

Институт физики микроструктур РАН

Межфакультетская базовая кафедра ННГУ
«Физика наноструктур и наноэлектроника»

Темы курсовых работ

2020

ИФМ РАН

Институт физики микроструктур РАН (ИФМ РАН) образован 28 сентября 1993 года на базе Отделения физики твердого тела Института прикладной физики АН СССР (в настоящее время — ИПФ РАН). Директором института был назначен академик С.В. Гапонов. В 2009 году ИФМ РАН возглавил профессор чл.-корр. РАН З.Ф. Красильник. Сейчас ИФМ РАН входит в структуру Федерального исследовательского центра ИПФ РАН.

ИФМ РАН проводит научные исследования по следующим направлениям:

- физика, технология и диагностика твердотельных микро- и наноструктур;
- многослойная оптика рентгеновского и ультрафиолетового диапазонов;
- кремниевая оптоэлектроника;
- спектроскопия, спектрометрия и электроника терагерцового и субтерагерцового диапазонов;
- физика магнитных наноструктур и спинтроники;
- физика сверхпроводников и сверхпроводниковая электроника.

ИФМ РАН приглашает студентов для подготовки магистерских диссертаций и проведения научно-исследовательских работ на современном оборудовании с трудоустройством уже на этапе магистратуры и дальнейшей возможностью поступления в аспирантуру.

Официальный сайт института — <http://ipmras.ru>

Кафедра «Физика наноструктур и наноэлектроника»

Институт физики микроструктур РАН является базовым научным учреждением для подготовки студентов радиофизического, физического факультетов и ВШОПФ Нижегородского государственного университета им. Н.И. Лобачевского (ННГУ) в области нанофизики и твердотельных нанотехнологий - одном и актуальнейших направлений современной физики конденсированных сред. С этой целью в 2004 году образована межфакультетская базовая кафедра «Физика наноструктур и наноэлектроника». Заведующий кафедрой — чл.-корр. РАН Захарий Фишелевич Красильник, директор ИФМ РАН.

Ежегодно проводится набор на базовую кафедру студентов 3—5 курсов радиофизического и физического факультетов и ВШОПФ ННГУ. При этом студенты, принятые на базовую кафедру, сохраняют свой статус на факультетах и кафедрах, куда они были ранее зачислены, и где они обучаются по курсам, входящим в обязательную федеральную составляющую специальностей «радиофизика» и «физика», соответственно.

Электронный вариант сборника:

<http://www.pnn.unn.ru/UserFiles/docs/topics2020.pdf>



Алешкин Владимир Яковлевич

д.ф.-м.н., проф., гнс отд. 110

к. 234, т. 417–94–82 (+234), aleshkin@ipmras.ru



Особенности межзонного поглощения света в квантовых ямах HgTe с инвертированной зонной структурой

В работе предполагается изучить зависимость от поляризации падающего излучения коэффициента межзонного поглощения света в квантовых ямах HgTe. Актуальность работы обусловлена интенсивными экспериментальными исследованиями, которые проводятся в ИФМ РАН по изучению оптических свойств таких квантовых ям.



Поверхностные состояния на гетерогранице HgTe/CdHgTe

В работе предполагается построить теорию поверхностных состояний на гетерогранице HgTe/CdHgTe для структур, выращенных на плоскости (013).

Дубинов Александр Алексеевич

к.ф.-м.н., снс отд. 110

к. 234, т. 417–94–82 (+234), sanya@ipmras.ru



Стимулированная генерация терагерцовых плазмонов в узкозонных структурах на основе HgCdTe

В работе предполагается провести теоретический анализ возможности стимулированной генерации терагерцовых плазмонов в узкозонных структурах на основе HgCdTe.

Жукавин Роман Хусейнович

к.ф.-м.н., снс отд. 110

к. 260, т. 417–94–79 (+260), zhur@ipmras.ru



Механизмы инверсии и усиления в терагерцовом диапазоне частот в полупроводниках, легированных примесными центрами

Работа посвящена исследованию мелких кулоновских центров в кремнии, германии и алмазе с точки зрения развития источников когерентного излучения терагерцового диапазона частот. Предполагается участие в экспериментальной активности коллектива лаборатории 113, направленной как на изучение характеристик существующих источников на основе кремния, легированного "мелкими" донорами при оптическом возбуждении, так и поиск новых активных сред в терагерцовом диапазоне частот.

Козлов Дмитрий Владимирович

к.ф.-м.н., доцент, нс отд. 110

к. 262, т. 417-94-79 (+262), dvkoz@ipmras.ru



Примеси и дефекты в КРТ - материалах



Работа посвящена теоретическому и экспериментальному исследованию примесей и дефектов в материалах кадмий -ртуть - теллур (КРТ), в том числе с квантовыми ямами (КЯ). Результаты работы могут быть полезны при «теоретическом конструировании» новых источников излучения ТГц и среднего ИК диапазона, работающих на переходах между состояниями примесей в КРТ-структурах. В этих материалах ширина запрещенной зоны зависит от состава твердого раствора и в узкозонных структурах энергия ионизации акцепторов оказывается сравнимой с шириной запрещенной зоны, т.е. примесь оказывается глубокой. Состояния глубоких акцепторов в КРТ материалах могут, в зависимости от состава твердого раствора, оказываться как в запрещенной зоне, так и попадать в зону проводимости, т.е. становиться резонансными. Таким образом, возникла необходимость разработать методы описания таких примесных состояний, научиться рассчитывать их энергии, а также матричные элементы оптических переходов между состояниями акцепторов и переходов примесь-зона и времена жизни состояний примеси, если они оказываются резонансными.

Лобанов Дмитрий Николаевич

к.ф.-м.н., нс отд. 110

к. 102, т. 417-94-73(+102), dima@ipmras.ru



Светоизлучающие наноструктуры на основе InN, сформированные методом молекулярно-пучковой эпитаксии с плазменной активацией азота

В девяностых годах прошлого столетия произошел стремительный прогресс в технологии выращивания AlN материалов, и в настоящее время нитриды являются основой для создания эффективных светодиодов, лазеров и фотодиодов видимого и ультрафиолетового диапазонов, а также мощных СВЧ транзисторов. Большая часть светодиодного освещения, используемого в быту, промышленности и на улицах изготовлена на основе этих материалов. Нитрид индия (InN) является наименее изученный из полупроводниковых нитридов металлов III группы. Только в 2002 г. было установлено, что этот прямозонный полупроводник при комнатной температуре имеет ширину запрещенной зоны $E_G \sim 0.64$ эВ, лежащую в инфракрасной (ИК) области спектра. Это открыло перспективы расширения спектрального диапазона работы оптических приборов на основе нитридов до ИК, а также практического использования InN и твердых растворов на его основе в электронике, фотонике и солнечной энергетике. Однако трудности приборных применений InN связаны с все еще низким качеством выращиваемых эпитаксиальных слоев, обладающих большой концентрацией электрически активных примесей и дефектов, а также с трудностями получения этого материала с дырочным типом проводимости.

