

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО НАУЧНЫХ ОРГАНИЗАЦИЙ РОССИИ**

**Федеральное государственное бюджетное учреждение науки  
Институт радиотехники и электроники им.В.А.Котельникова РАН**

**«УТВЕРЖДАЮ»**

**И.О. Директора**

\_\_\_\_\_ **С.А. Никитов**

«    » \_\_\_\_\_ **2014 г.**

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**

**«Низкоразмерные электронные системы в полупроводниковых наноструктурах»**

*(наименование дисциплины)*

**Направление подготовки:**

\_\_\_\_\_ **03.06.01 «Физика и астрономия»**

*(наименование направления подготовки)*

**Направленность подготовки:**

\_\_\_\_\_ **01.04.07 «Физика конденсированных сред»**

*(наименование направленности)*

Квалификация: **Исследователь. Преподаватель-исследователь.**

Форма обучения: **очная**

Москва, 2014 г.

## 1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ДИСЦИПЛИНЫ

Целью курса является изучение физических явлений в различных конденсированных средах, включая диэлектрики, полупроводники, металлы, гетерогенные твердотельные структуры, пленки и композитные материалы. Предполагается освоение фундаментальных закономерностей, связанных с низкоразмерными электронными системами в полупроводниковых наноструктурах.

Задачами данного курса являются:

- Ознакомление аспирантов с фундаментальными свойствами электронных систем пониженной размерности;
- Формирование у аспирантов знаний в области наиболее важных электронных эффектов в указанных наноструктурах и их приложений в науке и технологиях;
- Привитие навыков к развитию новых подходов при постановке и решении задач фундаментального и прикладного значения.

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП АСПИРАНТУРЫ

Дисциплина относится к *обязательным* дисциплинам программы аспирантуры.

Актуальность курса обусловлена большой практической значимостью физических явлений в конденсированных средах и необходимостью создания различного рода устройств и приборов, основанных на использовании явлений в твердых телах, низкоразмерных электронных системах и гетерогенных структурах.

## 3. ТРЕБОВАНИЯ К РЕЗУЛЬТАТАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование следующих компетенций:

1. способностью к критическому анализу и оценке современных научных достижений, генерированию новых идей при решении исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях (УК-1);
2. способностью проектировать и осуществлять комплексные исследования, в том числе междисциплинарные, на основе целостного системного научного мировоззрения с использованием знаний в области истории и философии науки (УК-2);
3. готовностью участвовать в работе российских и международных исследовательских коллективов по решению научных и научно-образовательных задач (УК-3);
4. готовностью использовать современные методы и технологии научной коммуникации на государственном и иностранном языках (УК-4);
5. способностью планировать и решать задачи собственного профессионального и личностного развития (УК-5);
6. способностью самостоятельно осуществлять научно-исследовательскую деятельность в соответствующей профессиональной области с использованием современных методов исследования и информационно-коммуникационных технологий (ОПК-1);
7. готовность к преподавательской деятельности по основным образовательным программам высшего образования (ОПК-2).

Дисциплина вносит вклад в формирование следующих профессиональных компетенций:

Способность проводить теоретическое и экспериментальное исследование природы кристаллических и аморфных, неорганических и органических веществ в твердом и жидком состояниях и изменение их физических свойств при различных внешних воздействиях (ПК-4).

## Карты профессиональных компетенций

КОМПЕТЕНЦИЯ: ПК-4 (01.04.07) Способность проводить теоретическое и экспериментальное исследование природы кристаллических и аморфных, неорганических и органических веществ в твердом и жидком состояниях и изменение их физических свойств при различных внешних воздействиях (ПК-4).

