядами на узлах. При учете упругой связи зарядов, расположенных в узлах матрицы, следует ожидать возникновение поляронного эффекта, который обычно обеспечивает смену закона Мотта на закон Аррениуса в проводимости.

Также планируется изучение транспорта в квазиодномерных системах с неборновскими эффектами в рассеянии. Спектр электрона в идеальной квазиодномерной системе состоит из набора одномерных подзон, характеризуемых квантовыми числами поперечного квантования. Плотность состояний имеет корневую особенность вблизи дна каждой такой подзоны. Наличие этих особенностей приводит к тому, что даже слабо притягивающая примесь с неизбежностью образует серию квазистационарных состояний — по одному вблизи каждой подзоны. При прохождении уровня Ферми через такое состояние должны возникать особенности в проводимости.

Планируются исследования джозефсоновской ток-фазовой характеристики СКВИДов, состоящих из двух магнитных рукавов, так что средний по ансамблю сверхпроводящий ток сильно подавлен, а фактическое значение тока определяется мезоскопическими флуктуациями. Ожидается, что в этих условиях должна наблюдаться зависимость критического тока СКВИДа от потока в его петле с периодом в два раза большим, чем обычный сверхпроводящий квант потока.

Планируется изучение низкотемпературного адиабатического транспорта в двумерной электронной системе в сильном магнитном поле на искривленной поверхности. Будет рассмотрено совместное влияние коротко-коррелированного беспорядка и электрон-электронного взаимодействия на адиабатический транспорт. Для решения поставленной задачи будет использоваться подход нелинейной сигма-модели, обобщенный на случай искривленной двумерной поверхности.

Запланировано продолжение изучения косвенного обменного взаимодействия в двумерных топологических изоляторах на основе CdTe/HgTe/CdTe квантовых ям. Также планируется изучение влияния магнитных примесей расположенных вблизи границы на кондактанс геликолидальных краевых состояний.

5. Плановые результаты и показатели деятельности лаборатории

5.1 Достижение плановых показателей деятельности лаборатории

№	Наименование показателя	2016	
		План	Факт
1	Количество публикаций в журналах с импакт-фактором не ниже 2,5 (по Journal Citation Reports), индексируемых Web of Science, не менее	12	13+4 ²
2	Суммарный импакт-фактор публикаций в журналах с импакт-фактором не ниже 2,5 (по Journal Citation Reports), индексируемых Web of Science, не менее	50	55.369+18.799 ³
3	Количество планируемых докладов сотрудников лаборатории на международных конференциях, не менее	8	24
4	Объем самостоятельно привлекаемых грантов и контрактов, млн. руб., не менее	4.5	0
5	Количество защит кандидатских диссертаций, не менее	2	2 ⁴
6	Количество защищенных дипломных работ (бакалаврских и магистерских), не менее	4	8

5.2 Расшифровка достигнутых показателей деятельности лаборатории

Пожалуйста, приведите расшифровку по каждому пункту таблицы показателей вашей лаборатории:

- выходные данные статей с указанием импакт-фактора журнала,

1. E.V. Repin, **I.S. Burmistrov** “Inelastic electron scattering off a quantum dot in the cotunneling regime: The signature of mesoscopic Stoner instability”, Phys. Rev. B 93, 165425 (2016). Impact Factor: 3.718.
2. **I.S. Burmistrov**, I.V. Gornyi, A.D. Mirlin “Local density of states and its mesoscopic fluctuations near the transition to a superconducting state in disordered systems”, Phys. Rev. B 93, 205432 (2016). Impact Factor: 3.718.
3. **P. D. Kurilovich, V. D. Kurilovich, and I. S. Burmistrov** “Indirect exchange interaction between magnetic impurities in the two-dimensional topological insulator based on CdTe/HgTe/CdTe quantum wells”, Phys. Rev. B 94, 155408 (2016). Impact Factor: 3.718.
4. **I.S. Burmistrov**, I.V. Gornyi, V.Yu. Kachorovskii, M.I. Katsnelson, A.D. Mirlin “Quantum elasticity of graphene: Thermal expansion coefficient and specific heat”, принята в Phys. Rev. B (arxiv:1609.00924). Impact Factor: 3.718.
5. E. Goldobin, **S. Mironov**, A. Buzdin, R.G. Mints, D. Koelle, and R. Kleiner, “Effective model for a short Josephson junction with a phase discontinuity”, Phys. Rev. B 93, 134514 (2016). Impact Factor: 3.718.

