

Фамилия, имя, отчество	Григорьев Павел Дмитриевич
Должность, ученая степень, ученое звание	Д.ф.-м.н., профессор кафедры теоретической физики и квантовых технологий , в.н.с Института теоретической физики им. Л.Д. Ландау (ИТФ РАН) https://www.itp.ac.ru/ru/persons/grigoriev-pavel-dmitrievich/
Корпоративная электронная почта	grigoriev.pd@misis.ru
Область научных интересов	<i>Физика конденсированного состояния: электронные свойства низкоразмерных и сильноанизотропных проводников, магнитные квантовые осцилляции в металлах, магнитосопротивление (особенно в сильно анизотропных проводниках), волны зарядовой и спиновой плотности, сильно взаимодействующие электронные системы и тяжелофермионные соединения, органические металлы и сверхпроводники, сверхпроводимость на фоне волн зарядовой/спиновой плотности, высокотемпературные сверхпроводники, структура поверхности жидкого гелия и поверхностные квантовые состояния частиц (электронов, ионов, нейтронов, кластеров) вблизи нее.</i> <i>Приборы нейтронной спектроскопии: фокусирование нейтронного луча движущимся неоднородным магнитным полем. Нейтронные ловушки на поверхности жидкого гелия.</i> <i>Квантовые вычисления и проектирование квантовых компьютеров: применение электронных и ионных связанных состояний на поверхности жидкого гелия для реализации системы квантовых битов.</i>
Трудовая деятельность – год, организация, должность	2025— наст. время. Ведущий научный сотрудник в Институте теоретической физики им. Л.Д. Ландау РАН. 2015 г. — наст. время. Профессор (по совместительству) кафедры теоретической физики и квантовых технологий в НИТУ МИСИС. Чтение лекционных курсов по теории металлов и по квантовой физике твердого тела. 2016 г. — 2024. Старший научный сотрудник в Институте теоретической физики им. Л.Д. Ландау РАН. 2003 — 2017 гг. научный сотрудник в Институте теоретической физики им. Л.Д. Ландау РАН. 2004-2006 гг. Младший научный сотрудник (Postdoctoral position) в национальной лаборатории сильных магнитных полей, Таллахасси (США). Научный руководитель: академик Лев Петрович Горьков. Тема: тяжело-фермионные соединения и квантовые фазовые переходы. 1997- 2019 гг. Многочисленные научные командировки в различные исследовательские институты Франции и Германии, включая CNRS в лабораториях: GHMFL и CRTBT (Гренобль, Франция), LPTSM и LPS (Орсэ-Париж, Франция), Institute Laue-Langevin (Гренобль, Франция), Max Planck Institute for the Physics of Complex Systems (Дрезден, Германия), Walther-Meissner-Institute for Low Temperature Research (Гархинг-Мюнхен, Германия) и др. 2001-2003 гг. Младший научный сотрудник в институте теоретической физики им. Ландау РАН. 1998-2001 гг. Аспирант в Институте теоретической физики им. Ландау РАН. Научный руководитель — доктор ф.-м. наук Александр Михайлович Дюгаев.

Образование Дополнительное образование	
Основные результаты деятельности (перечисление достигнутых результатов)	<p>Основная область научных интересов — электронные свойства сильно анизотропных проводников, к которым относятся все высокотемпературные сверхпроводники (ВТСП) при атмосферном давлении, гетероструктуры, органические металлы, и многие другие соединения. В этой области получены следующие научные результаты:</p> <p>1. Магнитосопротивление и квантовые осцилляции.</p> <p>Впервые построена теория магнитосопротивления в сильно анизотропных проводниках [Phys. Rev. B 67, 144401 (2003); Phys. Rev. B 98, 045118 (2018)], когда интеграл межслоевого перескока электронов сравним или меньше циклотронной энергии. В этом пределе классическая теория, развитая для обычных металлов, становится не применимой, и возникают новые качественные эффекты. С помощью этой теории впервые объяснены и описаны так называемые медленные (или разностные) магнитные осцилляции [Phys. Rev. Lett. 89, 126802 (2002)] с частотой, определяемой интегралом перескока (а не площадью сечения поверхности Ферми), которые выживают до более высоких температур и более устойчивы к неоднородностям образца, и поэтому легче наблюдаются в эксперименте. Этот эффект оставался загадкой несколько десятилетий и позволил определить межслоевой интеграл перескока и тип беспорядка по экспериментальным данным магнитосопротивления в разных слоистых проводниках. Эта теория также объясняет сдвиг фазы биений квантовых осцилляций проводимости в сравнении с намагниченностью [Phys. Rev. B 65, 060403(R) (2002)] и другими термодинамическими величинами.</p> <p>Проанализировано взаимное влияние угловых и квантовых осцилляций магнитосопротивления [Phys. Rev. B 90, 115138 (2014); Phys. Rev. B 95, 195130 (2017)]. Получены соответствующие общие формулы, удобные для анализа экспериментальных данных.</p> <p>Предсказано сильное продольное межслоевое магнитосопротивление в квазидвумерных металлах [Phys. Rev. B 83, 245129 (2011); Phys. Rev. B 88, 054415 (2013)], имеющее корневую зависимость в сильном магнитном поле. Этот важный и неожиданный эффект был подтвержден нами экспериментально [Phys. Rev. B 86, 165125 (2012)] и отсутствует в стандартной теории, построенной в тау-приближении. Его описание использует диаграммную технику Фейнмана.</p> <p>Показано, что магнитные осцилляции в купратных ВТСП семейства YBCO можно объяснить не малыми карманами поверхности Ферми, а расщеплением спектра из-за межслойного перескока электронов [Phys. Rev. B 96, 165110 (2017)]. Это объясняет необычный гармонический состав осцилляций и разрешает «противоречие» между данными ARPES и магнитных осцилляций, опубликованными в десятках статей журналов</p>