(шифр и название)

### ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА КОМПЕТЕНЦИИ

*Профессиональная компетенция выпускника программы аспирантуры по направлению подготовки «Физика и астрономия» осваивается в течение всего периода обучения в рамках дисциплин (модулей) вариативной части и педагогической практики независимо от формирования других компетенций, и обеспечивает реализацию обобщенной трудовой функции «Проводить научные исследования и реализовывать проекты»*

### ПОРОГОВЫЙ (ВХОДНОЙ) УРОВНЬ ЗНАНИЙ, УМЕНИЙ, ОПЫТА ДЕЯТЕЛЬНОСТИ, ТРЕБУЕМЫЙ ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ КОМПЕТЕНЦИИ

Для того чтобы формирование данной компетенции было возможно, обучающийся, приступивший к освоению программы аспирантуры должен:

**ЗНАТЬ:** физическую, естественнонаучную сущность проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности, основные тенденции развития физики конденсированного состояния.

**УМЕТЬ:** осуществлять отбор материала, характеризующего область физики конденсированного состояния, с учетом конкретной научной или технической задачи.

**ВЛАДЕТЬ:** навыками работы в научном коллективе; приемами целеполагания, планирования, реализации необходимых видов деятельности, оценки и самооценки результатов деятельности по решению задач физики конденсированного состояния.

### ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ КОМПЕТЕНЦИИ (ПК-4) И КРИТЕРИИ ИХ ОЦЕНИВАНИЯ

Планируемые результаты обучения (показатели достижения заданного уровня освоения компетенций)	Критерии оценивания результатов обучения				
	1	2	3	4	5
ЗНАТЬ: методики анализа современных физико-технических проблем, способы и методы решения экспериментальных и	Не имеет базовых знаний о методиках анализа современных физико-технических проблем физики	Допускает существенные ошибки при раскрытии содержания методик анализа современных физико-технических проблем	Демонстрирует частичные знания содержания методик анализа современных физико-технических проблем физики	Демонстрирует знания сущности методик анализа современных физико-технических проблем физики конденсированного	Раскрывает полное содержание методик анализа современных физико-технических проблем физики

теоретических задач физики конденсированного состояния	конденсированного состояния, способах и методах решения экспериментальных и теоретических задач	физики конденсированного состояния, способов и методов решения экспериментальных и теоретических задач.	конденсированного состояния, способов и методов решения экспериментальных и теоретических задач, указывает способы реализации, но не может обосновать возможность их использования в конкретных ситуациях.	состояния, способов и методов решения экспериментальных и теоретических задач, отдельных особенностей методик и способов их реализации, но не выделяет критерии выбора конкретных методов и способов при решении научных задач.	конденсированного состояния, способов и методов решения экспериментальных и теоретических задач, всех их особенностей, аргументированно обосновывает критерии выбора методик анализа современных физико-технических проблем физики конденсированного состояния, способов и методов решения экспериментальных и теоретических задач при решении профессиональных задач.
УМЕТЬ: критически анализировать современные физико-технические проблемы, ставить задачи и разрабатывать программу исследования, выбирать адекватные способы и методы решения экспериментальных и теоретических задач, интерпретировать, представлять и применять полученные результаты, исходя из тенденций развития физики конденсированного состояния	Не умеет и не готов критически анализировать современные физико-технические проблемы, ставить задачи и разрабатывать программу исследования, выбирать адекватные способы и методы решения экспериментальных и теоретических задач, интерпретировать, представлять и применять полученные результаты, исходя из тенденций развития области	Имея базовые представления о современных физико-технических проблемах физики конденсированного состояния, и способах их решения, не способен определить границы их применимости в конкретных ситуациях.	При анализе конкретной научной задачи не учитывает тенденции развития физики конденсированного состояния	Умеет критически анализировать современные физико-технические проблемы, ставить задачи и разрабатывать программу исследования, выбирать адекватные способы и методы решения экспериментальных и теоретических задач, интерпретировать, представлять и применять полученные результаты, но не полностью учитывает тенденции развития физики конденсированного состояния.	Готов и умеет критически анализировать проблемы физики конденсированного состояния, ставить задачи и разрабатывать программу исследования, выбирать адекватные способы и методы решения экспериментальных и теоретических задач, интерпретировать, представлять и применять полученные результаты, исходя из тенденций развития области физики конденсированного состояния.

