

# Лаборатория теоретической нанофизики

## Аннотационный годовой отчет за 2014 г.

### 1. Общая информация

#### 1.1. Заведующий лаборатории

Фейгельман Михаил Викторович, д.ф.-м.н., профессор

+7-903-799-13-50

mvfeigel@gmail.com

#### 1.2. Фотография заведующего лаборатории



#### 1.3 Краткое описание направлений деятельности лаборатории (2-3 абзаца)

Лаборатория теоретической нанофизики специализируется на развитии теории квантовых транспортных процессов в твердотельных структурах субмикронных размеров. Основные направления исследований вкратце описаны ниже.

##### **Мезоскопические электронные системы**

Слово мезоскопика в физике используется для обозначения сравнительно малых систем, 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  $L_\varphi$ , на которой сохраняется фаза волновой функции электрона. В процессах, происходящих на размерах  $L < L_\varphi$ , 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 вызываются 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

потребуется 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

№	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	Александров Дмитрий Анатольевич		м.н.с., зам. зав.лаб.	штатный сотрудник
3	Иоселевич Алексей Соломонович	д.ф.м.н., доцент	в.н.с.	совместитель
4	Скворцов Михаил Андреевич	д.ф.м.н., доцент	в.н.с.	совместитель
5	Махлин Юрий Генрихович	член-корреспондент РАН, д.ф.м.н., доцент	в.н.с.	совместитель
6	Фоминов Яков Викторович	к.ф.м.н., доцент	с.н.с.	совместитель
7	Тихонов Константин Сергеевич	к.ф.м.н.	м.н.с.	совместитель
8	Иоселевич Павел Алексеевич		инженер	совместитель
9	Шарафутдинов Азат Уралович		инженер	совместитель
10	Побойко Игорь Валерьевич		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	Сивак Владимир		техник	совместитель

	Владимирович			
16	Мурзалиев Бектур Артурович		инженер	совместитель
17	Аванесова Ирина Владимировна		инженер	штатный сотрудник

## 2.2 Сотрудники иных подразделений, привлекавшиеся к работе лаборатории

№	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	Болбот Елена Александровна		ведущий инженер	лаборатория физики нелинейных процессов
3	Гуцалюк Артур Александрович		инженер	лаборатория теоретической нанопизики
4	Чиркина Евгения Юрьевна		ведущий инженер	лаборатория физики нелинейных процессов
5	Кравцов Владимир Евгеньевич	к.ф.м.н.		
6	Савинов Денис Александрович	к.ф.м.н.		

## 3. Основные результаты работы лаборатории за 2014 г.

### Раздел 1. Научные исследования

В 12 научных работах, законченных сотрудниками Лаборатории в 2014 году, получены пионерские результаты по шести (из общего числа 8) основным направлениям исследований.

В области теории мезоскопических электронных систем опубликовано 4 работы (все — в *Physical Review B*) со следующими результатами:

Исследовано поведение туннельной плотности состояний неупорядоченной электронной системы с кулоновским взаимодействием на диэлектрической стороне перехода Андерсона. Показано, что локальная плотность состояний испытывает сильные флуктуации, скоррелированные на больших пространственных масштабах, которые отражают мультифрактальность поведения электронных волновых функций [1].

Исследованы эффекты кулоновской блокады при туннелировании электрона через длинный кусок тонкой проволоки с полным сопротивлением  $R \gg h/e^2$ , когда существенна динамика внутренних электронных степеней свободы в проволоке. Обнаружена область широкая температур, в которой имеется степенная зависимость полной туннельной проводимости от температуры  $G(T) \sim T^\alpha$  с нетривиальным показателем  $\alpha$ , зависящим от длины проволоки и положения контактов на ней [2].