² Здесь и в строчке ниже первое слагаемое в сумме отражает опубликованные статьи, второе слагаемое соответствует статьям, направленным в печать (если статьи будут приняты в направленные журналы)

³ Импакт-фактор рассчитывался по Journal Citation Reports 2015

⁴ Защита диссертации А.В. Штыка назначена на 30 декабря 2016

6. **S. Mironov**, Zh. Devizorova, A. Clergerie and A. Buzdin, "Magnetic mapping of defects in type-II superconductors", Appl. Phys. Lett. 108, 212602 (2016). Impact Factor: 3.142.
7. I.S. Veshchunov, W. Magrini, **S.V. Mironov**, A.G. Godin, J.-B. Trebbia, A.I. Buzdin, Ph. Tamarat & B. Lounis "Optical manipulation of single flux quanta", Nat. Commun. 7, 12801 (2016). Impact Factor: 11.329.
8. P. Schad, A. Shnirman, and **Yu. Makhlin** "Using Majorana spin-1/2 representation for the spin-boson model" Phys. Rev. B 93, 174420 (2016). Impact Factor: 3.718.
9. **Yakov V. Fominov, Mikhail A. Skvortsov** "Subgap states in disordered superconductors with strong magnetic impurities", Phys. Rev. B 93, 144511 (2016). Impact Factor: 3.718.
10. P.V. Leksin, N.N. Garif'yanov, A.A. Kamashev, A.A. Validov, **Ya.V. Fominov**, J. Schumann, V. Kataev, J. Thomas, B. Büchner, I. A. Garifullin "Isolation of proximity-induced triplet pairing channel in a superconductor/ferromagnet spin valve", Phys. Rev. B 93, 100502 (2016). Impact Factor: 3.718.
11. P.A. Ioselevich, P.M. Ostrovsky, and **M.V. Feigel'man** "Josephson current between topological and conventional superconductors", Phys. Rev. B 93, 125435 (2016). Impact Factor: 3.718.
12. I.V. Poboiko and **M.V. Feigel'man** "Spin correlation functions and decay of quasiparticles in XXZ spin chain at $T > 0$ ", принята в Phys. Rev. B (arXiv:1608.05937). Impact Factor: 3.718.
13. E. Khalaf, **M.A. Skvortsov**, P. M. Ostrovsky, "Semiclassical electron transport at the edge of a 2D topological insulator: Interplay of protected and unprotected modes", Phys. Rev. B 93, 125405 (2016). Impact Factor: 3.718.

Направлены в печать

14. **E.V. Repin, I.S. Burmistrov** "Mesoscopic fluctuations of the single-particle Green's function at Anderson transitions with Coulomb interaction", arxiv:1609.02699. Направлена в Phys. Rev. B. Прогнозируемый Impact Factor: 3.718.
15. T. Ludwig, **I.S. Burmistrov**, Y. Gefen, A. Shnirman "Strong non-equilibrium effects in spin torque systems, arxiv:1610.09944. Направлена в Phys. Rev. B. Прогнозируемый Impact Factor: 3.718.
16. **A.V. Shtyk** and **M.V. Feigel'man** "Ultrasonic attenuation in a pseudogapped superconductor", arXiv:1609.01683. Направлена в Phys. Rev. B. Прогнозируемый Impact Factor: 3.718.
17. **K. S. Tikhonov**, A. D. Mirlin, **M.A. Skvortsov** "Anderson localization on random regular graphs", arXiv:1604.05353. Направлена в Phys. Rev. Lett. Прогнозируемый Impact Factor: 7.645.