	профессиональной деятельности.				
ВЛАДЕТЬ: приемами и технологиями целеполагания, целереализации и оценки результатов деятельности по решению научных задач физики конденсированного состояния.	Не владеет приемами и технологиями целеполагания, целереализации и оценки результатов деятельности по решению задач физики конденсированного состояния.	Владеет отдельными приемами и технологиями целеполагания, целереализации и оценки результатов деятельности по решению <b>стандартных</b> научных задач физики конденсированного состояния, допуская ошибки при выборе приемов и технологий их реализации	Владеет отдельными приемами и технологиями целеполагания, целереализации и оценки результатов деятельности по решению <b>стандартных</b> задач физики конденсированного состояния, давая не полностью аргументированное обоснование предлагаемого варианта решения.	Владеет приемами и технологиями целеполагания, целереализации и оценки результатов деятельности по решению <b>стандартных</b> профессиональных задач физики конденсированного состояния, полностью аргументируя предлагаемые варианты решения.	Демонстрирует владение системой приемов и технологий целеполагания, целереализации и оценки результатов деятельности по решению <b>нестандартных</b> профессиональных задач физики конденсированного состояния, полностью аргументируя выбор предлагаемого варианта решения

#### ПРОЦЕДУРЫ И ФОРМЫ КОНТРОЛЯ ПРОЦЕССА ФОРМИРОВАНИЯ КОМПЕТЕНЦИЙ У ОБУЧАЮЩИХСЯ

Предусмотрены **следующие виды контроля и аттестации обучающихся** при освоении основных образовательных программ:

- текущий контроль успеваемости;
- промежуточная аттестация по завершению периода обучения (учебного года (курса), семестра);
- итоговая (государственная итоговая) аттестация по завершению основной образовательной программы в целом.

Под **образовательным модулем** понимается структурный элемент образовательной программы, имеющий определённую логическую завершённость по отношению к требуемым результатам освоения образовательной программы в целом (компетенциям). Образовательный модуль имеет «входные требования» в виде набора необходимых для его освоения компетенций (или ВУЗов) и четко сформулированные планируемые результаты обучения, которые в совокупности должны обеспечить обучающемуся освоение одной компетенции или группы компетенций. Если модуль столь велик, что не может быть реализован в течение одного учебного года, его можно разделить на учебные элементы (дисциплины, части дисциплин, междисциплинарные виды учебной деятельности), каждый из которых реализуются в рамках одного семестра или учебного года. Для таких учебных элементов должны быть определены свои результаты обучения (имеющие промежуточный характер по отношению к результатам обучения по модулю в целом), создано соответствующее учебно-методическое обеспечение (согласованное с рабочей программой и учебно-методическим обеспечением модуля в целом). Учебные элементы модуля, которые реализуются в рамках одного учебного года, должны заканчиваться промежуточной аттестацией. По результатам освоения всего модуля должен быть проведен рубежный контроль уровня сформированности запланированной компетенции (компетенций). Модуль может осваиваться параллельно или последовательно с другими структурными элементами образовательной программы, дискретно или непрерывно.

**Текущий контроль успеваемости** обеспечивает оценивание хода освоения дисциплин (модулей) и прохождения практик, он может проводиться в виде оценки участия обучающихся в научных и научно-методических мероприятиях, в т.ч. семинарах, дискуссиях, конференциях, исследовательской и публикационной активности, результативности исследовательской и преподавательской деятельности и т.д.

По ПК-4 проводится в основном в виде оценки подготовленных по промежуточным результатам проведенных исследований материалов для участия в научных семинарах и конференциях, собственно участия в научных семинарах и конференциях, а также в виде оценки публикационной активности и результативности исследовательской деятельности.

**Промежуточная аттестация** имеет целью определить степень достижения запланированных результатов обучения по каждой дисциплине (модулю) и практике за определенный период обучения (семестр) и может проводиться в форме экзаменов, зачетов, защиты промежуточных результатов исследовательской работы, в т.ч. подготовленных в виде публикаций в соответствии с предъявляемыми требованиями и др.

