

*Форма открытия (продления) Проекта /  
Подпроекта КИП*

**УТВЕРЖДАЮ**

**Директор Института**

\_\_\_\_\_/\_\_\_\_\_  
“ \_\_\_\_ “ \_\_\_\_\_ 202\_ г.

**НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ОТКРЫТИЯ / ПРОДЛЕНИЯ  
ПРОЕКТА / ПОДПРОЕКТА КРУПНОГО ИНФРАСТРУКТУРНОГО ПРОЕКТА  
ПО НАПРАВЛЕНИЮ ИССЛЕДОВАНИЙ  
В ПРОБЛЕМНО-ТЕМАТИЧЕСКОМ ПЛАНЕ ОИЯИ**

**1. Общие сведения о проекте / подпроекте крупного инфраструктурного проекта  
(далее КИП)**

**1.1. Шифр темы / КИП (для продлеваемых проектов) 01-3-1137-2019/2023**

**1.2. Шифр проекта / подпроекта КИП (для продлеваемых проектов и подпроектов)**

**1.3. Лаборатория** теоретической физики им. Н.Н. Боголюбова

**1.4. Научное направление** Теоретическая физика

**1.5. Наименование проекта / подпроекта КИП** Наноструктуры и наноматериалы

**1.6. Руководитель(и) проекта / подпроекта КИП** В.А. Осипов, Е.А. Кочетов

**1.7. Заместитель(и) руководителя проекта / подпроекта КИП (научный руководитель  
проекта/ подпроекта КИП**

**2. Научное обоснование и организационная структура**

**2.1. Аннотация**

Планируется проведение исследований в области физики наноструктур и наноматериалов, в том числе с использованием программных пакетов для моделирования физико-химических процессов и анализа физических характеристик. Это прежде всего современные двумерные материалы, такие как графен, дихалькогениды переходных металлов и т. п. с учетом их модификации и химической функционализации для последующего применения при проектировании новых устройств для наноэлектроники, спинтроники и т. п. Частично, данные исследования ориентированы на эксперименты, проводимые в Центре прикладной физики ЛЯР ОИЯИ, Институте физики полупроводников СО РАН (Новосибирск) и ряде других лабораторий стран-участниц ОИЯИ. Планируется анализ топологической сверхпроводимости в сильнокоррелированных

электронных системах с целью поиска возможных приложений для передачи и хранения квантовой информации. Будут детально исследованы физические свойства стеков джозефсоновских контактов и различные джозефсоновские наноструктуры.

## **2.2. Научное обоснование** (цель, актуальность и научная новизна, методы и подходы, методики, ожидаемые результаты, риски)

На современном этапе развитие электроники достигло предела, обусловленного, прежде всего, свойствами материалов, на основе которых выполнены микроэлектронные устройства, то есть характеристиками стандартных полупроводников. В связи с этим существует запрос к фундаментальной науке относительно дальнейшего пути развития элементной базы для вычислительной техники. Одним из ответов является предложение принципиально новых материалов с уникальными свойствами и разработка способов их использования для создания новых более эффективных микроэлектронных устройств. Одним из главных кандидатов на роль базового материала для электроники нового типа является графен, обладающий рядом преимуществ перед стандартными полупроводниками. Наиболее важным является экстремально высокая подвижность носителей заряда (данная характеристика прямо отвечает за быстродействие электронных устройств). Помимо этого, сам факт двумерности графена создает возможность компактной компоновки (миниатюризация). Однако у этого материала есть и некоторые недостатки. Если опустить технологические аспекты, то к ним следует отнести отсутствие запрещенной зоны в электронном энергетическом спектре и отсутствие возможности локализовать электроны в графене вследствие парадокса Кляйна. Разработка фундаментальных принципов работы электронных приборов, которые, с одной стороны, используют достоинства графена, а с другой стороны позволяют избежать трудностей, связанных с его недостатками, является крайне актуальной и весьма интересной научной задачей.