Детально исследованы спиновые восприимчивости в квантовых точках и наночастицах. Выяснена роль флуктуаций одночастичных уровней энергии для развития стоунеровской неустойчивости с образованием ферромагнитного момента в квантовых точках. Несмотря на сильные флуктуации одночастичных уровней энергии, спиновая восприимчивость и все ее моменты расходятся одновременно в точке, которая определяется с помощью стандартного критерия неустойчивости Стоунера [3,4].

В области теории сверхпроводящих гибридных структур завершены 2 работы (одна опубликована в *Physical Review B*, вторая направлена в печать в *Physical Review B*):

Исследованы динамические свойства SNS перехода с заданной разностью фаз сверхпроводников на двух берегах под действием слабого высокочастотного внешнего напряжения. Вычислена вещественная и мнимая части линейной высокочастотной проводимости как функции статической разности фаз  $\phi$  при произвольном соотношении между частотой, температурой и энергией Таулеса. Полученные результаты находятся в хорошем согласии с экспериментом [5].

Исследованы симметрии и магнитные свойства куперовских пар, возникающих как субдоминантные сверхпроводящие корреляции в неоднородных сверхпроводниках. Частотная симметрия, пространственная четность и тип магнитного отклика этих субдоминантных сверхпроводящих компонент оказываются противоположны аналогичным характеристикам доминантных компонент в объеме. Показано, что куперовские пары можно разбить на восемь разных классов, учитывающих их симметрии и магнитные свойства. Аномальные

магнитные свойства субдоминантных компонент должны проявляться в эффекте Мейсснера [6].

В области теории квантовых фазовых переходов опубликована работа в Nature Physics,

в которой построена теория наведенной сверхпроводимости в графене. Результаты теории хорошо согласуются с экспериментом. Сверхпроводящие свойства оказываются сильно чувствительными к электрическому потенциалу затвора, меняющего плотность электронов в графене. Продемонстрирован квантовый фазовый переход сверхпроводник-металл: при изменении затворного напряжения на несколько вольт, система переходит из сверхпроводящего состояния с критическим током в резистивное состояние с сопротивлением порядка 10 кОм [7].

В области спинтроники опубликована работа в журнале J. Magn. Magn. Materials:

Дан обзор недавних экспериментов по реализации сверхпроводящего триплетного спинового клапана и проведен теоретический анализ полученных результатов, который демонстрирует хорошее качественное согласие теории и эксперимента [8].

В области теории двумерного электронного газа выполнены 2 работы (опубликованы в Physical Review Letters):

Исследованы процессы сбой фазовой когерентности электронов в графене, вызванные взаимодействием электронов с изгибными фононами (деформациями плоскости графена). Обнаружено, что изгибные фононы приводят к декогерентности, сравнимой с эффектом электрон-электронного взаимодействия. Вычислен соответствующий вклад в скорость сбой фазы широком диапазоне электронной плотности  $n$  и температуры  $T$ . Мы обнаружили, что скорость сбой фазы является немонотонной функцией электронной концентрации  $n$ . Это необычное поведение обнаруженного вклада может позволить его обнаружение в экспериментах по изучению эффектов слабой локализации в магнетосопротивлении графена [9].

Исследованы квантовые интерференционные эффекты в двумерном киральном металле с вакансиями. Показано, что случайно распределенные вакансии представляют собой особый тип беспорядка, который существенно модифицирует критическое поведение на энергиях вблизи центра зоны по сравнению со случаем обычного неупорядоченного кирального металла. Вычислено асимптотическое поведение средней плотности состояний и корреляционной длины в пределе малых энергий. В случае разных концентраций вакансий в двух подрешетках возникает конечная концентрация нулевых мод,

приводящая в квазиклассическом приближении к образованию щели в плотности состояний вблизи нулевой энергии. Флуктуационные эффекты размывают эту щель, приводя к экспоненциально малой плотности состояний на низких энергиях [10].

