

**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**

**« Современные методы электрофизических измерений»**

*(наименование дисциплины)*

**Направление подготовки:**

**03.06.01 «Физика и астрономия»**

*(наименование направления подготовки)*

**Направленность подготовки:**

**01.04.01 «Приборы и методы экспериментальной физики»**

*(наименование направленности)*

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

Форма обучения: **очная**

Москва, 2014 г.

## 1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ДИСЦИПЛИНЫ

Целью курса является ознакомление с методами экспериментальных исследований, используемых в физике твердого тела при изучении новых материалов, низкоразмерных электронных систем и полупроводниковых наноструктур, включая способы регистрации сигналов, методы проведения прецизионных измерений, способы обработки экспериментальной информации методы автоматизации экспериментов.

Задачами данного курса являются:

- Ознакомление аспирантов с основными принципами построения современной измерительной аппаратуры, предназначенной для проведения электрофизических измерений;
- Дать аспирантам знания о возможностях использования современной измерительной аппаратуры, предназначенной для проведения основных типов электрофизических измерений;
- Привить аспирантам навыки к развитию новых подходов к постановке и решению экспериментальных задач исследований электрофизических свойств твердых тел современными методами..

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП АСПИРАНТУРЫ

Дисциплина относится к *обязательным* дисциплинам программы аспирантуры.

Актуальность курса обусловлена необходимостью дальнейшего развития методов экспериментальной физики и их успешное использование при установлении новых фундаментальных физических закономерностей.

Для эффективного изучения дисциплины требуется использование дополнительной литературы, а также непосредственное участие при подготовке и проведении экспериментов.

Экспериментальные исследования являются основой для установления основных закономерностей физических явлений и процессов. В связи с этим необходимо ознакомление с методами современной экспериментальной физики, способах обработки экспериментальных результатов, приборной базой и новых тенденциях при проведении экспериментальных исследований. Поскольку экспериментальные исследования выполняются практически для всех направлений физики преподавание методов экспериментальных исследований необходимо при изложении основ механики, оптики, электричества, ядерной физики и других разделов физики.

## 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 к проведению экспериментальных и теоретических исследований, направленных на разработку новых принципов и методов физических измерений, а также к созданию новых приборов и устройств для изучения физических явлений и процессов (ПК-1).

## Карты профессиональных компетенций

КОМПЕТЕНЦИЯ: ПК-1 (01.04.01) Способность к проведению экспериментальных и теоретических исследований, направленных на разработку новых принципов и методов физических измерений, а также к созданию новых приборов и устройств для изучения физических явлений и процессов (ПК-1).

(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 приборов и методов экспериментальной физики.

**УМЕТЬ:** осуществлять отбор материала, характеризующего область приборов и методов экспериментальной физики, 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 приборов и методов экспериментальной физики.

### 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 приборов	Допускает существенные ошибки при раскрытии содержания методик анализа современных физико-технических проблем	Демонстрирует частичные знания содержания методик анализа современных физико-технических проблем	Демонстрирует знания сущности методик анализа современных физико-технических проблем разработки приборов и	Раскрывает полное содержание методик анализа современных физико-технических проблем разработки

<p>теоретических задач разработки приборов и методов экспериментальной физики</p>	<p>методов экспериментальной физики, способах и методах решения экспериментальных и теоретических задач</p>	<p>разработки приборов и методов экспериментальной физики, способов и методов решения экспериментальных и теоретических задач.</p>	<p>разработки приборов и методов экспериментальной физики, способов и методов решения экспериментальных и теоретических задач, указывает способы реализации, но не может обосновать возможность их использования в конкретных ситуациях.</p>	<p>методов экспериментальной физики, 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.</p>	<p>приборов и методов экспериментальной физики, способов и методов решения экспериментальных и теоретических задач, всех их особенностей, аргументированно обосновывает критерии выбора методик анализа современных физико-технических проблем приборов и методов экспериментальной физики, способов и методов решения экспериментальных и теоретических задач при решении профессиональных</p>
<p>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 приборов и методов экспериментальной физики</p>	<p>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</p>	<p>Имея базовые представления о современных физико-технических проблемах приборов и методов экспериментальной физики, и способах их решения, не способен определить границы их применимости в конкретных ситуациях.</p>	<p>При анализе конкретной научной задачи не учитывает тенденции развития приборов и методов экспериментальной физики</p>	<p>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 приборов и методов экспериментальной физики.</p>	<p>Готов и умеет критически анализировать проблемы разработки приборов и методов экспериментальной физики, 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 приборов и методов экспериментальной</p>