В последние годы наблюдается заметный рост интереса к сверхпроводящей квантовой электронике с быстро растущим числом перспективных устройств и систем, обеспечивающих манипуляции с квантовыми когерентными состояниями. Топологический порядок в сильно коррелированных системах, включая квантовые спиновые жидкости, квантовые холловские состояния в решетках и топологическую сверхпроводимость, является одной из ключевых тем. Интенсивно исследуются различные металлические не ферми-жидкостные состояния, включая дробную ферми-жидкость и теории фазовых струн. Особый интерес представляет классификация топологических состояний и определение различий между квантовой и классической топологией. Наряду с важными практическими приложениями, новая топологическая парадигма может способствовать углубленному пониманию фундаментальных законов природы.

Эффект Джозефсона находит многообразные применения в различных областях науки, техники, медицины. В частности, приборы на его основе применяются в сверхпроводниковой электронике для измерения сверхслабых магнитных полей, в квантовой метрологии в качестве современных стандартов вольты, в медицине для регистрации магнитоэнцефалограм головного мозга. Данный эффект является основой для генерирования и детектирования когерентного электромагнитного излучения в терагерцовой области. До последнего времени не удавалось совместить сверхпроводимость и магнетизм, поскольку эти явления являются антагонистическими: магнитное поле уничтожает сверхпроводимость, а сверхпроводимость выталкивает магнитное поле. Однако, в гибридных джозефсоновских структурах их удалось сблизить настолько, что позволяет сверхпроводимости управлять магнетизмом, а магнетизму

влиять на сверхпроводимость. Одним из основных направлений в этой области является решение фундаментальных задач сверхпроводниковой спинтроники – разработки принципиально новых способов контроля намагниченности магнетиков, а также радикального снижения энергозатрат при функционировании спинтронных устройств.

Основной **целью** проекта является теоретическое исследование свойств новых перспективных материалов, прежде всего, наноструктур и наноматериалов. Особое внимание будет уделено анализу транспортных характеристик двумерных и малослойных структур с учетом их функционализации и структурной модификации. Важное место займет исследование таких явлений, как топологическая сверхпроводимость в сильно коррелированных системах и проявление эффекта Джозефсона в гибридных гетероструктурах. Это объясняется не только фундаментальностью физических свойств данных материалов, но и практической важностью для создания новых устройств электроники, устройств хранения, обработки и передачи информации, сенсоров и биосенсоров, и других.

**Научная новизна** и актуальность состоит в анализе широкого спектра физических характеристик новых материалов с целью выявления наиболее перспективных для разработки и создания устройств в области наноэлектроники, спинтроники, фотоники и т. п.

Общие **методы** теоретических исследований и **подходы** к решению сформулированных задач основаны на использовании квантовой физики твердого тела, статистической механики, физической кинетики, численных методов, а также использовании стандартных программных пакетов для квантово-химических расчетов, молекулярной динамики, и т.п.

Проектом предусмотрено решение задач по следующим направлениям:

1. С целью выявления материалов с перспективными свойствами для использования в качестве компонентной базы для электроники нового поколения планируется исследование теплового и электронного транспорта в низкоразмерных материалах различной конфигурации и химического состава. Будет проведен анализ роли функционализации, структурной модификации, влияния малослойности, поликристалличности, структурных дефектов и других факторов. Экспериментальные исследования проводятся в сотрудничестве института физики полупроводников СО РАН (синтез, характеристика, функционализация) и ЛЯР ОИЯИ (ионное облучение для создания нанопор).
2. Анализ топологической сверхпроводимости в сильнокоррелированных электронных системах с целью поиска возможных приложений для передачи и хранения квантовой информации и для исследования нестандартного квантового транспорта, нечувствительного к локальным источникам шума.
3. Исследование динамических, транспортных и хаотических явлений в гибридных джозефсоновских наноструктурах с магнитными материалами для целей сверхпроводящей спинтроники. Моделирование квантовых явлений в джозефсоновских кубитах (элементы памяти).
4. Изучение свойств поляронов в материалах с пониженной размерностью и наноструктурированных объектах. Анализ плазмон-фононного взаимодействия и плазмонов в наноразмерных и массивных объектах.