Опубликованные работы с импакт-фактором менее 2.5

18. **I.S. Burmistrov** "Two-loop renormalization of the Finkel'stein theory: The specific heat", Ann. Phys. (N.Y.) 364, 120 (2016). Impact Factor: 2.375.
19. V.A. Kozii, **M.A. Skvortsov** "Energy relaxation rate and its mesoscopic fluctuations in quantum dots", Ann. Phys. 371, 20 (2016). Impact Factor: 2.375.
20. **A.E. Svetogorov** and **Yu. Makhlin** "Non-adiabatic geometric phases and dephasing in an open quantum system", Письма в ЖЭТФ 103, 602 (2016). Impact Factor: 1.172.
21. **A.V. Lunkin, K.S. Tikhonov**, and **M.V. Feigel'man** "Long-range spin correlations in a honeycomb spin model with magnetic field", JETP Letters 103, 124 (2016). Impact Factor: 1.172.
22. Shnirman, A. Saha, **I.S. Burmistrov**, M.N. Kiselev, A. Altland, Y. Gefen "U(1) and SU(2) quantum dissipative systems: the Caldeira-Leggett versus Ambegaokar-Eckern-Schön approaches", ЖЭТФ 149, 666 (2016). Impact Factor: 0.953.

- перечень докладов сотрудников лаборатории на международных конференциях,

1. **Yakov Fominov**, Pavel Ioselevich, Pavel Ostrovsky, and **Mikhail Feigel'man** "Cooper pair splitting in diffusive magnetic SQUIDs" MIPT Conference & International School "Superconducting hybrid nanostructures: physics and application", 19-26 сентября 2016 г. (устный) <http://shn-mipt.com>
2. **I.S. Burmistrov**, I.V. Gornyi, A.D Mirlin "Superconductor-insulator transitions: phase-diagram, magnetoresistance and local density of states", MIPT Conference & International School "Superconducting hybrid nanostructures: physics and application", 19-26 сентября 2016 г. (устный) <http://shn-mipt.com>
3. **I.S. Burmistrov** "Mesoscopic fluctuations of the single-particle Green's function at Anderson transitions with Coulomb interaction" Workshop on "Anderson Localization in Topological Insulators", Южная Корея, Даеджон, сентябрь 2016 г. (приглашенный) http://pcs.ibs.re.kr/PCS_Workshops/PCS_Anderson_Localization_in_Topological_Insulators.html
4. **I.S. Burmistrov** "Geometric quantum noise of spin". VI Euro-Asian Symposium "Trends in Magnetism", Россия, Красноярск, август 2016 г (приглашенный) <http://eastmag2016.kirensky.ru>
5. **I.S. Burmistrov** "Mesoscopic fluctuations of the single-particle Green's function at Anderson transitions with Coulomb interaction". International Focus Workshop "Disorder, Interactions and Coherence: Warps and Delights", Германия, Дрезден, июль 2016 г. (приглашенный) <https://www.mpipks-dresden.mpg.de/dic16>
6. **I.S. Burmistrov** "Mesoscopic fluctuations of the local density of states near the transition to superconducting state" XX International Symposium "Nanophysics and Nanoelectronics", Россия, г. Нижний Новгород, 14 – 18 марта 2016 г. (приглашенный) <http://nanosymp.ru/ru/archive>
7. **S. Mironov**, Zh. Devizorova, and A. Buzdin "Proximity effect in superconducting heterostructures with a half-metallic layer" , MIPT Conference & International School "Superconducting hybrid nanostructures: physics and application", 19-26 сентября 2016 (устный). <http://shn-mipt.com>
8. **С.В. Миронов**, А.И. Буздин, «Триплетный эффект близости в сверхпроводниковых гетероструктурах, содержащих слой полуметалла (half-metal)», XX International Symposium "Nanophysics and Nanoelectronics", 14 – 18 марта 2016 г., г. Нижний Новгород, Россия (приглашенный). <http://nanosymp.ru/ru/archive>
9. **S. Mironov**, "In-plane FFLO instability in superconducting heterostructures with a half-metallic layer", International workshop "FFLO-Phase in Quantum Liquids, Quantum Gases, and Nuclear Matter", 20 June - 24 June 2016, Max Planck Institute for the Physics of Complex Systems, Dresden, Germany (постер). <https://www.mpipks-dresden.mpg.de/fflo16>
10. **I.V. Zagorodnev**, Zh.A. Devizorova, V.V. Enaldiev, A.V. Frolov, V.A. Volkov, "A possible manifestaion of edge states in graphene", Graphene Week 2016, Warsaw, Poland, 13-17 июня 2016, (постер). <http://graphene-flagship.eu/grapheneweek/editions/2016/conference/programme>
11. Zh. Devizorova, **I. Zagorodnev**, V. Enaldiev "Resonant electron scattering by a graphene antidot" Graphene Week 2016, Warsaw, Poland, 13-17 июня 2016, Abstract Book p. 411 (постер). <http://graphene-flagship.eu/grapheneweek/editions/2016/conference/programme>
12. **I.V. Zagorodnev**, V.V. Enaldiev, V.A. Volkov, "Role of boundary conditions in topological insulators", The Joint conference New Trends in Topological Insulators 2016 and 17th International Conference on Narrow Gap Semiconductors, Wuerzburg, Germany, 24 – 29 июля 2016 (постер). <http://www.physik.uni-wuerzburg.de/aktuelles/veranstaltungen/ngs17/ngs17>
13. **Daniil Antonenko**, **Mikhail Skvortsov** "Superconductivity suppression in disordered films: 3D vs 2D" Международная школа "The Frontiers of quantum matter" 11 - 16 сентября 2016, Bad Honnef, Германия (постер). <http://www.dpg-physik.de/dpg/pbh/aktuelles/S216.html>