В рамках работы планируется развитие технологии получения высококачественных слоев InN методом молекулярно-пучковой эпитаксии с плазменной активацией азота с целью улучшения их фотоприёмных, люминесцентных и транспортных характеристик.

Морозов Сергей Вячеславович

к.ф.-м.н., зав. лаб. отд. 110

к. 262, т. 417–94–82 (+262), more@ipmras.ru



Длинноволновые лазеры на основе наногетероструктур $\text{Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}/\text{Cd}_y\text{Hg}_{1-y}\text{Te}$

Наногетероструктуры на основе твердых растворов $\text{Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$ представляют собой перспективный материал для создания компактных полупроводниковых лазеров на диапазон длин волн 20 – 50 мкм. Данный диапазон недоступен для квантово-каскадных лазеров на основе соединений АЗВ5 ввиду сильного решеточного поглощения. К настоящему времени единственными источниками когерентного излучения в диапазоне длин волн 20 – 50 мкм остаются диффузионные лазеры на основе халькогенидов свинца-олова, которые характеризуются низкой мощностью и низкими рабочими температурами. С другой стороны, структуры на основе $\text{Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$, выращенные методом молекулярно-лучевой эпитаксии, обладают рядом технологических преимуществ, основным из которых является возможность контролируемого роста гетероструктур с квантовыми ямами. Варьирование параметров квантовых ям позволяет управлять шириной запрещенной зоны и гибко «подстраивать» энергетический спектр носителей, в том числе делая его «графеноподобным», что способствует подавлению безызлучательных механизмов рекомбинации. В настоящее время нами получено стимулированное излучение на рекордной длине волны 10.2 мкм. В задачи работы входит разработка дизайнов волноводных структур с квантовыми ямами на основе $\text{Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$ для дальнейшего увеличения длины волны генерации, получение стимулированного излучения и экспериментальное исследование его спектральных и мощностных характеристик.

Румянцев Владимир Владимирович

к.ф.-м.н., нс отд. 110

к. 262, т. 417–94–82 (+262), rumyantsev@ipmras.ru



Исследование процессов рекомбинации носителей заряда в узкозонных структурах на основе твердых растворов $\text{Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$

Твердые растворы $\text{Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$ – лидирующий материал при создании фотоэлектрических детекторов среднего ИК диапазона (окна прозрачности атмосферы 3 – 5 мкм, 8 – 14 мкм). Недавние работы показывают, что наногетероструктуры на основе твердых растворов $\text{Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$ оказываются перспективными и при разработке длинноволновых лазеров. В обоих случаях ключевым является вопрос о времени жизни носителей в материале, так как оно определяет потенциальную чувствительность приемника и пороговую мощность накачки, необходимую для создания инверсии населенности в активной среде лазера. Несмотря на существенный прогресс в технологии роста, проблема снижения влияния примесей и дефектов на времена жизни носителей в твердых растворах $\text{Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$ все еще актуальна, в особенности для узкозонных материалов (ширина запрещенной зоны менее 100 мэВ, $x < 0.2$). Кроме того, остается открытым вопрос о роли оже-рекомбинации в условиях высокой концентрации носителей, который становится особенно важным при разработке лазеров. Обзор литературных данных показывает, что процессы оже-рекомбинации требуют экспериментального исследования, а их теоретическое описание – дальнейшего совершенствования. В работе предполагается детальное исследование процессов рекомбинации

носителей в узкозонных твердых растворах $\text{Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$ и гетероструктурах с квантовыми ямами на их основе в широком интервале температур и интенсивностей возбуждения с помощью разрешенных по времени исследований фотопроводимости и фотолюминесценции, а также методом pump-probe с использованием лазера на свободных электронах HZDR FELBE (Дрезден, Германия).

Степихова Маргарита Владимировна

к.ф.-м.н., нс отд. 110

к. 273, т. 417-94-82 (+273), mst@ipmras.ru



Резонансные явления в люминесцентном отклике фотонных структур на базе кремниевых материалов

Работа предполагает проведение исследований низкоразмерных резонаторов, сформированных на базе кремниевых структур, методами микрофотолюминесценции с высоким пространственным, спектральным и временным разрешением. В рамках задач работы будут исследованы явления усиления люминесцентного отклика активной среды в фотонных кристаллах и фотонно-кристаллических резонаторах, и резонаторах Ми, где особое внимание будет уделяться выявлению роли эффекта Парселла в наблюдаемых явлениях. Разрабатываемые структуры ориентированы на создание активных элементов в схемах оптической обработки сигнала на кремниевом чипе.

Юрасов Дмитрий Владимирович

к.ф.-м.н., нс лаб. 114 отд. 110

к. 102, т. 417-94-80 (+102), Inquisitor@ipmras.ru



Формирование и свойства высококачественных слоев германия для кремниевой оптоэлектроники

Одной из актуальной проблем развития современной кремниевой нано- и оптоэлектроники является интеграция на кремниевой подложке устройств на основе германия (Ge). Ge по целому ряду своих параметров превосходит кремний, что позволяет создавать на его основе быстродействующие транзисторы, приемники и источники излучения ближнего ИК диапазона. Но для интеграции приборов на основе Ge с традиционной кремниевой технологией необходимо решить задачу получения на Si(001) подложках тонких (1 мкм и менее) высококачественных слоев Ge и их селективного легирования донорами. Решению этих задач и посвящена предлагаемая курсовая работа.

Работа является, в основном, экспериментальной и предполагает освоение современного технологического оборудования эпитаксии полупроводниковых SiGe гетероструктур и анализ результатов исследований, полученных структур широким набором методов. В настоящей работе предполагается проведение исследования возможностей роста методом молекулярно-пучковой эпитаксии на Si(001) подложках релаксированных и растянутых Ge слоев высокого кристаллического качества, изучение способов внедрения доноров в Ge матрицу без деградации структур, формирование образцов для потенциальных приборных применений.