	профессиональной деятельности.				физики
ВЛАДЕТЬ: приемами и технологиями целеполагания, целереализации и оценки результатов деятельности по решению научных задач развития приборов и методов экспериментальной физики.	Не владеет приемами и технологиями целеполагания, целереализации и оценки результатов деятельности по решению задач развития приборов и методов экспериментальной физики.	Владеет отдельными приемами и технологиями целеполагания, целереализации и оценки результатов деятельности по решению <b>стандартных</b> научных задач развития приборов и методов экспериментальной физики, 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 развития приборов и методов экспериментальной физики, 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 развития приборов и методов экспериментальной физики, полностью аргументируя предлагаемые варианты решения.	Демонстрирует владение системой приемов и технологий целеполагания, целереализации и оценки результатов деятельности по решению <b>нестандартных</b> профессиональных задач развития приборов и методов экспериментальной физики, 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-1 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-1 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 приборов и методов экспериментальной физики;
- задания на аргументированное обоснование критериев выбора методики исследования при решении профессиональной задачи в области приборов и методов экспериментальной физики;
- 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 приборов и методов экспериментальной физики.

#### 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	Элементы электрических цепей	Законы Киркгофа. Источники напряжения. Делители напряжения. Теорема об эквивалентном преобразовании источников. Идеальный вольтметр и амперметр. Источники тока. Реальные источники напряжения и измерительные приборы. Основные схемы включения измерительных приборов. Характеристики реальных приборов. Погрешности измерительных схем
2	Идеальный операционный усилитель и схемы на его основе	Свойства идеального операционного усилителя. Коэффициенты усиления дифференциального усилителя, коэффициент подавления синфазного сигнала, параметры операционного усилителя. Обратная связь. Положительная и отрицательная обратная связь. Частотно-зависимая обратная связь. Амплитудно-зависимая обратная связь. Основные схемы на операционном усилителе: повторитель напряжения (буферный усилитель); инвертирующий и неинвертирующий усилители; суммирование напряжений; преобразователь ток-напряжение; преобразователь напряжение-ток; интегратор; дифференциатор; логарифмический усилитель; дифференциальный усилитель; инструментальный усилитель; компаратор
3	Характеристики реальных операционных усилителей	Погрешности операционных усилителей: Входной ток; Смещение нуля; Выходной ток; Токковый шум; Шум напряжения; Коэффициент подавления синфазного сигнала; Коэффициент ослабления влияния источников питания; Скорость нарастания выходного напряжения; Частотная характеристика операционного усилителя. Влияние обратной связи на работу схем на операционных усилителях. Свойства RC цепочки: малосигнальные характеристики усилителя; частотный диапазон усилителя с обратной связью; входное сопротивление; входное сопротивление преобразователя ток-напряжение; выходное сопротивление; скорость нарастания выходного напряжения, форма выходного высокочастотного сигнала большой амплитуды
4	Электронные ключи, компараторы и цифро-аналоговые преобразователи	Полевой транзистор. Полевой транзистор с изолированным затвором. Полевой транзистор с р-п переходом. Электронный ключ на полевом транзисторе – достоинства и недостатки по сравнению с электромагнитным реле.

