

## План работы ЦКП ФИАН. Перспективные исследования

### I Физика высокотемпературных сверхпроводников.

В области высокотемпературной сверхпроводимости в последнее время ведутся интенсивные исследования, направленные на выяснение механизма сверхпроводимости, на поиски новых сверхпроводников и повышение критических параметров существующих ВТСП и на разработку технологий их практического применения. По мере повышения критической температуры сверхпроводников удешевляется техника и технология на их основе и, соответственно, расширяется область применений. К 2020 г., мировой рынок промышленных применений устройств на основе ВТСП материалов по прогнозам достигнет 38 млрд. долларов. Это, в соответствии с Целями Стратегии НТР РФ (п.28), определяет актуальность развития исследований, проводимых в ЦКП ФИАН.

Планируемые исследования	Задействованные комплексы установок
<p>1. Главной целью деятельности Центра является поиск и создание сверхпроводников с критической температурой порядка комнатной. Для достижения этой цели в Центре развиваются несколько направлений исследований: (а) создание плоских зон на уровне Ферми, (б) подстройка сингулярности ван-Хова в окрестности уровня Ферми, (в) осуществление топологической сверхпроводимости, (г) осуществление сверхпроводимости на интерфейсе материала с сильными фононными модами, (д) осуществление сверхпроводимости в метал-оксидных гетероструктурах, (е) осуществление сверхпроводимости в материалах с ковалентной связью в условиях высокого давления. Инженерия требуемой зонной структуры проводится путем выбора перспективного химического мотива, химического легирования материала, а тонкая подстройка спектра - путем электрического легирования, гидростатического давления и одноосного сжатия.</p>	«СИНТЕЗ», «РЕНТГЕН» «ЭКСТРИМ»
<p>2. Создание материалов в Центре происходит по нескольким магистральным направлениям: (а) создание новых объемных материалов, (б) создание тонкопленочных эпитаксиальных структур и интерфейсов, (в) создание метал-оксидных пленочных гетероструктур, (г) создание интерфейсов с топологически нетривиальными квантовыми материалами. В области синтеза новых объемных ВТСП материалов для исследований и прикладных разработок предполагается получение поликристаллических и монокристаллических образцов сверхпроводящих слоистых оксипупатов, арсенидов и селенидов железа, теллуридов и халькогенидов переходных металлов, с использованием методики газового транспорта, расплавленными и раствор-расплавленными методами, а также методом Бриджмена (рост в температурном градиенте). Проводятся исследования взаимосвязи кристаллохимических параметров с физическими свойствами полученных материалов методами рентгенофазового анализа, электронной микроскопии, энергодисперсионной спектроскопии и дифракции обратно-рассеянных электронов. Для создания гетероструктур планируется использование методов атомно-слоевого осаждения из газовой фазы, магнетронного напыления, электронно-лучевого осаждения, и импульсного лазерного осаждения эпитаксиальных слоев.</p>	«СИНТЕЗ», «РЕНТГЕН» «ЭКСТРИМ» «НАНОЛАБ»