Nature. Эта работа вошла в основные достижения института Луи Ланжевена во Франции за 2017г.

Используя симметрийные аргументы показано [npj Quantum Materials 6, 11 (2021)], что во многих металлах с антиферромагнитным упорядочением эффективный g-фактор носителей заряда, измеренный по магнитным квантовым осцилляциям, равен нулю. Экспериментальное исследование этого эффекта проводится в нескольких соединениях и сравнивается с предложенной теорией. Мы обнаружили, что антиферромагнитное состояние слоистого органического проводника κ -(BETS)₂FeBr₄ не проявляет спиновой модуляции осцилляций Шубникова-де Гааза, в отличие от парамагнитного состояния того же материала. Это свидетельствует о вырождении уровней Ландау по спину, предсказанное для антиферромагнитных проводников. Аналогично, мы не находим спиновой модуляции в угловой зависимости медленных осцилляций Шубникова-де Гааза в оптимально легированном электронами купрате Nd_{2-x}Ce_xCuO₄. Это указывает на наличие неелевского порядка в этом сверхпроводнике даже при оптимальном легировании.

2. Анизотропные проводники часто неустойчивы по отношению к образованию волны зарядовой или спиновой плотности, которая конкурирует со сверхпроводимостью. По этой теме получены следующие результаты:

Впервые показано [Phys. Rev. B 95, 165120 (2017); JETP Lett. 105, 786 (2017); Phys. Rev. B 98, 014515 (2018)], что зарождающаяся сверхпроводимость в виде изолированных островков приводит к анизотропному изменению проводимости и дает информацию об объемной доли и форме сверхпроводящих островков. Мы применили этот метод к анализу экспериментальных данных в высокотемпературном сверхпроводнике FeSe и определили температурную зависимость объемной доли сверхпроводящих островков. При этом наблюдается хорошее качественное согласие для температурной зависимости доли сверхпроводящей фазы, определенной по диамагнитному отклику и по изменению анизотропии проводимости на основе предложенной модели, что подчеркивает ее правильность для качественного и даже количественного описания этого эффекта. Также объяснена анизотропия самого сверхпроводящего перехода [Phys. Rev. B 103, 014519 (2021)].

Разработан метод непертурбативного учета влияния волны зарядовой/спиновой плотности, покрывающей только часть поверхности Ферми, на оставшиеся электронные состояния. С помощью этого метода было исследовано влияние волн плотности на сверхпроводимость слоистых металлов, и получен ряд необычных свойств сверхпроводимости, возникающей на фоне волны плотности [Phys. Rev. B 75, 020507® (2007); Phys. Rev. B 77, 224508 (2008)]. В частности, было объяснено

значительное увеличение верхнего критического поля при неизменной T_c , наблюдаемое в слоистых органических металлах.

Показано, что изменение анизотропии проводимости при переходе в состояние с волной зарядовой плотности дает полезную информацию об ее электронной структуре, в частности, об анизотропии параметра порядка [Phys. Rev. Lett. 112, 036601 (2014)].

Исследована фазовая диаграмма волн зарядовой плотности в магнитном поле для разного закона дисперсии электронов (например, работы [Phys. Rev. B 72, 195106 (2005); Phys. Rev. B 68, 201101(R) (2003)]). В частности, предложен и исследован каскад фазовых переходов между состояниями с разным квантованным значением вектора нестинга (волны плотности) при наклоне магнитного поля, возникающий из-за конкуренции орбитального и спинового влияния магнитного поля на проводящие электроны.