По ПК-4 проводится в форме защиты перед аттестационной комиссией промежуточных результатов исследовательской работы, как правило, за годовой период обучения с предоставлением рабочих материалов и публикаций.

**Итоговая (государственная итоговая) аттестация** имеет целью определить степень сформированности всех компетенций обучающихся (или всех ключевых компетенций, определенных образовательной организацией совместно с работодателями – заказчиками кадров). ГИА проводится в форме государственного экзамена по обязательным дисциплинам учебного плана по направлению подготовки и выбранной научной специальности (профиля).

## **Типы контроля для оценивания результатов обучения.**

Для оценивания результатов обучения в виде **знаний** используются следующие типы контроля:

- тестирование;
- индивидуальное собеседование,
- письменные ответы на вопросы.

Тестовые задания должны охватывать содержание всего пройденного материала. Индивидуальное собеседование, письменная работа проводятся по разработанным вопросам по отдельному учебному элементу программы (дисциплине).

Для оценивания результатов обучения в виде **умений и владений** используются следующие типы контроля:

- практические контрольные задания (далее – ПКЗ), включающих одну или несколько задач (вопросов) в виде краткой формулировки действий (комплекса действий), которые следует выполнить, или описание результата, который нужно получить.

По сложности ПКЗ разделяются на простые и комплексные задания.

Простые ПКЗ предполагают решение в одно или два действия. К ним можно отнести: простые ситуационные задачи с коротким ответом или простым действием; несложные задания по выполнению конкретных действий. Простые задания применяются для оценки умений. Комплексные задания требуют многоходовых решений как в типичной, так и в нестандартной ситуациях. Это задания в открытой

форме, требующие поэтапного решения и развернутого ответа, в т.ч. задания на индивидуальное или коллективное выполнение проектов, на выполнение практических действий или лабораторных работ. Комплексные практические задания применяются для оценки владений.

Типы практических контрольных заданий:

- задания на установление последовательности разработки программы исследования при решении профессиональной задачи в области физики конденсированного состояния;
- задания на аргументированное обоснование критериев выбора методики исследования при решении профессиональной задачи в области физики конденсированного состояния;
- задания на разработку плана реализации экспериментальных исследований, учитывающего ресурсные и временные ограничения участников проекта;
- задания на понимание специфики особенностей различных типов представления результатов экспериментальных исследований перед разными аудиториями;
- задания на умение интерпретировать, представлять и применять полученные результаты экспериментальных исследований, исходя из тенденций развития физики конденсированного состояния.

#### 4. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ И ВИДЫ УЧЕБНОЙ РАБОТЫ

Общая трудоемкость дисциплины составляет 7 зачетных единиц, в том числе 2 ЗЕ аудиторных занятий и 5 ЗЕ самостоятельной работы.