В области теории топологических изоляторов и сверхпроводников выполнены 2 работы (обе опубликованы в Physical Review B):

Исследован полуцелый квантовый эффект Холла для одной копии дираковских фермионов на поверхности топологического изолятора. Проанализированы возможности экспериментального измерения полуцелого значения холловской проводимости. В квазиклассическом режиме вычислен тензор проводимости для ситуации аномального эффекта Холла. Построена теория, описывающая квантовые (локализационные) эффекты в режиме квантового эффекта Холла для одной копии дираковских фермионов [11].

Проведена топологическая классификация возможных фаз топологических изоляторов с симметрией планарной фазы сверхтекучего гелия-3. По сравнению с В-фазой (класс DIII) она обладает дополнительной симметрией, которая меняет топологию пространства допустимых одночастичных гамильтонианов. Методами гомотопической топологии явно исследованы возникающие топологические типы возможных фаз и явно описаны возникающие топологические инварианты в различных размерностях. Кроме того, показано, что соответствие между топологическими инвариантами в объеме и свойствами краевых состояний в В-фазе может быть выведено из соответствующих свойств двумерной планарной фазы, что дает новое понимание теоремы об индексе для этого случая [12].

Список цитированных выше публикаций (выделены авторы публикаций, являющиеся сотрудниками Лаборатории):

[1] **I.S. Burmistrov**, I.V. Gornyi, A.D. Mirlin, «*Tunneling into the localized phase near Anderson transitions with Coulomb interaction*», Phys. Rev. B **89**, 035430 (2014).

[2] **M.V. Feigel'man and A.S. Ioselevich**, «*Coulomb blockade for tunneling through a long island*», Phys. Rev. B **90**, 115108 (2014).

[3] D.S. Lyubshin, **A.U. Sharafutdinov, I.S. Burmistrov**, «*Statistics of spin fluctuations in quantum dots with Ising exchange*», Phys. Rev. B **89**, 201304(R) (2014).

[4] D.S. Lyubshin, **A. U. Sharafutdinov, I.S. Burmistrov**, «*Spin fluctuations in quantum dots*», Phys. Rev. B **90**, 195308 (2014).

[5] **K.S. Tikhonov and M.V. Feigel'man**, «*Admittance of a long diffusive SNS junction*»

(направлено в Phys. Rev. B., октябрь 2014)



- [6] Y. Asano, **Ya. V. Fominov**, Y. Tanaka, «*Consequences of bulk odd-frequency superconducting states for the classification of Cooper pairs*», Phys. Rev. B **90**, 094512 (2014).
- [7] Zheng Han, Adrien Allain, Hadi Arjmandi-Tash, **Konstantin Tikhonov**, **Mikhail Feigel'man**, Benjamin Sacépé, and Vincent Bouchiat, «*Collapse of superconductivity in a hybrid tin-graphene Josephson junction array*», Nature Physics **10**(5), 380 (2014).
- [8] I. A. Garifullin, P. V. Leksin, N. N. Garif'yanov, A. A. Kamashev, **Ya. V. Fominov**, J. Schumann, Y. Krupskaya, V. Kataev, O. G. Schmidt, B. Büchner, «*The superconducting spin valve and triplet superconductivity*», J. Magn. Magn. Mater. **373**, 18 (2015).
- [9] **K.S. Tikhonov**, W.L.Z. Zhao, A.M. Finkel'stein, «*Dephasing Time in Graphene Due to Interaction with Flexural Phonons*», Phys. Rev. Lett. **113**, 076601 (2014).
- [10] P. M. Ostrovsky, I. V. Protopopov, E. J. König, I. V. Gornyi, A. D. Mirlin, and **M. A. Skvortsov**, «*Density of States in a Two-Dimensional Chiral Metal with Vacancies*», Phys. Rev. Lett. **113**, 186803 (2014).
- [11] E.J.Koenig, P.M. Ostrovsky, I.V. Protopopov, I.V. Gornyi, **I.S. Burmistrov**, A.D. Mirlin, «*Half-integer quantum Hall effect of disordered Dirac fermions at a topological insulator surface*», Phys. Rev. B **90**, 165435 (2014).
- [12] **Yu. Makhlin**, M. Silaev, and G.E. Volovik, «*Topology of the planar phase of superfluid  $^3\text{He}$  and bulk-boundary correspondence for three-dimensional topological superconductors*», Phys. Rev. B **89**, 174502 (2014).