Взаимодействие между сверхпроводимостью (СП) и волной спиновой/зарядовой плотности (ВП) в органических металлах демонстрирует много общего с высокотемпературными сверхпроводниками. Он также содержит множество загадок, например, наблюдаемое анизотропное начало СП и увеличение в несколько раз верхнего критического поля H_{c2} в области существования, а также микроскопическую природу разделения фаз СП/ВП там. Путем прямого расчета разложения Ландау для свободной энергии ВП мы показываем [[Phys. Rev. B 108, 125123 \(2023\)](#)], что фазовый переход между ВП и металлической/СП-фазой в органических сверхпроводниках происходит первым родом при достаточно низкой температуре, что объясняет пространственную сегрегацию ВП и СП на большом масштабе длины $\sim 1\text{ мк}$, что согласуется с экспериментальными наблюдениями. Используя разложение Гинзбурга–Ландау, мы аналитически получаем нижнюю оценку размера доменов СП [[Magnetochemistry, 9\(7\), 173 \(2023\)](#)]. Для более конкретной оценки интервала возможных размеров сверхпроводящих островков в образцах (TMTSF)₂PF₆ мы провели численные расчеты вероятности переколяции через СП-домены и сравнили результаты с экспериментальными данными по сопротивлению. Это помогает разработать последовательное микроскопическое описание пространственной неоднородности СП в различных органических сверхпроводниках.

Показано [Phys. Rev. B 111, 205141 (2025)], что ВЗП с несовершенным нестингом приводит к необычным сингулярностям в плотности состояний квазичастиц и к степенной перенормировке критической температуры сверхпроводимости. Наши результаты получены при сколь угодно большом антинестинге и могут помочь понять фазовую диаграмму широкого класса сверхпроводников с волнами плотности. Мы также вычисляем тензор проводимости в широком диапазоне температур, включая переход ВЗП, и получаем удовлетворительное согласие с экспериментальными

данными по трихалькогенидам редкоземельных металлов и многим другим материалам с ВЗП.

Проведено совместное (теоретическое и экспериментальное) исследование зависимости волны зарядовой плотности (ВЗП) от деформации кристалла на примере трителлуридов редкоземельных металлов [Nature Communications, 15, 3667 (2024)].

3. Поверхность жидкого гелия.

Предложен и исследован новый тип возбуждений на поверхности жидкого гелия [Письма в ЖЭТФ 78, 935 (2003), Письма в ЖЭТФ 87, 114 (2008), ЖЭТФ, 133, 370 (2008), J. Low Temp. Phys. 163, 131 (2011)], представляющий атомы на поверхностном квантовом уровне. Показано [ЖЭТФ 155, 338 (2019)], что экспериментальные данные неупругого рассеяния нейтронов на тонкой пленке гелия и численные расчеты согласуются с этим предсказанием.

Теоретически исследована [Phys. Rev. C 94, 025504 (2016)] температурная зависимость скорости рассеяния ультрахолодных нейтронов на поверхности жидкого гелия на атомах пара и риппионах — квантах поверхностных волн. Последняя оказалась определяющей при температуре ниже 0.5К и линейной по температуре Т. Поэтому ее необходимо учитывать даже при самой низкой температуре для точного определения времени жизни нейтронов с помощью ловушек из жидкого гелия.

Предложены и изучены [ЖЭТФ, 115, 593 (1999)] свойства отрицательных ионов большого размера (малой энергии связи) на поверхности жидкого гелия. Показано, что такие ионы удерживаются на поверхности и могут быть полезны для экспериментальной реализации квантовых битов с большим временем декогерентности. Показано, что на поверхности жидкого гелия могут быть реализованы отрицательные ионы, которые не устойчивы в вакууме.

Предложен метод [Phys. Rev. C 104, 055501 (2021); Phys. Rev. C 108, 025201 (2023)], позволяющий увеличить как время хранения нейтрона, так и точность измерения его времени жизни. Хранение ультрахолодных нейтронов (УХН) в материальных ловушках обеспечивает наиболее точные измерения времени жизни нейтронов и используется во многих других экспериментах. Точность этих измерений ограничена взаимодействием УХН со стенками ловушки. Показано, что покрытие стенок ловушки жидким гелием может сильно снизить потери УХН из материальных ловушек. ^4He совсем не поглощает нейтроны. Сверхтекущий Не покрывает стенки ловушки тонкой пленкой толщиной ~ 10 нм из-за притяжения Ван-дер-Ваальса. Однако эта пленка Не на плоской стенке слишком тонкая, чтобы защитить УХН от их поглощения материалом ловушки. Комбинируя притяжение Ван-дер-Ваальса с капиллярными эффектами, мы показываем, что шероховатость поверхности может увеличить толщину этой пленки намного выше глубины проникновения нейтронов ~ 33 нм. Использование жидкого Не для хранения УХН требует низкой температуры $T < 0.5$, чтобы