14. **P.D. Kurilovich, V.D. Kurilovich and I.S. Burmistrov** “Indirect exchange interaction between magnetic impurities in the twodimensional topological insulator based on CdTe/HgTe/CdTe quantum wells”, Международная школа "The Frontiers of quantum matter" 11 - 16 сентября 2016, Bad Honnef, Германия (постер). <http://www.dpg-physik.de/dpg/pbh/aktuelles/S216.html>
15. **V.D. Kurilovich, P.D. Kurilovich and I.S. Burmistrov** “Indirect exchange interaction between magnetic impurities near the edge of 2D topological insulator”, Международная школа "The Frontiers of quantum matter" 11 - 16 сентября 2016, Bad Honnef, Германия (постер). <http://www.dpg-physik.de/dpg/pbh/aktuelles/S216.html>
16. **M.V. Feigel'man** “Spontaneous inhomogeneity in disordered superconducting films”, International CPTGA workshop “Strongly disordered and inhomogeneous superconductivity”, 21-22 ноября 2016, Grenoble, France (приглашенный) <http://lpmmc.grenoble.cnrs.fr/spip.php?article616&lang=fr>
17. **K. Tikhonov** “Admittance of a long diffusive SNS junction””, International CPTGA workshop “Strongly disordered and inhomogeneous superconductivity”, 21-22 ноября 2016, Grenoble, France (приглашенный) <http://lpmmc.grenoble.cnrs.fr/spip.php?article616&lang=fr>

Кроме того, при активном участии сотрудников лаборатории организована международная конференция “Landau Days”, проходившая 20-22 июня 2016 г. в г. Черноголовка, Московская область, <http://landaudays.itp.ac.ru/ld2016>. На конференции выступили с докладами сотрудники лаборатории:

18. **I.S. Burmistrov** “Indirect exchange interaction between magnetic impurities in the two-dimensional topological insulator based on CdTe/HgTe/CdTe quantum wells” (устный)
19. **A.V. Shtyk** "Ultrasonic attenuation in a pseudogapped superconductor" (устный)

Также организована конференция “Localization, Interactions and Superconductivity”, проходившая 27 июня – 1 июля 2016 г. в г. Черноголовка, Московская область, <http://intgroup.itp.ac.ru/conf2016.html>. На конференции выступили с докладами сотрудники лаборатории:

20. **M. Feigel'man** "Low-temperature anomalies in disordered superconducting films close to upper critical field" (устный)
21. **K. Tikhonov** "Anderson localization on random regular graphs" (устный)
22. **M. Skvortsov** "Superconductivity suppression in disordered films: 3D vs 2D" (устный)
23. **E. Repin** "Mesoscopic fluctuations of single-particle Green's function at Anderson transitions with Coulomb interaction" (постер)
24. **A. Svetogorov** "Non-adiabatic geometric phases and dephasing in an open quantum system" (постер)