#### 5. СОДЕРЖАНИЕ РАЗДЕЛОВ ДИСЦИПЛИНЫ

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Содержание раздела
1	Введение	Общие сведения о полупроводниковых наноструктурах и низкоразмерных электронных системах. Их значение для фундаментальной и прикладной науки. Области применений. Квантовые размерные эффекты.
2	Размерное квантование	Квантовые ямы (КЯ) в гетероструктурах, волновые функции и спектр электрона в прямоугольной и квазитрехугольной яме, двумерные подзоны, условия наблюдения размерного квантования. Квантовые проволоки и квантовые точки. Спектр и плотность электронных состояний в системах различной размерности (3D, 2D, 1D, 0D): а) для электронов с параболическим законом дисперсии, б) для ультрарелятивистского спектра (графен).
3	Системы с 2D электронным газом	Пленки полуметаллов (висмут), МДП-структуры на основе кремния, селективно легированные гетероструктуры, гетероструктуры с квантовыми ямами, сверхрешетки, графен. Молекулярно-пучковая эпитаксия и MOCVD: рост наноструктур III-V с квантовыми ямами и точками.
4	Полевые транзисторы с 2D электронами	Транзисторы на основе кремниевой МДП-структуры (MOSFET) и на основе гетероструктуры (HEMT); их сравнительные характеристики.
5	2D оптика и электрооптика	Принципиальные составляющие высокоскоростной оптоволоконной линии связи. Гетеролазеры с квантовыми ямами: геометрия, зонная диаграмма, пороговый ток. Области применений. Гетеролазеры с квантовыми точками
6	Межзонное поглощение в квантовых ямах	Преимущества КЯ модуляторов над объемными модуляторами. 2D экситон: энергия связи и влияние электрического поля, квантово-размерный эффект Штарка и его применения в оптических КЯ-модуляторах
7	Резонансное туннелирование.	Туннельный диод Esaki: достоинства и недостатки. Резонансное туннелирование и резонансный туннельный диод: энергетическая диаграмма и объяснение ВАХ. Методы роста структур для РТД.
8	Проводимость 2D систем	Квантовый точечный контакт и квантование баллистической проводимости, условия наблюдения. Формула Ландауэра. 2D проводимость и кондактанс в магнитном поле: тензор 2D проводимости и тензор 2D сопротивления в классически сильных магнитных



		полях. Квантующие магнитные поля и эффект Шубникова-де Гааза. Экспериментальная реализация: измерения с использованием холловского моста и диска Корбино. Квантование Ландау. Скачущие орбиты и краевые токи. Спектр электронов на скучущих орбитах в калибровке Ландау. Целочисленный квантовый эффект Холла и универсальность холловского кондактанса: объяснение с помощью магнитных краевых состояний и токов в системах на основе кремния и арсенида галлия. Квантовый эффект Холла в графене. Представление о дробном квантовом эффекте Холла.
9	Межэлектронное взаимодействие	Межэлектронное взаимодействие в объемных системах и 2D системах (в наноструктурах). Параметр межэлектронного взаимодействия в вырожденных и невырожденных системах. Электронный газ и электронная жидкость. Объемные плазмоны, поверхностные плазмон-поляритоны, 2D плазмоны и их разновидности: закон дисперсии, свойства и условия существования. Представление о плазмонике.

## 6. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

№ п/п	Вид занятия	Форма проведения занятий	Цель
1	лекция	Изложение теоретического материала	Получение теоретических знаний по дисциплине
2	семинар	Рассмотрение вопросов применения теоретического материала к решению физических задач	Получение практических знаний по дисциплине
3	самостоятельная работа студента	самостоятельное изучение рекомендованной литературы, в том числе научно-периодических изданий, подготовка к экзамену	Повышение степени понимания материала

## 7. РЕСУРСНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

### *Основная литература*

1. А.А. Абрикосов. Основы теории металлов, 2-ое изд., испр. и доп., М, Физматлит, 1987
2. Й. Имри. Введение в мезоскопическую физику (пер. с англ.), Физматлит, М., 2004
3. Питер Ю, Мануэль Кардона. Основы физики полупроводников (пер. с англ.), Физматлит, М., 2002
4. Андо Т., Фаулер Ф., Стерн Ф. Электронные свойства двумерных систем. М., Мир. 1982.
5. М. Грундман. Основы физики полупроводников. Нанопластика и технические приложения. М., Физматлит, 2012

### *Дополнительная литература*

1. В.В. Климов. Наноплазмоника, М., Физматлит, 2009

## **ПЕРЕЧЕНЬ РЕСУРСОВ ИНФОРМАЦИОННО- ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННОЙ СЕТИ «ИНТЕРНЕТ»**

Ссылки на ресурсы приведены в ООП.

### **8. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

Библиотека с читальным залом, книжный фонд которой составляет специализированная методическая и учебная литература, журналы. Залы, оснащенные компьютером с проектором, обычной доской – для проведения семинаров, лекционных и практических занятий.

Обеспечение самостоятельной работы: доступ в сеть Интернет, доступ к рекомендованной литературе.