Яблонский Артем Николаевич

к.ф.-м.н., снс отд. 110

к. 261, т. 417–94–82 (+261), yablonsk@ipmras.ru



Спектральные и кинетические исследования люминесцентных свойств полупроводниковых наноструктур

Работа посвящена экспериментальному исследованию люминесцентных свойств полупроводниковых наноструктур, излучающих в ближнем инфракрасном спектральном диапазоне. В качестве объектов исследования будут рассмотрены: структуры с пространственно упорядоченными Ge(Si) наноостровками и фотонными кристаллами на их основе; одноосно и двухосно растянутые микроструктуры на основе слоев Ge; структуры с нитевидными нанокристаллами («вискерами») InAsP/InP и GaAs/AlGaAs; эпитаксиальные структуры InN.

В ходе работы предполагается ознакомление с такими современными методами исследования как:

- спектроскопия фотолюминесценции видимого и инфракрасного диапазона с наносекундным временным разрешением;
- спектроскопия возбуждения фотолюминесценции с использованием перестраиваемых по длине волны лазерных источников излучения;
- спектроскопия микро-фотолюминесценции с пространственным разрешением 1-2 нм;
- измерения при криогенных температурах и исследования температурных зависимостей фотолюминесценции в диапазоне от 4.2 до 300 К;
- исследование стимулированного излучения и лазерной генерации в полупроводниковых структурах.

Аладышкин Алексей Юрьевич

к.ф.-м.н., снс отд. 120

к. 026, т. 417-94-85 (+257, +258, +311), aladyshkin@ipmras.ru



Измерение глубины проникновения магнитного поля в сверхпроводящих наноструктурах методом низкотемпературной резонансной СВЧ спектроскопии

Измерение температурной зависимости глубины проникновения магнитного поля в тонкопленочных сверхпроводящих структурах является одной из важных методик диагностики сверхпроводящего состояния. В рамках предлагаемой работы предполагается участие в модернизации исследовательской установки, разработка автоматизированной системы сбора данных, непосредственное проведение измерений, анализ результатов, знакомство с математическими пакетами LabView, Matlab и Python. Студент при должном усердии получит практический опыт работы в области криогенной техники, методов СВЧ измерений, знакомство с базовыми теориями сверхпроводимости (Гинзбурга-Ландау и Бардина-Купера-Шриффера) и навыки анализа полученных данных. Работа проводится в рамках исследовательских проектов ИФМ РАН.



Исследование квантово-размерных эффектов ультратонких металлических пленках методами низкотемпературной сканирующей туннельной микроскопии и спектроскопии

Хорошо известно, что спектр энергии электрона в ультратонких металлических пленках отличается от спектра энергии свободной частицы из-за наличия границ (иначе говоря, локализации волновой функции частицы в пределах металлического слоя). В рамках предлагаемой работы предполагается участие в напылении тонкопленочных металлических структур (Pb, Al) термическим методом в условиях сверхвысокого вакуума и исследовании локальных электронных свойств методами сканирующей туннельной микроскопии и спектроскопии, а также активное участие при анализе полученных результатов. Студент получит представление о современной вакуумной и криогенной технике, методиках создания образцов и исследования их методом СТМ.

Вадимов Василий Львович*, Мельников Александр Сергеевич

*мнс отд. 120

к. 256, vvadimov@ipmras.ru



Когерентная динамика гибридных сверхпроводящих и сверхтекучих систем

Предлагается теоретически исследовать колебания сверхпроводящего параметра порядка (моды Хиггса) в различных сверхпроводящих системах при низких температурах. Работа включает в себя изучение механизмов возбуждения и детектирования Хиггсовских мод.

Водолазов Денис Юрьевич

д.ф.-м.н., снс отд. 120

к. 257, т.417-94-85 (+257), vodolazov@ipmras.ru



Детектирование одиночных фотонов с помощью гибридных сверхпроводящих наноструктур

Детекторы одиночных фотонов на основе сверхпроводящих полосок широко исследуются как экспериментально, так и теоретически и уже нашли свое применение в различных приложениях. Основной принцип работы такого детектора относительно прост: поглощенный фотон локально разогревает сверхпроводник, что приводит к изменению его сопротивления, что и регистрируется в эксперименте. В настоящее время ведется поиск новых сверхпроводящих материалов, в которых эффективность детектирования фотонов приблизилась бы к 100%, что позволило бы использовать их в квантовой криптографии, квантовых компьютерах и т.д. В курсовой работе предлагается теоретически исследовать однофотонный отклик гибрида сверхпроводник- нормальный металл, являющегося одним из новых перспективных материалов для однофотонного детектирования.

Копасов Александр Андреевич*, Мельников Александр Сергеевич

*мнс отд. 120

к. 256, kopasov@ipmras.ru



Индукцированная сверхпроводимость в полупроводниковых нанопроводах

Полупроводниковые нанопровода покрытые сверхпроводящей оболочкой на сегодняшний день являются одной из самых перспективных платформ для поиска майорановских состояний в твердотельных системах. В данной работе предлагается теоретический расчет топологических фазовых диаграмм таких гетероструктур, а также исследование их транспортных и магнитных свойств.

Клушин Александр Моисеевич

д.ф.-м.н., зав.лаб. отд. 120

к. 225, т.417-94-83, a_klushin@ipmras.ru



Синхронизация джозефсоновских контактов электромагнитным полем

Работа предполагает изучение взаимодействия массивов джозефсоновских контактов с электромагнитным излучением мм диапазона волн. Цель работы: создания новых устройств для квантовой метрологии постоянного и переменного напряжений, работающих при температуре жидкого азота (77 К). Планируется численное моделирование и экспериментальное исследование тонкопленочных микроволновых линий передачи с встроенными джозефсоновскими контактами из высокотемпературных сверхпроводников в частотном диапазоне до 100 ГГц.



Джозефсоновские генераторы терагерцового диапазона частот

Работа направлена на исследование возможности построения генератора непрерывного излучения терагерцового диапазона частот на массивах большого числа тонкопленочных дискретных джозефсоновских контактов с размерами,

значительно превышающими длину излучаемой волны. Планируется численное моделирование и экспериментальное исследование ансамблей джозефсоновских контактов излучающих перпендикулярно плоскости подложки, т.е. ансамблей, в которых будет выживать в основном мода с нулевым продольным индексом и которая, тем не менее, будет фазирована со всеми джозефсоновскими цепочками.