## **Раздел 2. Организация научной и научно-популярной деятельности**

Лаборатория теоретической нанофизики инициировала начало работы регулярного семинара (коллоквиума) Междисциплинарного центра фундаментальных исследований (МЦФИ) МФТИ и организовала две (по состоянию на 19 ноября 2014) обзорные лекции выдающихся ученых — специалистов в области теории конденсированного состояния: проф. В.Е. Кравцова (зав. Отделом теории конденсированного состояния Международного центра теоретической физики им. А.Салама в Триесте, Италия), лекция состоялась 22 сентября 2014 г., и проф. А.Д. Мирлина (руководителя группы теоретической физики в Университете Карлсруэ, Германия), лекция состоялась 8 октября 2014 г. Материалы лекций доступны на сайте МЦФИ. Предполагается организовать еще 1 подобную лекцию силами Лаборатории до конца 2014 г.

## **Раздел 3. Развитие преподавания физико-математических дисциплин в МФТИ**

Силами сотрудника Лаборатории К.С.Тихонова осуществляется проведение специального дополнительного семинара по квантовой механике для студентов 3 курса, ориентированных на занятия теоретической физикой (проходит на 2-ой паре по субботам в ГК).

При активном участии сотрудников Лаборатории начата и успешно проведена работа по реконструкции учебного плана курса общей физики 6-ого семестра для ФОПФ. Предназначено к реализации с весеннего семестра 2015 г.

Сотрудниками и студентами Лаборатории, при участии также профессоров В.В.Лебедева и И.В.Колоколова, разработан и введен в действие факультетский курс лекций и семинаров «Приближенные методы аналитических вычислений», прочитан в весеннем семестре 2014 г. на первом курсе ФОПФ.

#### **4. Планы деятельности лаборатории на 2015-2016 гг.**

##### ***Раздел 1. Научные исследования***

Предполагается продолжить исследование по всем основным направлениям работы Лаборатории, включая также разделы «Квантовый магнетизм» и «Физика квантовых вычислений», по которым в 2014 публикаций не было. Актуальность исследований в этих направлениях не нуждается в специальном обосновании, поскольку подтверждается фактом регулярных публикаций коллектива Лаборатории в наиболее высоко-рейтинговых международных физических журналах. Популярное изложение некоторых из этих направлений исследований приводится ниже.

Хорошо известно с начала 80-х годов прошлого века, что для электрона в случайном потенциале средняя плотность состояний не чувствительна к переходу металл-изолятор. В то же время мезоскопические флуктуации (флуктуации, связанные с изменением рассматриваемой величины при вариации случайного потенциала) локальной плотности состояний усилены вблизи перехода из-за мультифрактального (мультисамоподобного) поведения волновых функций электрона. Наличие межэлектронного взаимодействия приводит к подавлению средней плотности состояний вблизи уровня Ферми из-за флуктуаций электрического потенциала. Удивительным образом, вопрос о том как устроены мезоскопические флуктуации локальной плотности состояний в неупорядоченной взаимодействующей электронной системе оставался не изученным до последнего времени. Недавно для простейшей ситуации, когда нарушены симметрия по

отношению к обращению времени и вращательная симметрия в спиновом пространстве, (например, сильным магнитным полем как в режиме квантового эффекта Холла), было показано, как численно, так и аналитически (сотрудником лаборатории в соавторстве с зарубежными коллегами), что при наличии кулоновского взаимодействия существуют сильные мезоскопические флуктуации относительной локальной плотности состояний. В дальнейшем, планируется с одной стороны изучение мезоскопических флуктуаций локальной плотности состояний во взаимодействующей неупорядоченной электронной системе в более сложных ситуациях (например, в одинарной или двойной квантовой яме с сильной спин-орбитальной связью или на поверхности топологического изолятора), а с другой стороны, выяснение как межэлектронное взаимодействие влияет на мезоскопические флуктуации других физических величин (проводимости, спиновой восприимчивости, и др.).