- защита диссертаций и дипломных работ

1. **И.В. Загороднев** «05» февраля 2016 г. защитил диссертацию “Краевые электронные возбуждения в графене и 2D топологическом изоляторе на основе квантовых ям Cd(Hg)Te” по специальности 01.04.10 – “физика полупроводников” в диссертационном совете Д.002.231.01 на базе ИРЭ им. В.А. Котельникова РАН, <http://www.cplire.ru/rus/dissertations/Zagorodnev/index.html>
2. Защита диссертации **А.В. Штыка** “Кинетика электрон-фононных процессов и флуктуации в неупорядоченных проводниках и сверхпроводниках” по специальности 01.04.02 — “теоретическая физика” назначена на 30 декабря 2016 г. в диссертационном совете Д.002.207.01 на базе ИТФ им. Л.Д. Ландау, <http://www.itp.ac.ru/ru/dissertation-council>

Защищенные магистерские дипломы (<http://chair.itp.ac.ru/index.php?sub=about/alumni>):

1. **Д.С. Антоненко** "Подавление сверхпроводимости в разупорядоченных пленках: диффузионный и баллистический вклады", научный руководитель **М.А. Скворцов**
2. **И.В. Побойко** "Тепловой транспорт в одномерной спиновой цепочке с беспорядком", научный руководитель **М.В. Фейгельман**
3. **Е.В. Репин** "Мезоскопические флуктуации одночастичной функции Грина вблизи перехода Андерсона с взаимодействием", научный руководитель **И.С. Бурмистров**
4. **А.Е. Светогоров** "Неадиабатические геометрические фазы и дефазировка в открытых квантовых системах" научный руководитель **Ю.Г. Махлин**
5. **Н.А. Степанов** "Флуктуационная проводимость чистых сверхпроводящих пленок", научный руководитель **М.А. Скворцов**

Защищенные бакалаврские дипломы (<http://chair.itp.ac.ru/index.php?sub=about/bakalu>)

6. **П.Д. Курилович** "Косвенное обменное взаимодействие магнитных примесей в квантовой яме CdTe/HgTe/CdTe", научный руководитель **И.С. Бурмистров**
7. **В.Д. Курилович** "Косвенное обменное взаимодействие магнитных примесей, расположенных вблизи края двумерного топологического изолятора", научный руководитель **И.С. Бурмистров**
8. **А.В. Лункин** диплом бакалавра "Корреляционные функции спиновой жидкости в модели Китаева с внешним полем", научный руководитель **М.В. Фейгельман и К.С. Тихонов**

- реквизиты и стоимость (общая и на 2016 г) договоров, контрактов, соглашений о грантах. и т.д.

1. Договор № 3-10/2014н от 15 октября 2014 г. на выполнение НИР. Заказчик – ИТФ им. Л.Д. Ландау РАН, исполнитель – МФТИ. Стоимость работ: 1500 тыс. руб.
2. Договор №1-04/2015н от 15 апреля 2015 г. на выполнение НИР. Заказчик – ИТФ им. Л.Д. Ландау РАН, исполнитель – МФТИ. Стоимость работ: 1500 тыс. руб.
3. Договор № 2-07/2015н от 20 июля 2015 г. на выполнение НИР. Заказчик – ИТФ им. Л.Д. Ландау РАН, исполнитель – МФТИ. Стоимость работ: 1500 тыс. руб.

Общая стоимость договоров: 4,5 млн. руб.

6. Объяснения расхождение плановых и фактически достигнутых значений показателей деятельности лабораторий

Раздел заполняется в случае невыполнения запланированных показателей деятельности лабораторий.

7. Список закупленного оборудования в 2016 году

В разделе необходимо отразить перечень закупленного оборудования за счет средств лаборатории с указанием цены и обоснованием необходимости его закупки.

Оборудование не закупалось.

8. Список закупленных основных расходных материалов в 2016 году

В разделе необходимо отразить перечень закупленных основных расходных материалов за счет средств лаборатории с указанием цены и обоснованием необходимости их закупки.

Расходные материалы не закупались.

9. Стоимость проекта

ФЛС № _____ 10185.02.05.212м07

Статья расходов	Сумма, млн. руб.
	2016 г
Затраты на оплату труда	7888000
Налоги	2382176
Оборудование	0
Расходные материалы и комплектующие	0
Командировки	229824
Прочие расходы, непосредственно связанные с деятельностью лаборатории	0
Итого	10500000

9. Другая информация

В разделе можно указать любую дополнительную информацию о деятельности лаборатории в 2016 году.