Преподавание дисциплины проводится на базе следующих лабораторий ИРЭ им.В.А.Котельникова РАН:

- Лаборатория теоретических проблем физической электроники (лаб. 185)
- Лаборатория микро- и нанoeлектроники (лаб. 173)
- Лаборатория электронных процессов в тонких пленках и пленочных структурах (лаб. 181)
- Лаборатория магнитных явлений в микроэлектронике (лаб. 192)
- Лаборатория теоретических проблем физической электроники (лаб. 185)

Освоение материала курса проводится при помощи использования следующего оборудования:

- Профилометр ALPNA-STEP IQ электронный
- Высоковакуумная высокопрецизионная универсальная установка для магнетронного напыления многослойных тонкопленочных микроструктур
- Базовый блок двухканального измерителя напряжения/ тока
- Установка для анализа спектра SpectraPro 2500i
- Микроскоп оптический 020-501.015
- Технологический комплекс, включающий
- вакуумную установку роста эпитаксиальных гетероструктур, установку ионного травления и систему подготовки подложек (Технологический комплекс «Оксид»)
- Спектрометр ИК-фурье ФСМ-1202
- Система для изготовления п/п пластин модель "М"
- Система регистрации процесса микротравления
- Микроскоп Zeiss 1540 EsB в комплекте
- Установка высокочастотного плазмохимического травления March Yupiter II фирмы «March Instruments Incorporated» с рабочей частотой генератора 13.56 МГц; оборудована четырьмя газовыми вводами (Second hand)
- Туннельный микроскоп STLM/AFM 2000
- Система автоматизированного управления интегральным спектрометром
- Установка для измерений в сильных магнитных полях
- Высоковакуумная установка катодного распыления
- Высоковакуумная установка магнетронного напыления А-700 фирмы “Leybold”; оборудована DC и RF магнетроном и электронной пушкой
- Печь трубчатая DZF 70-500-13

### **9. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ. МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ОРГАНИЗАЦИИ ИЗУЧЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ**

Обучение по дисциплине ведется с применением как традиционных методов, так и с использованием инновационных подходов: активное участие аспирантов в научных семинарах, представление докладов на научные конференции, подготовка научных статей, подготовка

презентаций по литературе и по теме диссертации, освоение новых средств автоматизации и компьютеризации выполняемых научных исследований.

Виды самостоятельной работы: в домашних условиях, в читальном зале библиотеки, на компьютерах с доступом к базам данных и ресурсам Интернет, в лабораториях с доступом к лабораторному оборудованию и приборам.

Самостоятельная работа подкрепляется учебно-методическим и информационным обеспечением, включающим учебники, учебно-методические пособия, конспекты лекций, учебное и научное программное обеспечение, ресурсы Интернет.

## **10. ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ УСПЕВАЕМОСТИ, ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ПО ИТОГАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ И УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ.**

**Контрольные вопросы по обязательной и вариативной частям дисциплины для промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины**

1. Как проявляются квантовые размерные эффекты?
2. Условия реализации размерного квантования.
3. Причина высокой подвижности электронов в графене.
4. Почему высока подвижность электронов в транзисторах с 2D электронном газом ?
5. В чем основное преимущество гетеролазеров с квантовыми точками?
6. Почему энергия связи экситона повышается при уменьшении размерности системы?
7. Чем определяется фактор качества резонансных туннельных диодов?
8. Условия наблюдения квантования баллистической проводимости.
9. Как проводимость в квантующем магнитном поле зависит от рассеяния электронов?
10. Можно ли измерить сопротивление диска Корбино в квантующем магнитном поле?
11. Где течет ток в режиме квантового эффекта Холла?
12. Основная особенность двумерных плазмонов.

## **11. ЯЗЫК ПРЕПОДАВАНИЯ: русский**

**Разработчик:**

Доктор физико-математических наук, профессор

В.А. Волков

Ученый секретарь ИРЭ им.В.А.Котельникова РАН

И.И.Чусов

Рабочая программа утверждена на заседании Ученого Совета

ИРЭ им.В.А.Котельникова РАН

«03» октября 2014 г.