Современная физика оперирует рядом основополагающих моделей, решение которых во многом формирует язык для описания целого круга смежных явлений. К одной из таких универсальных моделей относится задача об андерсоновской локализации в когерентных квазиодномерных квантовых проволоках, описывающая многие задачи физики конденсированного состояния и квантового хаоса. Помимо очевидного примера о распространении частицы в неупорядоченном проводе (как в режиме слабого, так и сильного (гранулированного) беспорядка), к этой модели сводится задача о случайных полосковых матрицах (random banded matrices), и задача о динамике квантового ротатора, возбуждаемого периодическими толчками, чей оператор эволюции оказывается квазислучайной полосковой матрицей. Динамическая локализация в квантовых точках также, по-видимому, описывается моделью квазиодномерной локализации. Другой реализацией квазиодномерного провода является граница двумерного топологического изолятора, где рассеяние на беспорядке приводит к локализации части проводящих мод. Нами планируется исследование квантового транспорта в квазиодномерных проводниках при произвольном соотношении между длиной провода и длиной локализации. Будет найдена функция распределения прозрачностей для различных классов симметрии.

По мере увеличения степени беспорядка поведение сверхпроводников начинают отклоняться от предсказаний стандартной теории БКШ. За счет усиления эффектов кулоновского взаимодействия в неупорядоченной среде температура сверхпроводящего перехода начинает зависеть от проводимости образца; возникающие неоднородности приводят к размытию когерентного пика; электромагнитный отклик перестает описываться теорией Бардина-Матисса. Мы планируем применить разработанное ранее методы описания туннельных свойств

грязных сверхпроводящих пленок для вычисления динамического отклика таких пленок.

В последние годы в связи с совершенствованием экспериментальной технологии стало возможным изучение сверхпроводимости на очень малых масштабах (которые в то же время больше межатомных), эту область исследований можно назвать сверхпроводящей мезоскопикой. С системами, в которых осуществляется контакт между сверхпроводником и несверхпроводящим (нормальным или ферромагнитным) металлом, связана совокупность явлений, называемая эффектом близости. Характерный пространственный масштаб эффекта близости имеет порядок от нанометров до микронов, в зависимости от системы. Именно на такую глубину сверхпроводимость «проникает» в несверхпроводящий слой. С практической точки зрения такие гибридные контакты дают возможность «тонкой подстройки» сверхпроводящих свойств системы с помощью таких параметров, как толщины слоёв и свойства границ между ними (гибридные контакты могут найти применение в нано- и микроэлектронике). Очень разнообразна физика эффекта близости в SF системах (S – сверхпроводник, F – ферромагнетик), где могут возникать особенности, не существующие в S и F слоях по отдельности. То есть комбинация различных материалов может приводить к качественным новым мезоскопическим эффектам, возникающим вблизи границы. Сверхпроводимость и ферромагнетизм противостоят друг другу, т.к. связаны с различными типами спинового упорядочения, и объединить их в объёмном веществе трудно. Однако в гибридных SF системах «источники» двух различных электронных фаз разделены в пространстве, и два состояния встречаются друг с другом лишь возле границы. Результатом этой встречи является образование вблизи границы довольно необычного состояния, которое может приводить к таким эффектам как пи-контакт (джозефсоновский переход с отрицательным критическим током), генерация триплетной нечётной по частоте сверхпроводимости с необычным магнитным откликом, триплетный спиновый клапан (структура, сверхпроводимость в которой зависит от взаимной ориентации двух ферромагнетиков). Все эти и ряд других явлений активно изучаются в последние десятилетия с небольшим лет. Теория и эксперимент в этой области идут параллельно, так что теоретические предсказания приводят к новым типам экспериментов, и наоборот, экспериментальные наблюдения приводят к дальнейшему развитию теории. В частности, в связи с запланированными лабораторией В.В.Рязанова (ИФТТ РАН) экспериментами по «расщеплению» куперовских пар на отдельные (но сохраняющие взаимные квантовые корреляции) электроны, планируется развитие теории джозефсоновского тока в гибридных интерферометрах из нанопроволок, содержащих вставки ферромагнитного металла.