<p>3. Выдающиеся успехи в достижении критической температуры более 200К получены недавно в результате сжатия гидридов до давлений Мб диапазона. Ведущей организацией в РФ в этом направлении является Институт кристаллографии РАН (ИК), а в Программе исследований Центра планируется развитие методик измерений при Мб-давлениях, в кооперации с ИК.</p>	<p>«ЭКСТРИМ»</p>
<p>4. Для изучения связи электронной структуры полученных сверхпроводниковых материалов с их сверхпроводящими характеристиками проводятся исследования их зонной структуры методом фотоэлектронной спектроскопии с угловым и спиновым разрешением (SR ARPES).</p>	<p>«ЭКСТРИМ»</p>
<p>5. Для построения адекватной модели нормального состояния и выяснения механизма сверхпроводимости в исследуемых ВТСП материалах необходимо иметь надежную совокупность данных измерений различными взаимодополняющими методами. С этой целью в Центре проводятся исследования магнитотранспортных (эффект Холла, магнитосопротивление, термоэдс) и термодинамических свойств (АС- и DC-намагниченности, температурных зависимостей теплоемкости, анизотропии теплоемкости в магнитном поле, лондоновской глубины проникновения, критического магнитного поля, химического потенциала). Эти исследования, выполненные в комплексе, открывают возможности для определения типа и природы носителей заряда, многокомпонентности и наличия нулей параметра порядка, а также особенностей электронной структуры различных классов ВТСП и характерных энергетических масштабов.</p>	<p>«ЭКСТРИМ»</p>
<p>6. Важное место среди планируемых исследований занимает оптическая спектроскопия ВТСП материалов, которая в свое время сыграла одну из ключевых ролей в развитии представлений о фундаментальных свойствах «классических», низкотемпературных сверхпроводников. Планируется проведение исследований по ИК-спектроскопии сверхпроводящих пниктидов железа семейств «122» и «1111» с различным замещением, а в дальнейшем – других перспективных материалов для определения параметров нормального и сверхпроводящего состояния (величины сверхпроводящих щелей, тип симметрии параметра порядка и др.). С целью выяснения типа симметрии сверхпроводящего параметра порядка в железосодержащих ВТСП предполагается методами ИК-спектроскопии провести измерения сверхпроводящих щелей в зависимости от концентрации немагнитных радиационных дефектов..</p>	<p>«СПЕКТРОСКОПИЯ»</p>
<p>7. Планируется экспериментально изучить возможность изменения симметрии параметра порядка с ростом концентрации дефектов из анализа поведения температурной зависимости сверхтекучей плотности (или лондоновской глубины проникновения), которая согласно теории с ростом концентрации дефектов изменяется от экспоненциальной до степенной <math>T^n</math> с <math>1,6 &lt; n &lt; 2</math>.</p>	<p>«ЭКСТРИМ»</p>
<p>8. Для выявления особенностей электронного спектра объемных сверхпроводников вблизи уровня Ферми, а также симметрии и структуры волновых функций квазичастиц (электронов, куперовских пар) в синтезированных ВТСП материалах проводятся исследования по спектроскопии многократных андреевских отражений в микроконтактах SnS.</p>	<p>«ЭКСТРИМ»</p>

9. Информацию о более локальных поверхностных свойствах (нм- и суб-нм) планируется получить из измерений методом сверхвысоковакуумной низкотемпературной сканирующей туннельной микроскопии (СТМ) и спектроскопии (СТС) : (а) локальную сверхпроводимость в топологически нетривиальных материалах, графеноподобных структурах, (б) интерфейсную сверхпроводимость, (в) пространственную структуру волновой функции квазичастиц. Эти измерения проводятся в диапазоне температур до 0,4К и в магнитных полях до 15Тесла)	«ЭКСТРИМ», «НАНОЛАБ»
10. Реализация сверхпроводимости в слоях атомной толщины, на интерфейсах, управление ею при помощи методов послойного дизайна структур и электрического легирования, и исследования сверхпроводящих свойств наноструктур из таких слоев.	«НАНОЛАБ»

## II Физика новых квантовых материалов.

Научная программа ЦКП ФИАН предполагает проведение исследований в области создания и исследования новых топологически нетривиальных материалов, называемых квантовыми (КМ). Актуальность данного направления обусловлена тем, что свойства этих материалов являются многообещающими для создания прототипов приборов, работа которых будет основана на новых физических принципах, с использованием уникальных свойств КМ: необычные «релятивистские» спектры электронов, поверхностные и краевые топологически защищенные состояния, необычную симметрию сверхпроводящего параметра порядка и т.д.

Наилучшими объектами для исследования новых физических эффектов в КМ, в силу ряда причин, являются наноструктуры на их основе. Поэтому для исследований КМ запланирована работа по трем направлениям: рост кристаллов, создание из них гетероструктур, наноструктурирование и исследование их электронных свойств.