Эффект Джозефсона в двухслойных структурах сверхпроводник-нормальный металл



Изучение эффекта близости в двухслойных структурах сверхпроводник (S) – нормальный металл (N). Разработка технологии создания SN мостиков нанометровых размеров из нитрида ниобия и алюминия, серебра или золота. Изучение стационарного и нестационарного эффектов Джозефсона в таких структурах при температурах до 1 К.

Мионов Сергей Викторович

к.ф.-м.н., снс отд. 120

к. 257, т. +7 951 9142322, svmironov@ipmras.ru



Сверхпроводниковая оптофлаксона

Целью работы является разработка теоретических основ нового направления физики конденсированных сред, находящегося на стыке оптики, сверхпроводимости и магнетизма – сверхпроводниковой оптофлаксона. Работа предполагает теоретическое изучение механизмов оптического управления бездиссипативными токами и топологически защищенными магнитными состояниями в сверхпроводящих системах. Результаты могут быть использованы для разработки сверхбыстрых ячеек памяти и элементов управления зарядовыми и спиновыми токами в криоэлектронике и спинтронике

Новиков Михаил Афанасьевич

к.ф.-м.н., внс отд. 120

к. 234, т. +7 920 2529398, mnovik@ipmras.ru



Тепловое излучение хиральных сред - дистанционный метод регистрации наличия жизни в космосе, предполагая её гомохиральность



На первом этапе работа теоретическая, а на втором предполагается создание оптической экспериментальной установки для проверки полученных результатов теоретических расчетов.

Савинов Денис Александрович

к.ф.-м.н., нс отд. 120

к. 257, т. 417–94–85 (+257), savinovda@ipmras.ru



Влияние эффекта ионной имплантации на пространственную модуляцию характеристик беспорядка тонкопленочных наноструктур и сверхпроводящий фазовый переход в сильных магнитных полях.

В работе предстоит изучить фундаментальные основы теории сверхпроводников (основные определения и свойства), а затем выполнить транспортные измерения

узких сверхпроводящих мостиков на основе YBaCuO в широком интервале магнитных полей. Основные этапы эксперимента:

- выполнение микросварки четырехточечной радиотехнической схемы на узких сверхпроводящих мостиках;
- измерение полевой зависимости электрического сопротивления мостиков при заданной температуре; определение второго критического магнитного поля по заданному уровню измеренного сопротивления;
- обработка экспериментальных данных - определение линии фазового перехода мостиков на плоскости магнитное поле-температура (планируется экспериментально изучить данные зависимости для мостиков с разной степенью имплантированных ионов кислорода);
- сравнение экспериментальных данных с типичными теоретическими зависимостями.

Самохвалов Алексей Владимирович*, Мельников Александр Сергеевич

*д.ф.-м.н., снс отд. 120

т. (831) 417-94-85



Гибридные наноструктуры в сверхпроводящей спинтронике

Работа предполагает теоретическое изучение взаимодействия сверхпроводимости, спин-орбитальной связи и обменного поля в модельных гибридных структурах с эффектом близости: сверхпроводник-ферромагнетик или сверхпроводник-топологический изолятор. Спин-орбитальная связь в сочетании с магнитным обменным полем может способствовать образованию необычного неоднородного сверхпроводящего состояния, которое крайне интересно для изучения взаимодействия между магнетизмом и сверхпроводимостью, приводит к образованию джозефсоновского перехода со спонтанной разностью фаз в основном состоянии и играет важную роль в физике майорановских фермионов.

Токман Иосиф Давидович

к.ф.-м.н., снс отд. 120

к. 227, т. +7 903 6064080, tokman@ipmras.ru



Намагничивание графена переменными электромагнитными полями терагерцового диапазона.

Требуется рассчитать нелинейный ток намагничивания, определяющий обратный эффект Фарадея.

Гарахин Сергей Александрович

мнс отд. 130

к. 127, т. 417-94-85 (+127), garahins@ipm.sci-nnov.ru



Апериодические многослойные рентгеновские зеркала

Апериодические зеркала – подкласс многослойных рентгенооптических элементов, структура которых представляет собой последовательность слоев двух и более материалов, с изменяющимися по определенному закону толщинами. Такая вариативность позволяет гибко настраивать профиль отражательной способности под конкретные задачи.

В рамках работы планируется расчет, синтез методом магнетронного напыления и изучение апериодических зеркал с полосой пропускания, повторяющей формы эмиссионных линий Si La (13,5 нм), Be Ka (11,4 нм) и В Ka (6,7нм), что представляет интерес для безмасочной рентгеновской нанолитографии.

Второй задачей является теоретическое и экспериментальное исследование возможностей апериодических многослойных зеркал по управлению спектральными, угловыми и временными характеристиками отраженных рентгеновских пучков, для чего требуется разработка алгоритма, позволяющего по заданным характеристикам зеркала рассчитывать рентгенооптические и временные характеристики отраженных импульсов рентгеновского излучения.

Лопатин Алексей Яковлевич

нс отд. 130

к. 123, т. 417-94-76 (+123), lopatin@ipmras.ru



Развитие методик изготовления субмикронных по толщине металлических пленок и рентгенооптических элементов на их основе

Работа имеет преимущественно экспериментальный характер и нацелена на совершенствование элементной базы оптики для спектральной области мягкого рентгеновского и экстремального ультрафиолетового излучения (длины волн от 1 нм до десятков нанометров). Единственным светосильным оптическим элементом в этой области спектра является зеркало с многослойным интерференционным покрытием, практическое использование которого зачастую возможно только в сочетании с работающим на пропускание металлическим пленочным фильтром, блокирующим фоновое излучение в УФ, видимом и ИК диапазонах. В ИФМ РАН многослойные пленочные фильтры толщиной 0.05 – 0.2 мкм изготавливаются с использованием метода магнетронного напыления. Тонкопленочные элементы перспективны также в качестве высокопрозрачных разделительных экранов для схем проекционной литографии ЭУФ диапазона, фазовращателей на пропускание, опорной поверхности для элементов дифракционной оптики.

Нечай Андрей Николаевич

к.ф.-м.н., нс отд. 130

к. 156, nechay@ipmras.ru



Изучение возможностей применения ускоренных кластерных пучков

В настоящее время в отделе 8130 многослойной рентгеновской оптики проводятся работы по разработке, изготовлению и запуску установки по получению ускоренных кластерных пучков

На данной установке будут решаться следующие научные задачи:

- 1) Изучение структуры кластерных пучков и процессов кластеризации.
- 2) Изучение эмиссии излучения при столкновении кластеров с поверхностью.
- 3) Полировка различных поверхностей с помощью кластерных пучков.