## ***Раздел 2. Организация научной и научно-популярной деятельности***

Лаборатория продолжит активное участие в организации научных семинаров и коллоквиумов МЦФИ. Кроме того, на весну 2015 г. запланировано чтение спецкурса «Теория квантового транспорта» для студентов-старшекурсников приглашаемым для этого специально из Франции известным физиком, сотрудником Neel Institute (Grenoble) доктором Д. Баско.

### **Раздел 3. Развитие преподавания физико-математических дисциплин в МФТИ**

Будет продолжено сотрудничество с кафедрой общей физики МФТИ в отношении обновления учебных программ на 3 курсе ФОПФ. Предполагается начать аналогичное сотрудничество с кафедрой теоретической физики МФТИ.

### **Раздел 4. Развитие кадрового потенциала**

В 1-ой половине 2015 г. планируется прием в Лабораторию на штатную должность младшего научного сотрудника С.В.Миронова, выигравшего в конкурсе «постдок МФТИ». Будет также объявлено о наборе в Лабораторию аспирантов (по внутреннему конкурсу).

## **5. Плановые результаты и показатели деятельности лаборатории**

### **5.1 Достижение плановых показателей деятельности лаборатории**

№	Наименование	2014	
		План	Факт
1	Количество публикаций в журналах с импакт-фактором не ниже 2,5 (по Journal Citations Report), индексируемых Web of Science, не менее	9	10
2	Суммарный импакт-фактор публикаций в журналах с импакт-фактором не ниже 2,5 (по Journal Citations Report), индексируемых Web of Science, не менее	35	61,703
3	Количество планируемых докладов сотрудников лаборатории на международных конференциях, не менее	5	7
4	Объем самостоятельно привлекаемых грантов, договоров и контрактов, млн. руб., не менее	0	0.5
5	Количество защит кандидатских диссертаций, не менее	0	0
6	Количество защищенных дипломных работ (бакалаврских и магистерских), не менее	3	5