5	Цифровая измерительная техника	Цифро-аналоговые преобразователи. Преобразователи последовательного приближения. Преобразователи параллельного приближения. Интегрирующие преобразователи
6	Основные методы измерения электрических сигналов и выделения сигнала из шума	Шумы и наводки, зависимость результатов измерений от выбора метода измерения. Теоретические пределы измерений. Шумовые параметры реальных усилителей и приборов. Шум $1/f$ . Проблема дрейфа (нуля, коэффициента усиления и других параметров) и ее решение. Измерение на переменном токе. Измерение с помощью синхронного детектора. Осциллографические наблюдения: измерение кратковременных сигналов; измерение сигналов предшествующих основному; накопление данных - многократное усреднение сигналов; изучение непериодических сигналов повторяющейся формы; измерение сигналов с неизвестным моментом прихода; измерение периодических сигналов. Измерение постоянного напряжения – решения проблемы дрейфа: термо-ЭДС спаев; пути минимизации дрейфа (выбор материалов, изотермическое расположение, провода в изоляции, перекоммутация тока). Измерения с помощью усилителей с синхронным детектором. Измерения сверхпроводников и хорошо проводящих материалов (релаксация магнитного момента, СКВИДы)
7	Измерения малых напряжений, измерения низкоомных объектов	Электронные ключи, их достоинства и недостатки по сравнению с реле. Использование электронных ключей для измерений малых сигналов. Методы уменьшения дрейфа нуля.
8	Измерение малых токов	Измерение малых токов с помощью преобразователей ток-напряжение. Источники токовых шумов, методы борьбы с шумами тока
9	Измерение потенциалов высокоомных объектов, электрометрические измерения	Источники шумов в электрометрических измерениях. Защитное экранирование. Уменьшение времени отклика измерительной схемы.
10	Усилитель с синхронным детектором. Измерение дифференциального сопротивления и нелинейных вольт-амперных характеристик. Измерение второй производной.	Понятие дифференциального сопротивления/ дифференциальной проводимости. Режимы заданного тока и заданного напряжения. Выбор режима для измерения на примере измерения туннельных переходов и эффекта Джозефсона со ступенями Шапиро. Пример схемы для измерения в режиме заданного тока. Пример схемы для измерения в режиме заданного напряжения. Пример схемы для измерения при подаче ВЧ. Примеры схемы для комбинированных измерений в промежуточном режиме между режимами заданного тока и напряжения. Сравнение цифрового и аналогового дифференцирования при измерениях ВАХ. Измерение второй производной. Физические задачи. Выбор амплитуды модуляции
11	Шумы и наводки, методы повышения чувствительности измерений	2 основных типа наводок – электрические и магнитные. Методы борьбы с электрическими наводками. Методы борьбы с магнитными наводками. Правила подключения приборов.

12	Методы измерения и стабилизации температуры	Датчики температуры. Организация обратной связи. Компьютерная и аналоговая стабилизация температуры. Пропорционально-интегрально-дифференциальная стабилизация температуры. Пример схемы стабилизатора. Пример программы стабилизации.
13	Особенности проведения измерений при низких температурах	Тепловые схемы. Тепловые заземления. Термо-ЭДС. Измерения в магнитном поле. Перегрев ВЧ наводками.
14	Ввод данных в компьютер и системы автоматизации измерений	Присоединение приборов с помощью канала общего пользования (GPIB, IEEE-488), достоинства и недостатки. Присоединение приборов с помощью RS232, достоинства и недостатки. Другие методы подключения приборов (ISA, EISA, PCI, USB, Ethernet)
15	Нестандартные методы электрофизических измерений. Ошибки экспериментаторов.	Нестандартные методы электрофизических измерений. Ошибки экспериментаторов.