В решение задач проекта вовлечены как сотрудники лабораторий ОИЯИ, так представители научных учреждений и университетов России, стран-участниц ОИЯИ и ряда других стран.

### 2.3. Предполагаемый срок выполнения 2028

### 2.4. Участвующие лаборатории ОИЯИ

- Лаборатория информационных технологий им. М.Г. Мещерякова (Земляная Е.В., Сархадов И., Сердюкова С.И.)
- Лаборатория ядерных реакций им. Г.Н.Флерова (Скуратов В.А.)
- Лаборатория радиационной биологии (Бугай А.Н.)

#### 2.4.1. Потребности в ресурсах МИВК

Вычислительные ресурсы	Распределение по годам				
	1 год	2 год	3 год	4 год	5 год
Хранение данных (ТБ) - EOS - Ленты					
Tier 1 (ядро-час)					
Tier 2 (ядро-час)					
СК «Говорун» (ядро-час) - CPU - GPU					
Облака (CPU ядер)					

### 2.5. Участвующие страны, научные и научно-образовательные организации

Организация	Страна	Город	Участники	Тип соглашения
ИФ НАНБ	Беларусь	Минск	Кишин С.Я. +5	обмен визитами
НПЦ НАНБ по материаловедению	Беларусь	Минск	Сайко А.П. +3	обмен визитами
ИР UFRN	Бразилия	Натал	Ферраз А.	совместные работы
CU	Египет	Гиза	Ел Шербини Т.М.	совместные работы
IACS	Индия	Калькутта	Сенгупта К.	совместные работы
IASBS	Иран	Зенджан	Колахчи М.	совместные работы
IPT MAS	Монголия	Улан-Батор	Сангаа Д.	обмен визитами
WUT	Польша	Вроцлав	Миржеевски М.	совместные

				работы
ИНХ СО РАН	Россия	Новосибирск	Окотруб А.В.+3	обмен визитами
ИФП СО РАН	Россия	Новосибирск	Антонова И.В.+2	обмен визитами
СГУ	Россия	Саратов	Колесникова А.С.	совместные работы
UB	Румыния	Бухарест	Немнес Г.А.	совместные работы
INS “VINCA”	Сербия	Белград	Текич Д.	совместные работы
CU	Словакия	Братислава	Плеценик А.	совместные работы
IEP SAS	Словакия	Кошице	Пудлак М. +1	обмен визитами
UNISA	ЮАР	Претория	Бота А.Е.	совместные работы
UU	Япония	Уцуномия	Ирие А.	совместные работы

**2.6. Организации-соисполнители** *(те сотрудничающие организации/партнеры без финансового, инфраструктурного участия которых выполнение программы исследований невозможно. Пример — участие ОИЯИ в экспериментах LHC в CERN)*

### 3. Кадровое обеспечение

#### 3.1. Кадровые потребности в течение первого года реализации

№№ п/п	Категория работника	Основной персонал, сумма FTE	Ассоциированный персонал, сумма FTE
1.	научные работники	14	
2.	инженеры		
3.	специалисты		
4.	служащие		
5.	рабочие		
	<b>Итого:</b>	<b>14</b>	

### 3.2. Доступные кадровые ресурсы

#### 3.2.1. Основной персонал ОИЯИ

№№ п/п	Категория работников	ФИО	Подразделен ие	Должность	Сумма FTE
1.	научные работники	Осипов В.А.	НОТКС	нач. отдела	1.0
		Кочетов Е.А.	НОТКС	нач. сектора	1.0
		Шукринов Ю.М.	НОТКС	в.н.с.	1.0
		Ангел Д.	НОТКС	в.н.с.	1.0
		Катков В.Л.	НОТКС	с.н.с.	1.0
		Красавин С.Е.	НОТКС	с.н.с.	1.0
		Куликов К.В.	НОТКС	с.н.с.	1.0
		Мацко Н.Л.	НОТКС	с.н.с.	1.0
		Рахронон И.Р.	НОТКС	с.н.с.	1.0
		Абдельгани М.	НОТКС	н.с.	1.0
		Кешарпу К.К.	НОТКС	н.с.	1.0
		Белгибаев Т.	НОТКС	стаж.-иссл.	1.0
		Мазаник А.А.	НОТКС	стаж.-иссл.	1.0
2.	инженеры				
3.	специалисты				
4.	рабочие				
	<b>Итого:</b>				<b>13</b>