### **5.2 Расшифровка достигнутых показателей деятельности лаборатории**

**Публикации в журналах с импакт-фактором не ниже 2,5 (по Journal Citations Report), индексируемых Web of Science:**

- 1) M.V. Feigel'man and A.S. Ioselevich, *Coulomb blockade for tunneling through a long island*, Phys. Rev. B **90**, 115108 (2014). (импакт-фактор журнала 3.664)
- 2) Zheng Han, Adrien Allain, Hadi Arjmandi-Tash, Konstantin Tikhonov, Mikhail Feigel'man, Benjamin Sacépé, and Vincent Bouchiat, *Collapse of superconductivity in a hybrid tin-graphene Josephson junction array*, Nature Physics **10**(5), 380 (2014). (импакт-фактор журнала 20.603)
- 3) Yu. Makhlin, M. Silaev, and G.E. Volovik, *Topology of the planar phase of superfluid  $^3\text{He}$  and bulk-boundary correspondence for three-dimensional topological superconductors*, Phys. Rev. B **89**, 174502 (2014). (импакт-фактор журнала 3.664)
- 4) K.S. Tikhonov, W.L.Z. Zhao, A.M. Finkel'stein, *Dephasing Time in Graphene Due to Interaction with Flexural Phonons*, Phys. Rev. Lett. **113**, 076601 (2014). (импакт-фактор журнала 7.728)
- 5) P.M. Ostrovsky, I.V. Protopopov, E.J. Konig, I.V. Gornyi, A.D. Mirlin, M.A. Skvortsov, *Density of states in a two-dimensional chiral metal with vacancies*, Phys. Rev. Lett. **113**, 186803 (2014). (импакт-фактор журнала 7.728)
- 6) I.S. Burmistrov, I.V. Gornyi, A.D. Mirlin, *Tunneling into the localized phase near Anderson transitions with Coulomb interaction*, Phys. Rev. B **89**, 035430 (2014). (импакт-фактор журнала 3.664)
- 7) E.J. Koenig, P.M. Ostrovsky, I.V. Protopopov, I.V. Gornyi, I.S. Burmistrov, A.D. Mirlin, *Half-integer quantum Hall effect of disordered Dirac fermions at a topological insulator surface*, Phys. Rev. B **90**, 165435 (2014). (импакт-фактор журнала 3.664)
- 8) D.S. Lyubshin, A.U. Sharafutdinov, I.S. Burmistrov, *Statistics of spin fluctuations in quantum dots with Ising exchange*, Phys. Rev. B **89**, 201304(R) (2014). (импакт-фактор журнала 3.664)
- 9) D.S. Lyubshin, A.U. Sharafutdinov, I.S. Burmistrov, *Spin fluctuations in quantum dots*, Phys. Rev. B **90**, 195308 (2014). (импакт-фактор журнала 3.664)
- 10) Yasuhiro Asano, Yakov V. Fominov, Yukio Tanaka, *Consequences of bulk odd-frequency superconducting states for the classification of Cooper pairs*, Phys. Rev. B **90**, 094512 (2014). (импакт-фактор журнала 3.664)

**Доклады сотрудников лаборатории на международных конференциях:**

1) М.В. Фейгельман

Международная конференция «*Quantum Disordered Systems: What's next?*» (Тулуза, Франция, 24-27 июня 2014 г.).

Приглашенный доклад «Superconductor-insulator transitions without Coulomb interaction».

<http://www.irsamc.ups-tlse.fr/qds2014/spip.php?article2>

<http://www.irsamc.ups-tlse.fr/qds2014/IMG/pdf/QDS2014-BookAbstractsWEB.pdf>

2) Ю.Г. Махлин

Международная конференция «*Fundamentals of Electronic Nanosystems*» (Санкт-Петербург, Россия, 21-27 июня 2014 г.).

Приглашенный доклад «Josephson bifurcation readout and higher harmonics».

<http://www.ioffe.ru/NanoPeter/>

<http://nantheory.itp.ac.ru/Files/NanoPeter2014.pdf>

3) М.А. Скворцов

Международная конференция «*International Workshop on Coherent Phenomena in Disordered Optical Systems*» (Триест, Италия, 26-30 мая 2014 г.).

Приглашенный доклад «Strongly Disordered Superconducting Films: Tunneling Spectra and Electromagnetic Response».

<http://indico.ictp.it/event/a13199/>

<http://indico.ictp.it/event/a13199/material/0/0.pdf>

4) И.С. Бурмистров

Международная конференция «*Quantum Disordered Systems: What's next?*» (Тулуза, Франция, 24-27 июня 2014 г.).

Устный доклад «Multifractality at Anderson transitions with Coulomb interaction».

<http://www.irsamc.ups-tlse.fr/qds2014/spip.php?article2>

<http://www.irsamc.ups-tlse.fr/qds2014/IMG/pdf/QDS2014-BookAbstractsWEB.pdf>

5) Я.В. Фоминов

XVIII Международный Симпозиум «Нанофизика и наноэлектроника» (Нижний Новгород, Россия, 10-14 марта 2014 г.).