	<p>избежать взаимодействия нейтронов с парами Не, в то время как потери нейтронов из-за взаимодействия с поверхностными волнами невелики и могут быть учтены с использованием их линейной температурной зависимости.</p> <p>Моделирование движения ультрахолодных нейтронов (УХН) важно для оценки их потерь, точного измерения их времени жизни и для описания других экспериментов. В материальных ловушках необходимо учитывать не только зеркальное, но и диффузное упругое отражение УХН от стенок ловушки. Обычно для описания такого диффузного рассеяния применяют косинусоидальный закон Ламберта для углового распределения рассеяющихихся нейтронов, который не имеет строгого теоретического вывода и часто нарушается. В нашей работе [Письма в ЖЭТФ 120 (12), 911 (2024)] предложен эксперимент, позволяющий измерить величину отклонения углового распределения УХН при диффузном рассеянии от закона Ламберта. Это отклонение можно определить по разнице числа нейтронов, вылетающих через центральное и торцевое окно длинной узкой ловушки УХН. Проведены Монте-Карло расчёты, соответствующие возможному эксперименту и показывающие значительную величину эффекта для разных форм ловушки.</p> <p>4. Топологические изоляторы и полуметаллы</p> <p>Известно, что слоистые ван-дер-ваальсовые кристаллы топологически нетривиальных и тривиальных полуметаллов с антиферромагнитным (АФМ) упорядочением магнитной подрешетки проявляют отрицательное магнитосопротивление, которое хорошо коррелирует с изменениями намагниченности АФМ в магнитном поле. Этот эффект описан в нескольких экспериментальных исследованиях с EuFe₂As₂, EuSn₂As₂, EuSn₂P₂ и др., где сопротивление квадратично уменьшается с полем примерно на 5% вплоть до поля спиновой поляризации. Хотя этот эффект хорошо документирован экспериментально, его теоретическое объяснение отсутствовало до сих пор. В нашей работе [Communications Materials 6, 252 (2025) (Springer Nature)] предложен механизм, описывающий наблюдаемое магнитосопротивление, присущее АФМ металлам и основанное на нарушении бинарной симметрии. Оно почти изотропно направлениям поля и тока, в отличие от известных механизмов, таких как гигантское магнитосопротивление и хиральная аномалия. Предложенный собственный механизм магнитосопротивления проявляется в широком классе слоистых АФМ-упорядоченных полуметаллов. Теоретически рассчитанное магнитосопротивление качественно согласуется с экспериментальными данными для кристаллов различного состава.</p>
Значимые исследовательские/преподавательские проекты, гранты (тема, заказчик, год, полученные результаты)	<p>ФЦП Министерства образования и науки «Научные и педагогические кадры России» 2009-2011 гг. «Проведение поисковых научно-исследовательских работ по направлению «Нанотехнологии и наноматериалы» (госконтракт П1419)</p> <p>Президентские гранты для молодых ученых:</p>