#### 3.2.2. Ассоциированный персонал ОИЯИ

№№ п/п	Категория работников	Организация-партнер	Сумма FTE
1.	научные работники		
2.	инженеры		
3.	специалисты		
4.	рабочие		
	<b>Итого:</b>		

#### 4. Финансовое обеспечение

Финансирование проекта будет осуществляться через тему «Теория сложных систем и перспективных материалов»

Руководитель проекта / подпроекта КИП \_\_\_\_\_ / \_\_\_\_\_ /

Дата представления проекта / подпроекта КИП в ДНОД \_\_\_\_\_  
Дата решения НТС Лаборатории 13.04.2023, номер документа 14  
Год начала проекта / подпроекта КИП 2024

## ЛИСТ СОГЛАСОВАНИЙ ПРОЕКТА / ПОДПРОЕКТА КИП

НАИМЕНОВАНИЕ ПРОЕКТА / ПОДПРОЕКТА КИП

УСЛОВНОЕ ОБОЗНАЧЕНИЕ ПРОЕКТА / ПОДПРОЕКТА КИП

ШИФР ПРОЕКТА / ПОДПРОЕКТА КИП

ШИФР ТЕМЫ / КИП

ФИО РУКОВОДИТЕЛЯ ПРОЕКТА / ПОДПРОЕКТА КИП

СОГЛАСОВАНО

ВИЦЕ-ДИРЕКТОР ИНСТИТУТА

\_\_\_\_\_

ПОДПИСЬ

\_\_\_\_\_

ФИО

\_\_\_\_\_

ДАТА

ГЛАВНЫЙ УЧЕНЫЙ СЕКРЕТАРЬ  
ИНСТИТУТА

\_\_\_\_\_

ПОДПИСЬ

\_\_\_\_\_

ФИО

\_\_\_\_\_

ДАТА

ГЛАВНЫЙ ИНЖЕНЕР

\_\_\_\_\_

ПОДПИСЬ

\_\_\_\_\_

ФИО

\_\_\_\_\_

ДАТА

ДИРЕКТОР ЛАБОРАТОРИИ

\_\_\_\_\_

ПОДПИСЬ

\_\_\_\_\_

ФИО

\_\_\_\_\_

ДАТА

ГЛАВНЫЙ ИНЖЕНЕР ЛАБОРАТОРИИ

\_\_\_\_\_

ПОДПИСЬ

\_\_\_\_\_

ФИО

\_\_\_\_\_

ДАТА

УЧЕНЫЙ СЕКРЕТАРЬ ЛАБОРАТОРИИ

\_\_\_\_\_

ПОДПИСЬ

\_\_\_\_\_

ФИО

\_\_\_\_\_

ДАТА

РУКОВОДИТЕЛЬ ТЕМЫ / КИП

\_\_\_\_\_

ПОДПИСЬ

\_\_\_\_\_

ФИО

\_\_\_\_\_

ДАТА

РУКОВОДИТЕЛЬ ПРОЕКТА /  
ПОДПРОЕКТА КИП

\_\_\_\_\_  
ПОДПИСЬ

\_\_\_\_\_  
ФИО

\_\_\_\_\_  
ДАТА

РУКОВОДИТЕЛЬ ПРОЕКТА /  
ПОДПРОЕКТА КИП

\_\_\_\_\_  
ПОДПИСЬ

\_\_\_\_\_  
ФИО

\_\_\_\_\_  
ДАТА

ОДОБРЕН ПКК ПО НАПРАВЛЕНИЮ

\_\_\_\_\_  
ПОДПИСЬ

\_\_\_\_\_  
ФИО

\_\_\_\_\_  
ДАТА