Результатом проведения исследовательской работы на данной установке станут экспериментальные данные, необходимые для построения теории кластеризации газовых пучков, теории планаризации поверхностей кластерами, теории генерации мягкого рентгеновского и экстремального ультрафиолетового излучения в столкновительных процессах.



Исследование эмиссионных спектров лазерной плазмы при использовании газоструйных мишеней в МР и ЭУФ области спектра

В настоящее время в отделе 8130 многослойной рентгеновской оптики проводится поиск эффективных лабораторных источников излучения в диапазоне мягкого рентгеновского и экстремального ультрафиолетового диапазона длин волн. Такие источники востребованы для различных лабораторных приложений: рефлектометрических измерений, в литографических целях, МР микроскопии и тд. Данный источник излучения представляет собой газовую струю, в которую фокусируется излучение возбуждающего лазера. На данной установке предлагается решать следующие научные задачи:

- 1) Изучение эмиссионных спектров лазерной плазмы различных элементов.
- 2) Изучение эмиссионных спектров лазерной плазмы кластерных газовых мишеней.
- 3) Изучение влияния параметров газовой мишени на интенсивность и спектральную зависимость эмиссионного излучения спектров.

Результатом проведения исследовательской работы на данной установке станут экспериментальные данные, необходимые для построения теории формирования ЭУФ излучения в газовых мишенях различной структуры.

Полковников Владимир Николаевич

к.ф.-м.н., снс отд. 130

к. 127, т. 417–94–76 (+127), kiniokop@rambler.ru



Многослойные зеркала для изучения солнечной плазмы

Работа носит преимущественно экспериментальный характер и посвящена разработке и созданию новых высоко эффективных многослойных зеркал, предназначенных для создания схем телескопов орбитального базирования. В ближайшие годы в России предполагается создать и вывести на орбиту, как

минимум, три новейшие космические солнечные обсерватории. Новые задачи, стоящие перед ними, возможно решить только с использованием многослойной рентгеновской оптики с улучшенными характеристиками. То есть с характеристиками, превосходящими всё имеющееся в мире на данный момент.



Развитие физических и технологических принципов синтеза многослойных зеркал

Многослойные зеркала являются основой оптических схем приборов наблюдения для диагностики лабораторной и солнечной плазмы, проекционной литографии (технологии изготовления чипов микроэлектроники), рентгеновской микроскопии и многих других отраслей науки и техники. Научно-технический прогресс в этих областях взаимосвязан с качеством и свойствами изготавливаемых на практике зеркал. Поэтому остается актуальной задача совершенствования методов изготовления (синтеза) многослойных зеркал.

До сих пор и в мире, и в России (ИФМ РАН) наиболее распространенным методом синтеза многослойных структур является магнетронное распыление. Однако здесь уже достигнут предел возможностей улучшения характеристик зеркал. Дополнительные возможности открываются через применение альтернативных методик - сильноточного магнетронного распыления, ионной полировки, ионного ассистирования и ионно-пучкового распыления. Это и является сутью работы. В данном случае она в большей степени экспериментальная. Необходимая теория остается в рамках классической электродинамики.



Многослойные зеркала на основе бериллия

Многослойные зеркала (МЗ) являются универсальной основой оптических схем, предназначенных для работы в диапазоне длин волн 2-60 нм. Однако до сих пор не весь этот диапазон перекрыт имеющимися зеркалами. Развитию исследований во многих областях науки во многом препятствуют «белые пятна» многослойной зеркальной рентгеновской оптики. То есть отсутствие эффективно отражающих МЗ для ряда под-диапазонов длин волн.

В данной работе в качестве основы высоко отражающих и частично закрывающих «белые пятна» зеркал предлагается применять бериллий. Важно отметить, что ни в мире, ни в России этот элемент до сих пор не применялся для создания МЗ. Этот факт дает преимущество тому, кто первым освоит работу с ним.

Работа носит преимущественно экспериментальный характер. Тем не менее, остается место и для теории. В частности, очень важным моментом является умение извлекать точную детальную информацию о составе и структуре МЗ из результатов измерения отражения от них рентгеновского излучения.

Чхало Николай Иванович

д.ф.-м.н., зав. отд. 130

к. 128, chkhalo@ipmras.ru



Безмасочная рентгеновская литография

Литография является ключевой технологией производства элементов микро(нано)электроники, определяющей топологические нормы и степень интеграции сверхбольших интегральных схем (СБИС). При производстве наноэлектроники используется проекционная УФ (ультрафиолетовая) литография.

Ключевыми недостатками этого метода является использование большого числа дорогостоящих масок, вследствие чего образуются задержки в разработке чипов, связанные с необходимостью изготовления набора масок, а также сильная зависимость стоимости чипа от объемов производства: технология становится конкурентоспособной только при массовом (от миллиона и более чипов в год) производстве. В действительности рынок микро(нано)электроники требует не только массового, но также средне- и мелкосерийного производства, причем объемы рынков, как массового, так и средне- и мелкосерийного производства, примерно одинаковы. Поэтому проблема развития безмасочной литографии является крайне актуальной.

В ИФМ РАН предложен инновационный метод безмасочная рентгеновская литография, в которой в качестве динамической маски выступает чип микрозеркал, управляемый электрическими сигналами. В настоящее время в рамках проекта Фонда Перспективных Исследований по этой теме выполняется аванпроект. В случае подтверждения физических принципов, заложенных в основу метода Фондом планируется поддержка большого проекта по созданию впервые в мире литограф-демонстратора технологии безмасочной рентгеновской литографии.

Востоков Николай Владимирович

к.ф.-м.н., нс отд. 140

к. 204, т. 417-94-92, vostokov@ipm.sci-nnov.ru



Вертикальный полевой транзистор с управляющим p-n переходом на основе GaAs

Работа посвящена созданию нового силового GaAs полевого транзистора с вертикальным каналом, управляемым p-n переходом. Предполагается проведение теоретических (численное моделирование) и экспериментальных исследований транспортных процессов протекающих в разрабатываемых транзисторных структурах.

Королёв Сергей Александрович

к.ф.-м.н., мнс отд. 140

к. 255, т. 417-94-96 (+255), pesh@ipmras.ru



Система видения миллиметрового диапазона

Развитие микроэлектроники миллиметрового и субмиллиметрового диапазона позволяет создавать новые устройства ранее недоступной функциональности. Одним из таких устройств является система радиовидения. Использование радиоволн в системах получения изображения позволяет преодолеть многие неблагоприятные факторы, критические для оптического диапазона.