	<p>MK-429.2003.02 (2003-2005 гг.); MK-4105.2007.02 (2007-2008 гг.); MK-2320.2009.2 (2009-2010 гг.).</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Грант фонда «Династия» (2009-2010 гг.). ● Грант фонда развития теоретической физики и математики «Базис» (2019-2021 гг.). ● РФФИ № 19-02- 01000 (2019-2021). ● РНФ 23-22-00312 (2023 - 2024) <p>Исследовательский грант «Leader» фонда развития теоретической физики и математики «Базис», (2022 - 2025 гг.)</p>
Значимые публикации (список, не более 10)	<ul style="list-style-type: none"> ● Pavel D. Grigoriev, Nikita S. Pavlov, Igor A. Nekrasov, Igor R. Shein, Andrey V. Sadakov, Oleg A. Sobolevskiy, Evgeny Maltsev & Vladimir M. Pudalov, <i>Universal negative magnetoresistance in antiferromagnetic metals from symmetry breaking of electron wave functions</i>, Communications Materials 6, 252 (2025) (Springer Nature) ● A. Gallo-Frantz, A.A. Sinchenko, D. Ghoneim, L. Ortega, P. Godard, P.-O. Renault, P. Grigoriev, A. Hadj-Azzem, P. Monceau, D. Thiaudière, E. Bellec, V.L.R. Jacques, D. Le Bolloc'h, <i>Charge density waves tuned by biaxial tensile stress</i>, <u>Nature Communications</u>, 15, 3667 (2024); ● R. Ramazashvili, P.D. Grigoriev, T. Helm, F. Kollmannsberger, M. Kunz, W. Biberacher, E. Kampert, H. Fujiwara, A. Erb, J. Wosnitza, R. Gross, M.V. Kartsovnik, <i>Experimental evidence for Zeeman spin—orbit coupling in layered antiferromagnetic conductors</i>, <u>npj Quantum Materials</u> 6, 11 (2021) ● P.D. Grigoriev, A.A. Sinchenko, P.A. Vorobyev, A. Hadj-Azzem, P. Lejay, A. Bosak, P. Monceau, <i>Interplay between band crossing and charge density wave instabilities</i>, <u>Phys. Rev. B</u> 100, 081109 R (2019). ● S.S. Seidov, K.K. Kesharpu, P.I. Karpov, P.D. Grigoriev, <i>Conductivity of anisotropic inhomogeneous superconductors above the critical temperature</i>, <u>Phys. Rev. B</u> 98, 014515 (2018). ● T.I. Mogilyuk, P.D. Grigoriev, <i>Magnetic oscillations of in-plane conductivity in quasi-two-dimensional metals</i>, <u>Phys. Rev. B</u> 98, 045118 (2018). ● P.D. Grigoriev, T.I. Mogilyuk, <i>False spin zeros in the angular dependence of magnetic quantum oscillations in quasi-two-dimensional metals</i>, <u>Phys. Rev. B</u> 95, 195130 (2017). ● P.D. Grigoriev, T. Ziman, <i>Magnetic oscillations measure interlayer coupling in cuprate superconductors</i>, <u>Phys. Rev. B</u> 96, 165110 (2017).

	<ul style="list-style-type: none"> • A.A. Sinchenko, P.D. Grigoriev, P. Lejay, P. Monceau, <i>Spontaneous Breaking of Isotropy Observed in the Electronic Transport of Rare-Earth Tritellurides</i>, Phys. Rev. Lett. 112, 036601 (2014). • P.D. Grigoriev, <i>Longitudinal interlayer magnetoresistance in strongly anisotropic quasi-two-dimensional metals</i>, Phys. Rev. B 88, 054415 (2013). • P.D. Grigoriev, M.V. Kartsovnik, W. Biberacher, <i>Magnetic-field-induced dimensional crossover in the organic metal α-(BEDT-TTF)₂KHg(SCN)₄</i>, Phys. Rev. B 86, 165125 (2012). • P.D. Grigoriev, <i>Weakly incoherent regime of interlayer conductivity in a magnetic field</i>, Phys. Rev. B 83, 245129 (2011). • P.D. Grigoriev, <i>Properties of superconductivity on a density wave background with small ungapped Fermi surface parts</i>, Phys. Rev. B 77, 224508 (2008). • L.P. Gor'kov, P.D. Grigoriev, <i>Nature of superconducting state in the new phase in (TMTSF)₂PF₆ under pressure</i>, Phys. Rev. B 75, 020507® (2007). • P.D. Grigoriev, D.S. Lyubshin, <i>Phase diagram and structure of the charge-density-wave state in a high magnetic field in quasi-one-dimensional materials: A mean-field approach</i>, Phys. Rev. B 72, 195106 (2005). • P.D. Grigoriev, <i>Theory of the Shubnikov-de Haas effect in quasi-two-dimensional metals</i>, Phys. Rev. B 67, 144401 (2003). • P.D. Grigoriev, M.V. Kartsovnik, W. Biberacher, N.D. Kushch, P. Wyder, <i>Anomalous beating phase of the oscillating interlayer magnetoresistance in layered metals</i>, Phys. Rev. B 65, 060403® (2002). • M.V. Kartsovnik, P.D. Grigoriev, W. Biberacher, N.D. Kushch, P. Wyder, <i>Slow oscillations of magnetoresistance in quasi-two-dimensional metals</i>, Phys. Rev. Lett. 89, 126802 (2002).
Индекс Хирша по Scopus Количество статей по Scopus SPIN РИНЦ ORCID ResearcherID Scopus AuthorID	18 111 42534 0000-0002-4125- 1215 R-9909-2016 7004467795
Научное руководство/ Преподавание	Под моим научным руководством были защищены 3 кандидатских и 7 магистерских диссертаций. Слайды лекций и программа моего текущего курса по теории твердого тела выложена на сайте https://home.itp.ac.ru/~grigorev/Teaching.html