Микро- и нано-структуры планируется создавать на основе топологических изоляторов (в том числе в форме эпитаксиальных пленочных), вейлевских и дираковских полуметаллов, графеноподобных материалов и сверхпроводников с возможной нетривиальной топологией или с сильным спин-орбитальным взаимодействием.

С этой целью планируется:

Планируемые исследования	Задействованные комплексы установок
1. Выращивание монокристаллов топологических изоляторов, вейлевских и дираковских полуметаллов как платформы для создания пленочных и “чешуечных” наноструктур. Создание и исследование ван-дер Ваальсовых гибридных структур из топологически нетривиальных материалов в контакте со сверхпроводниками. Реализация и исследование топологической сверхпроводимости. Выявление майорановских квазичастиц.	«СИНТЕЗ», «РЕНТГЕН» «ЭКСТРИМ»
2. Проведение ARPES исследований кандидатов в вейлевские и дираковские полуметаллы для выявления дираковских особенностей и Ферми-арк в спектре, а также для оптимизации/корректировки условий роста и состава материалов.	«ЭКСТРИМ»
3. Применение ARPES методик для выявления в энергетическом спектре ветвей различной киральности и спиновой поляризации.	«ЭКСТРИМ»
4. Изучение поверхностных электродинамических свойств КМ: измерение ИК спектров отражения и пропускания, а также эллипсометрические измерения (в диапазоне от ИК до УФ). Расчет	«СПЕКТРОСКОПИЯ»

оптических функций (проводимость, диэлектрическая проницаемость), разделение вкладов различных механизмов, формирующих спектры.	
5. Реализация теневого микро и нано- контактов к химически чувствительным наночешуйкам топологических изоляторов и органических сверхпроводникам. Выявление новых транспортных свойств таких структур.	«СПЕКТРОСКОПИЯ»

### III. Физика сильных межэлектронных корреляций.

Планируемые исследования	Задействованные комплексы установок
1. Выявление и изучение эффектов межэлектронного взаимодействия в двумерных и квазиодномерных электронных системах, включая селениды, халькогениды, органические кристаллы.	«ЭКСТРИМ»
2. Выявление и изучение квантовых фазовых переходов в железосодержащих сверхпроводниках. Изменение химическим допированием положения на фазовой диаграмме сверхпроводящей фазы в железосодержащих сверхпроводниках с целью выявления квантовых критических точек; тонкая подгонка к критической точке методами зонной инженерии (давление, электронное легирование). Выявление особенностей вблизи критической точки в нормальной фазе в термодинамических характеристиках и особенностей (симметрия, наличие нулей) параметра порядка в сверхпроводящей фазе из вольт-амперных характеристик нано-сужений.	«ЭКСТРИМ», «СИНТЕЗ», «РЕНТГЕН»
3. Исследование свойств, механизмов электропроводности и фазовых состояний в манганитах.	«ЭКСТРИМ»
4. Исследование свойств гекса-, додэка- и гектоборидов.	«ЭКСТРИМ»
5. Исследование эффектов взаимодействия спинового, зарядового упорядочения и сверхпроводящего спаривания в квазидвумерных и квазиодномерных материалах.	«ЭКСТРИМ»

### VI. Технологии создания ВТСП материалов и устройств для практического применения

Планируемые исследования	Задействованные комплексы установок
1. Разработка технологии получения протяженных токонесущих элементов на основе железосодержащих сверхпроводников с изотропными свойствами методом криотермального механохимического активирования, а также методом экструзии (геометрия типа «порошок в трубе»). Оптимизация сверхпроводящих характеристик путем изменений условий синтеза, экструзии и введения связующих наночастиц.	«СИНТЕЗ»
2. Разработка и исследование ВТСП компактных токоограничивающих устройств.	«ЭКСТРИМ»