Данная работа посвящена разработке, исследованию и дальнейшему идейному развитию методов миллиметрового видения. Осуществляется тесное взаимодействие с технологической группой, занимающейся исследованием новых материалов и разработкой новых типов полупроводниковых элементов, являющихся основой создаваемых систем.

Пахомов Георгий Львович

к.х.н., снс отд. 140

к. 203, т. 417-94-59, pakhomov@ipmras.ru



Гибридные фотовольтаические преобразователи

Эксперименты по получению гибридных тонкоплёночных гетероструктур на основе природоподобных молекул. Полученные образцы исследуются несколькими аналитическими методами; на основании фотоэлектрических измерений рассчитываются фотовольтаические параметры. Изучаются процессы образования и распада молекулярных экситонов. Задачей является повышение эффективности ячейки за счёт применения новых материалов.

Юнин Павел Андреевич

к.ф.-м.н., нс отд. 140

к. 238, т. 417–94–59, yunin@ipmras.ru



Исследование особенностей эпитаксии GaN на а-срезе сапфира

Курсовая работа предполагает участие в исследованиях структурных и электрофизических свойств слоев нитрида галлия, выращенных на подложках а-среза сапфира методом металлоорганической газофазной эпитаксии. Возможно участие в технологических процессах получения и подготовки эпитаксиальных структур, проведение рентгенодифракционных исследований и электрофизических измерений, выполнение кристаллофизических расчетов, обработка и интерпретация результатов.

Гусев Сергей Александрович

к.ф.-м.н., внс отд.150

к. 122, т. 417–94–89 (+122), gusev@ipmras.ru



Исследование наноструктур методами аналитической электронной микроскопии (АЭМ)



В работе предлагается провести исследование влияния структурных характеристик наноразмерных систем, которые могут быть сформированы из различных материалов (одиночные и многослойные металлические структуры, многослойные элементы рентгеновской оптики, нанотрубки и т.п.) на магнитные, оптические или электрические свойства. На выбор студенту предлагается несколько тем:

- Диагностика структур (металлических, полупроводниковых ...) методом спектроскопии характеристических потерь электронов (EELS в англоязычной литературе), что подразумевает получение информации о пространственном распределении элементов в образце, их количественном составе; изучение ближнего порядка в расположении атомов; анализ магнитных характеристик пленок с применением нового метода хирального магнитного дихроизма с помощью просвечивающего электронного микроскопа (ПЭМ). Содержание работы: эксперимент + компьютерная обработка результатов, моделирование спектров и ТЕМ изображений.
- Исследование структурных превращений в металлических пленках при ионной либо термической обработке методами высокоразрешающей ПЭМ и электронного микрофракционного анализа. Содержание работы: эксперимент + компьютерная обработка результатов и моделирование изображений высокого разрешения (информационный предел разрешения у нас 0,12 нм).
- Растровая (сканирующая) электронная микроскопия наноструктур. Предлагается освоить методы диагностики и провести экспериментальные исследования структур на основе тонких пленок или допированных металлами многослойных углеродных нанотрубок с помощью сканирующего электронного микроскопа (СЭМ). Задача состоит в изучении структурных и морфологических особенностей этих объектов в зависимости от их состава и способа получения. Требуется объяснить особенности контраста СЭМ изображений, полученных с помощью разных детекторов, что предполагает разработку (или освоение существующих) методов моделирования изображений.

Общие требования к студентам — знание английского языка, основ кристаллографии, аккуратность и регулярность посещений. Особо поощряется тяга к программированию (есть большая библиотека лицензионного и свободного программного обеспечения для обработки изображений и спектров, возможно написание оригинальных скриптов).

Караштин Евгений Анатольевич

к.ф.-м.н., нс отд. 150

к. 121, т. 417–94–88, eugenk@ipmras.ru



Поверхностные спиновые волны в неоднородно намагниченных системах



Предлагается провести теоретические исследования и микромагнитное моделирование поверхностных собственных колебаний неоднородно намагниченных ферромагнитных наноструктур различного типа. Известно, что на границе однородно намагниченного ферромагнетика при определённой взаимной ориентации магнитного момента и направления распространения существует прижатая магнитостатическая волна (волна Даймона-Эшбаха). Она является невзаимной и топологически защищённой. В рамках данной курсовой работы будет рассмотрен ряд задач, связанных с распространением такой волны на границе пространственно-неоднородного ферромагнетика. Внимание будет уделено поиску эффектов, связанных с невзаимным распространением спиновых волн, в локально модифицированных слоях с перпендикулярной магнитной анизотропией.



Эффект выпрямления переменного электрического поля в неколлинеарном ферромагнетике

Ферромагнетики с неколлинеарным распределением намагниченности обладают рядом необычных транспортных и оптических свойств, которые обусловлены связью спиновых и пространственных степеней свободы носителей заряда. Теоретически предсказан и экспериментально обнаружен топологический эффект Холла в некомпланарной магнитной структуре. В неколлинеарной геликоидальной магнитной системе, которая реализуется в гольмии при температуре ниже 133К, экспериментально обнаружена особенность высокочастотной проводимости на частоте, соответствующей обменному расщеплению спектра электронов; впоследствии данной особенности дано теоретическое объяснение. Кроме того, предложен обратный эффект генерации электромагнитного излучения при переходе электронов между спиновыми подзонами.

Явление выпрямления переменного электрического поля при распространении в пространственно-неоднородном ферромагнетике было предсказано теоретически для системы с некомпланарным пространственным распределением намагниченности. В такой экзотической системе эффект обусловлен чисто обменным взаимодействием. В рамках данной работы предлагается теоретически рассчитать аналогичный эффект в системе, в которой магнитный момент в разных точках пространства ориентирован неколлинеарно. Здесь для возникновения эффекта выпрямления необходим учёт спин-орбитального взаимодействия. Будет рассмотрена модельная задача о распространении электромагнитной волны в системе с циклоидальным распределением намагниченности с учётом взаимодействия Рашбы. Экспериментально указанное распределение намагниченности может быть реализовано несколькими способами: в частности, в плоско-слоистой системе, состоящей из двух слоёв, один из которых имеет анизотропию типа "лёгкая плоскость", а другой — "лёгкая ось"; кроме того, возможно возникновение циклоидального распределения намагниченности вследствие наличия взаимодействия Дзялошинского-Мория на границе тонкой плёнки ферромагнетика с тяжёлым металлом. В ИФМ РАН имеются технологии изготовления таких систем и планируется проведение экспериментов по обнаружению выпрямления в них переменного электрического поля электромагнитной волны. В ходе выполнения

работы студент может принять участие в интерпретации экспериментальных данных, полученных на таких структурах.