## 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. И. Хоровиц, У. Хилл, «Искусство схемотехники», Бином, 2014.
2. J. E. Keithley, Low-level Measurements, 6th Edition, Editors: J. Eager and M. Hrusch-Tupta, Keithley
3. Nanotechnology Measurements Handbook, A Guide to Electrical Measurements for Nanoscience Applications, 1st Edition, Meyya Meyyappa,, Keithley Instruments 2007. [http://www.keithley.com/knowledgecenter/knowledgecenter\\_pdf/NanotchMsHandbk.pdf](http://www.keithley.com/knowledgecenter/knowledgecenter_pdf/NanotchMsHandbk.pdf)

### *Дополнительная литература*

1. About Lock-In Amplifiers, Application Note #3, [www.thinkSRS.com](http://www.thinkSRS.com)
2. Adam Daire, Wayne Goeke, and Mary Anne Tupta, New Instruments Can Lock Out Lock-ins, White Paper, Keithley Instruments, Inc.
3. Adam Daire, Improving the Repeatability of Ultra-High Resistance and Resistivity Measurements, White Paper, Keithley Instruments, Inc. <http://www.keithley.com/knowledgecenter>
4. Jonathan L. Tucker, "Improving Low Current Measurements on Nanoelectronic and Molecular Electronic Devices", Keithley Instruments, Inc. <http://www.keithley.com/data?asset=12373>

5. Keithley Application Note Series, Number 2611, Low-Level Pulsed Electrical Characterization with the Model 6221/2182A Combination, White Paper, <http://www.keithley.com/data?asset=50272>
  6. Keithley Application Note Series, Number 2481, I-V Measurements of Nanoscale Wires and Tubes with the Model 4200-SCS and Zyvex S100 Nanomanipulator White Paper, <http://www.keithley.com/data?asset=15357>
  7. Frank Pobell, Matter and Methods at Low Temperatures, Third, Revised and Expanded Edition, Springer-Verlag Berlin Heidelberg 1992, 1996, 2007.
  8. Р. Хэфер, Криовакуумная техника, основы и применения, М. Энергоатомиздат 1983
  9. Справочник по физико-техническим основам криогеники, Ред. М.П. Малков, М. Энергоатомиздат 1985.
- 

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

<http://www.keithley.com/knowledgecenter>

[http://www.keithley.com/knowledgecenter/knowledgecenter\\_pdf/NanotchMsHandbk.pdf](http://www.keithley.com/knowledgecenter/knowledgecenter_pdf/NanotchMsHandbk.pdf)

### **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.

Для освоения курса используются операционные системы:

лицензионная mac os 10.10 - обновляется регулярно несколько раз в год;

лицензионная Windows XP - не обновляется.

Используются научные программы:

Лицензионная программа управления туннельным микроскопом MATRIX - обновляется примерно раз в два года бесплатно;

Лицензионная программа обработки изображений SPIP - не обновляется.

Обучение проводится на базе следующих лабораторий:

Тематическая группа сверхпроводниковых элементов и систем обработки сигналов на их основе (т.гр. 235),

Лаборатория теоретических проблем физической электроники (лаб. 185)

Освоение курса проводится при помощи следующего оборудования:

Макет криогенной системы

Электронный микроскоп Zeiss 1540 EsB

Микроскоп оптический 020-501.015

Сверхвысоковакуумный низкотемпературный сканирующий туннельный микроскоп Omicron LT с опцией атомно-силового микроскопа

### **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 научных конференциях, 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 Назовите основные источники шумов и наводок при электрофизических измерениях..
2. Назовите основные преимущества и недостатки измерения дифференциальной проводимости аналоговым и цифровым методами.
3. Перечислите основные методы выделения сигнала из шума.
4. Как повысить быстродействие измерительной схемы при измерении высокоомных объектов?
5. Как уменьшить влияние утечек через сопротивление изоляции при проведении четырехконтактных измерений высокоомных объектов?
6. Как уменьшить влияние температурных дрейфов на результаты измерений при работе с низкоомными объектами, находящимися в криостате?

## **11. ЯЗЫК ПРЕПОДАВАНИЯ: русский**

### **Разработчик:**

Доктор физико-математических наук, профессор

С.В. Зайцев-Зотов

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.