Устный доклад «Сверхпроводящий эффект близости в квантовых проводах с нарушенной симметрией обращения времени».

<http://nanosymp.ru/ru/archive>

[http://nanosymp.ru/UserFiles/Symp/2014\\_v1.pdf](http://nanosymp.ru/UserFiles/Symp/2014_v1.pdf)

6) Я.В. Фоминов

Международная конференция «*Moscow International Symposium on Magnetism MISM-2014*» (Москва, Россия, 29 июня - 3 июля 2014 г.).

Устный доклад «Superconducting proximity effect in quantum wires without time-reversal symmetry».

<https://mism.magn.ru/>

<http://nanotechnology.itp.ac.ru/Files/MISM2014.pdf>

7) Я.В. Фоминов

Международная конференция «*International Conference on Superconductivity and Magnetism ICSM 2014*» (Анталья, Турция, 27 апреля - 2 мая 2012 г.).

Устный доклад «Superconducting Proximity Effect in Quantum Wires without Time-Reversal Symmetry».

<http://icsm2014.org/>

<http://nanotechnology.itp.ac.ru/Files/ICSM2014.pdf>

### **Самостоятельно привлекаемые гранты, договоры и контракты:**

Договор № 3-10/2014н от 15.10.2014 с доп.соглашением № 1 от 20.10.2014 на выполнение НИР. Заказчик – ИТФ им. Л.Д. Ландау РАН, исполнитель – МФТИ.

Срок выполнения работ: 2014-2015 гг.

Общая стоимость работ: 1500 тыс. руб.

Стоимость работ в 2014 г.: 500 тыс. руб.

### **Защищенные дипломные работы:**

1) Даниил Антоненко

Диплом бакалавра (2014): «Распад состояния со сверхтоком в диффузном SNS-переходе» (н/р М.А. Скворцов).

[http://chair.itp.ac.ru/biblio/bachelors/2014/antonenko\\_bak\\_diplom\\_2014.pdf](http://chair.itp.ac.ru/biblio/bachelors/2014/antonenko_bak_diplom_2014.pdf)

2) Игорь Побойко

Диплом бакалавра (2014): «Неупорядоченные спиновые цепочки» (н/р М.В. Фейгельман).

[http://chair.itp.ac.ru/biblio/bachelors/2014/poboiko\\_bak\\_diplom\\_2014.pdf](http://chair.itp.ac.ru/biblio/bachelors/2014/poboiko_bak_diplom_2014.pdf)

3) Евгений Репин

Диплом бакалавра (2014): «Уровни Ландау поверхностных состояний трехмерного топологического изолятора с учетом гексагонального искажения и массы» (н/р И.С. Бурмистров).

[http://chair.itp.ac.ru/biblio/bachelors/2014/repin\\_bak\\_diplom\\_2014.pdf](http://chair.itp.ac.ru/biblio/bachelors/2014/repin_bak_diplom_2014.pdf)

4) Александр Светогоров

Диплом бакалавра (2014): «Влияние шума на фазу Ааронова-Анандана» (н/р Ю.Г. Махлин).

[http://chair.itp.ac.ru/biblio/bachelors/2014/svetogorov\\_bak\\_diplom\\_2014.pdf](http://chair.itp.ac.ru/biblio/bachelors/2014/svetogorov_bak_diplom_2014.pdf)



5) Николай Степанов

Диплом бакалавра (2014): «Плотность состояний в грязных сверхпроводниках на энергии Ферми» (н/р М.А. Скворцов).

[http://chair.itp.ac.ru/biblio/bachelors/2014/stepanov\\_bak\\_diplom\\_2014.pdf](http://chair.itp.ac.ru/biblio/bachelors/2014/stepanov_bak_diplom_2014.pdf)

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

*Раздел заполняется в случае невыполнения запланированных показателей деятельности лаборатории.*

**Невыполнения нет.**