Миронов Виктор Леонидович

д.ф.-м.н., внс отд. 150

к. 121, т. 417–94–88, mironov@ipmras.ru



Исследование магнитных состояний и ферромагнитного резонанса в планарных магнитных наноструктурах



В работе предполагается проведение теоретических (расчеты и микромагнитное моделирование) и экспериментальных (магнитно-силовая микроскопия, ФМР-спектроскопия) исследований магнитных состояний и явления ферромагнитного резонанса в массивах многослойных ферромагнитных наночастиц, упорядоченных на двумерных решетках с различной пространственной симметрией.



Магнитно-силовая микроскопия искусственных (паттернированных) ферромагнитных наноструктур



В работе предполагается проведение теоретических (расчеты и микромагнитное моделирование) и экспериментальных (магнитно-силовая микроскопия) исследований магнитных состояний и процессов перемагничивания сложно организованных (многослойные частицы различной формы) планарных массивов ферромагнитных наночастиц.



Сапожников Максим Викторович

к.ф.-м.н., снс отд. 150

к. 122, т. 417–94–73 (+122), msap@ipmras.ru



Магнитооптика магнитных пленок и наноструктур



В рамках работы предстоит освоить технику проведения стандартных магнитооптических измерений (эффект Керра и Фарадея) кривых намагничивания магнитных пленок. Предстоит принять участие в создании установки для проведения магнитооптических измерений при низкой температуре. Планируется исследовать магнитные свойства многослойных магнитных пленок Co/Pt и наноструктур на их основе. В случае активной работы возможна публикация результатов в научном журнале.

Татарский Дмитрий Аркадьевич

к.ф.-м.н., нс отд. 150

к. 122, т. 417–94–89, tatarsky@ipmras.ru



Исследование магнитных наноструктур методами электронной микроскопии



В настоящее время широко исследуются неоднородные состояния в тонких плёнках: магнитные вихри, монокиральные магнитные текстуры, скирмионы. В работе предлагается работать методами просвечивающей электронной микроскопии с различными наноструктурами из тонких пленок пермаллоя, инвара и многослойных структур тантал-кобальт-платина.

В первый год работы предлагается:

- 1) Численно и экспериментально исследовать состояния в искусственной решётке антиточек ромбической формы, в которой формируются упорядоченные решётки связанных вихрей и антивихрей;
- 2) Численно исследовать влияние монокиральных доменных стенок переменной кривизны на формирование френелевского контраста с учётом нанокристаллической структуры плёнок Ta-Co-Pt.

В ходе выполнения курсовой работы студент:

- 1) Познакомится с методами обработки светлого- и темнопольных электронномикроскопических микрофотографий, в т.ч. с использованием нейронных сетей;
- 2) Ознакомится с методами расшифровки электронной микродифракции и микрофотографий высокого разрешения;
- 3) Освоит методику моделирования микромагнитных распределений в симуляторе MuMax3;
- 4) Освоит методику моделирования френелевского магнитного контраста по заданным микромагнитным распределениям с учётом приборной функции просвечивающего электронного микроскопа;
- 5) Примет участие в разработке технологических карт подготовки образцов in-plane и cross-section для просвечивающего электронного микроскопа с помощью системы пробоподготовки Fischione.

Желательно владение английским языком, а также представление о языках программирования Python, C++, Go, CUDA.

Удалов Олег Георгиевич

к.ф.-м.н., нс отд. 150

к. 121, т. 417-94-88, udalov@ipmras.ru



Моделирование гибридных наноструктур сегнетоэлектрик/ферромагнетик



Будет проводиться численное моделирование поведения латерально-ограниченных магнитных наноструктур, выращенных на поверхности подложки сегнетоэлектрика. Будут определены возможности управления магнитным состоянием таких структур с помощью электрических полей.



Поверхностный магнито-электрический эффект в магнитных оксидах

В работе будет проведено исследование влияния электрического поля на поверхностное магнитное состояние магнитных оксидов.

Вакс Владимир Лейбович

к.ф.-м.н., зав. отд. 160

к. 182, т. 417–94–57, vax@ipmras.ru



Применение методов нестационарной газовой спектроскопии ТГц частотного диапазона для медицинской диагностики на основе анализа выдыхаемого воздуха и запахов

В работе предполагается разработка методов повышения чувствительности спектрального анализа для экспериментального исследования состава выдыхаемого воздуха, а также запахов тканей и органов методами нестационарной газовой спектроскопии ТГц частотного диапазона с целью выявления характерных комбинаций молекул-маркеров для последующего использования в неинвазивной медицинской диагностике.



Математическое моделирование спектра ДНК с заданным коэффициентом специфичности



Терагерцевая спектроскопия является перспективным методом исследования пространственной структуры молекул: электромагнитные поля в терагерцевом (ТГц) диапазоне частот не повреждают биологические молекулы, кроме того, спектры поглощения высокочувствительны к особенностям структуры молекулы. При этом интерпретация ТГц спектров биомолекул является очень сложной задачей.

Интересным модельным объектом для ТГц спектроскопии является молекула ДНК. Во-первых, высокая пространственная регулярность молекулы позволяет моделировать ее цепочкой связанных осцилляторов. Во-вторых, у ДНК есть несколько независимых параметров, например, длина цепочки, период двойной спирали и так называемый коэффициент специфичности (константа, зависящая от биологического вида, которому принадлежала исследуемая ДНК).

В рамках данной работы предполагается моделирование зависимости ТГц спектра ДНК от соотношения ГЦ/АТ пар в молекуле.



Изучение взаимодействия ТГц излучения с плоско-слоистыми диэлектрическими структурами, включающими крупные органические молекулы

В терагерцевой спектроскопии биологических жидкостей наиболее удобно работать с образцами в виде тонких пленок на прозрачных подложках, либо с образцами в виде плоского слоя жидкости, ограниченного стенками измерительных кювет из различных диэлектрических материалов.

Суть работы заключается в формулировке теоретической концепции прохождения ТГц излучения через плоско-слоистые диэлектрические структуры, содержащие биомолекулы, для оценки оптических свойств данных структур в ТГц диапазоне с использованием как справочных, так и полученных в эксперименте данных. Также предлагается освоение программных методов расчета параметров плоско-слоистых диэлектриков.



Способы повышения производительности метода терагерцевой спектроскопии высокого разрешения для биомедицинских задач

Работа включает несколько основных задач - повышение чувствительности и точности метода, автоматизацию спектроскопических измерений для образцов в виде растворов. Может рассматриваться одна из задач на выбор более подробно.

Для примера, одним из способов повышения чувствительности является использование открытых высокодобротных резонаторов (ВР). ВР активно используются в ИК, видимом и УФ диапазонах для анализа одно/двухкомпонентных газов. Также известны научные работы по измерению характеристик тонких диэлектрических пленок в миллиметровом диапазоне длин волн с применением ВР.

Курсовая работа предполагает анализ литературы, изучение методов обработки результатов физического эксперимента, принципов работы с приборами, оптимизацию схемы существующей измерительной установки или разработку новой схемы, написание программного обеспечения для автоматического сбора необходимых данных и записи спектров, а также проведение тестовых измерений и, при необходимости, теоретическое обоснование полученных результатов.



Экспериментальное исследование конформеров биологических молекул с использованием методов ТГц спектроскопии

ТГц спектр биомолекул обусловлен низкочастотными колебаниями, представляющими собой коллективные движения больших групп атомов, образующих молекулу. Вследствие своей «коллективной» природы такие колебания чувствительны к пространственной структуре молекул (конформации) и их внешнему окружению. При этом конформационная гибкость биомолекул (ДНК, РНК, белки, витамины, и т.д.) напрямую связана со способностью молекулы менять взаимное расположение отдельных частей внутри структуры, и поэтому играет важную роль в биохимических реакциях.

В эксперименте можно выявить характерные полосы поглощения, отвечающие молекулам определенной конформации. Для этого нужно иметь представление о характере взаимодействий, дающих вклад в низкочастотный спектр конкретной биомолекулы, и разработать методику проведения эксперимента по выявлению «конформационных маркеров».



Изучение механизмов генерации и приема ТГц и ИК излучения с помощью квантовых полупроводниковых сверхрешеток.

Наиболее перспективными материалами для разработки источников терагерцового (ТГц) излучения и высокочувствительных приемных систем ТГц и ИК диапазонов являются квантовые полупроводниковые сверхрешетки (КПСР). КПСР представляет собой многослойную периодическую структуру, в которой за счет чередования материалов или изменяющегося легирования возникает дополнительный периодический потенциал. В периодическом потенциале энергетический спектр электронов представляется совокупностью относительно узких энергетических минизон, движение электронов в которых сильно нелинейно. Такие материалы обладают уникальными возможностями для создания приборов ТГц и ИК диапазонов. Предлагаемая работа включает себя как основные методы расчета зонной структуры и параметров КПСР, так и экспериментальные исследования созданных образцов.



Исследование динамики химических реакций с помощью методов нестационарной газовой спектроскопии ТГц частотного диапазона

ТГц спектроскопия позволяет проводить быстрые и высокоточные измерения концентраций веществ в газовой смеси. Это можно успешно применять для исследования динамики протекания химических реакций, в том числе и протекающих очень быстро - за десятки миллисекунд, и изучения не только того, как меняется концентрация того или иного продукта или промежуточного соединения, но и пути протекания и стадийность химических реакций.

В работе предполагается исследование динамики химических процессов с использованием методов нестационарной газовой спектроскопии ТГц частотного диапазона. В рамках этой работы пригодятся знания по электродинамике, квантовой физике, химии, численным методам и, возможно, желание участвовать в разработке и модификации частей измерительного комплекса.

Панкратов Андрей Леонидович

д.ф.-м.н., внс отд. 160

к. 155, т. +7 905 1913223, alp@ipmr.ru



Однофотонные пороговые детекторы на основе джозефсоновских контактов



В работе теоретически и экспериментально исследуются прототипы пороговых детекторов слабых микроволновых сигналов на основе джозефсоновских контактов сверхпроводник-изолятор-сверхпроводник. Исследуются как классический, так и квантовый режимы работы, где уровень чувствительности близок к однофотонному. Изучаются вероятности переключения при СВЧ воздействии и среднее время темновых отсчетов в отсутствие сигнала в диапазоне температур от 10мК до 1К, см. <https://doi.org/10.3762/bjnano.11.80>. Экспериментальные исследования проводятся на криостате растворения Лаборатории сверхпроводниковой наноэлектроники НГТУ.



Болометрические детекторы с эффектом электронного охлаждения



В работе теоретически и экспериментально исследуются детекторы с эффектом электронного охлаждения на чипе - болометры на холодных электронах, см. например, <https://www.nature.com/articles/s42005-019-0206-9>

Работа включает в себя как расчет антенных систем, так и участие в изготовлении образцов болометров и их экспериментальное исследование в 3He криостате Лаборатории сверхпроводниковой наноэлектроники НГТУ.



Синхронизация джозефсоновских осцилляторов в присутствии шумов



Экспериментально и численно исследуются режимы взаимной и вынужденной синхронизации цепочек точечных и распределенных джозефсоновских контактов, см., например, <http://dx.doi.org/10.1063/1.4978514> и <https://doi.org/10.1088/1361-6668/aadac8>. Экспериментальные работы выполняются на 4К криостате замкнутого цикла, расположенном в к. 141 ИФМ РАН.

Для заметок

Для заметок

Контактная информация

Люди

Денис Андреевич Рыжов

Тел.: 417–94–59

Е-mail: ryzhov@ipmras.ru

Дмитрий Аркадьевич Татарский

Тел.: 417–94–89

Е-mail: tatarsky@ipmras.ru

Сайты



ИФМ РАН

<http://ipmras.ru>



Кафедра «Физика наноструктур и наноэлектроника»

<http://www.pnn.unn.ru/>



Группа ИФМ РАН ВКонтакте

<http://vk.com/ipmras>

Адрес

ул. Академическая, д. 7, д. Афоино, Нижегородская обл., Кстовский район, 607680, Россия.

Электронный вариант сборника

<http://www.pnn.unn.ru/UserFiles/docs/topics2020.pdf>



Схема проезда

ост. Академическая
авт. 2, 40, 45, 52, 61, 72, 85, 90, 204, 225, 230
т. 18, 24, 34, 45, 57, 74, 78, 83, 304, 371

- маршрут проезда на автомобиле
- маршрут движения пешком
- 940 метров от ост. Технический университет
- 260 метров от ост. Сады

Автоконтинент
автосалон Renault

ИФМ РАН

Центр Авто
автосалон Skoda

ост. Микрорайон Красная поляна
авт. 225
т. 83, 302, 304, 371

