

Рабочая программа дисциплины

1. Название дисциплины: Методы локальной диагностики наноструктур и нанобъектов

2. Уровень высшего образования – магистратура

3. Направление подготовки: 03.04.02 Физика (магистратура)

4. Аннотация:

Курс «Методы локальной диагностики наноструктур и нанобъектов» является профильной дисциплиной магистерской программы «Квантовые и оптические технологии». Дисциплина обеспечивает подготовку студентов в области методов электронной микроскопии и сканирующей зондовой микроскопии (СЗМ). Курс направлен на приобретение студентами знаний в области таких методов исследования, как растровая (сканирующая) электронная микроскопия (РЭМ), просвечивающая электронная микроскопия (ПЭМ), сканирующая туннельная микроскопия и спектроскопия (СТМ/СТС), атомно-силовая микроскопия (АСМ). Рассматриваются также другие методы, часто используемые совместно с РЭМ, ПЭМ, СТМ/СТС и АСМ. Существенное внимание уделяется особенностям применения СТМ\СТС, и АСМ для нанодиагностики и исследования процессов в наносистемах. Для СТМ рассматривается влияние локализованных состояний и неравновесных туннельных эффектов на СТМ изображения и спектры туннельной проводимости. В методе АСМ анализируются возможности применения спектроскопии межатомных взаимодействий для определения физико-химических свойств материалов. Изучаются прикладные вопросы выбора методик и принципы адаптации оборудования для решения конкретных задач.

5. Объем дисциплины в зачетных единицах с указанием количества академических или астрономических часов, выделенных на контактную работу обучающихся с преподавателем (по видам учебных занятий) и на самостоятельную работу обучающихся (указывается согласно рабочему плану):

Объем дисциплины составляет 2 зачетные единицы, всего 72 часа, из которых 36 часов составляет контактная работа обучающегося с преподавателем (30 часов занятий лекционного типа, 4 часа занятий семинарского типа, 2 часа коллоквиумов), 36 часов составляет самостоятельная работа обучающегося.

6. Формируемые компетенции и входные требования для освоения дисциплины, предварительные условия:

НАЗВАНИЕ КОМПЕТЕНЦИЙ:

СПК-1 Способность свободно владеть профессиональными знаниями для анализа и синтеза физической информации в области физики квантовых и оптических технологий.

СПК-2 Способность к поиску, критическому анализу, обобщению и систематизации научной информации в области физики квантовых и оптических технологий.

СПК-3 Способность организовывать и планировать исследования, ставить конкретные задачи научных исследований в области физики квантовых и оптических технологий, и решать их с помощью современной аппаратуры и оборудования.

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

Для того чтобы формирование данных компетенций было возможно, обучающийся, приступивший к освоению образовательной программы, должен:

- **ЗНАТЬ:** основные методы научно-исследовательской деятельности.
- **УМЕТЬ:** выделять и систематизировать основные идеи в научных текстах; критически оценивать любую поступающую информацию, вне зависимости от источника; избегать автоматического применения стандартных формул и приемов при решении задач.
- **ВЛАДЕТЬ:** навыками сбора, обработки, анализа и систематизации информации по теме исследования; навыками выбора методов и средств решения задач исследования.

Для освоения дисциплины необходимы знания и умения, приобретаемые в рамках дисциплин общей физики «Механика», «Электromагнетизм» и «Физика твердого тела». Желательно предварительное освоение материала вариативной части программы бакалавриата: дисциплин профиля «Сканирующая зондовая микроскопия и наноэлектроника»

7. Содержание дисциплины, структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и виды учебных занятий

Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины, форма промежуточной аттестации по дисциплине	Всего, часы	В том числе						
		Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы из них			Самостоятельная работа обучающегося, часы из них			
		Занятия лекционного типа	Занятия семинарского типа	Учебные занятия, направленные на проведение текущего контроля успеваемости коллоквиумы, практические контрольные занятия и др.*	Всего	Выполнение домашних заданий	Подготовка рефератов и т.п.	Всего
Введение Обзор современных методов локальной диагностики, основанных на использовании электронных пучков, ионных пучков и твердотельных зондов. Физические основы и принципы реализации различных методов. Достоинства и ограничения,	2	2			2			

связанные с физической природой методов. Краткий исторический обзор локальных методов исследования наноструктур и нанобъектов.								
Растровая (сканирующая) электронная микроскопия и ионная микроскопия. Взаимодействия электронов с веществом. Рассеяние электронов. Область взаимодействия электронов: влияние атомного номера, зависимость от энергии пучка и угла наклона. Длина пробега электронов. Упругое рассеяние электронов. Отраженные электроны: влияние атомного номера, энергии пучка, угла наклона; угловое распределение, распределение по энергиям; пространственное распределение; глубина выхода. Неупругое рассеяние электронов. Вторичные электроны: влияние параметров пучка и образца. Использование электронных пучков для диагностики и	8	6			6	2	Выполнение домашних заданий	2

<p>микроанализа. Электронная растровая микроскопия. Католюминесцентный микроанализ. Рентгеноспектральный микроанализ. Неразрушающая подповерхностная микро и нанотомография в отраженных электронах. Использование ионных пучков.</p>								
<p>Просвечивающая электронная микроскопия. Теоретические основы просвечивающей электронной микроскопии (ПЭМ), проблемы интерпретации аналитической информации. Возможности, достоинства и недостатки распространенных методик ПЭМ. Спектроскопия характеристических потерь энергии электронов. Электронная спектроскопия.</p>	6	4			4	2	Выполнение домашних заданий	2
<p>Физические принципы работы основных сканирующих зондовых микроскопов. Наиболее распространенные</p>	4	2			2	2		2

<p>сканирующие зондовые микроскопы (СЗМ): туннельный, атомно-силовой, оптический микроскоп ближнего поля. Использование различных физических эффектов для построения других типов СЗМ. Техническая реализация устройств сканирования, детектирования и электронных систем управления. Методы формирования и обработки изображений. Методы приготовления зондов для различных СЗМ и их использование в различных режимах работы приборов</p>								
<p>Локальная туннельная микроскопия и спектроскопия. Основы локальной туннельной микроскопии и спектроскопии (СТМ и СТС). Простейшая теория туннелирования. Резонансное туннелирование. Влияние сил изображения. Особенности туннельных процессов в микроконтактах. Влияние</p>	<p>4</p>	<p>2</p>			<p>2</p>	<p>2</p> <p>Повторение лекционного материала по теме «Основные методы дальнепольной оптической микроскопии».</p>		<p>2</p>

<p>локализованных состояний (ЛЗ) на процессы туннелирования. Формулы для туннельного тока и туннельной проводимости через ЛЗ. Туннельные процессы в низкоразмерных системах. Радиус локализации и энергия ЛС низкоразмерных систем. Туннельные эффекты размерного квантования. Неравновесные туннельные процессы. Влияние неравновесных процессов на СТМ и СТС измерения.</p>								
<p>Туннельная микроскопия и спектроскопия чистых поверхностей и единичных атомов примесей. СТМ и СТС чистых поверхностей полупроводников. Примеры применения СТМ и СТС для изучения реконструкции и релаксации поверхности. Атомная и электронная структура поверхностей полупроводников. Изучение процессов адсорбции методами СТМ и СТС. Локальные поверхностные</p>	6	4			4	2	Выполнение домашних заданий	2

<p>химические реакции. СТМ и СТС молекулярных систем и наноструктур на поверхности полупроводников. Радиус локализации и особенности туннельной проводимости изолированных примесей в полупроводниках. Идентификация изолированных примесей в полупроводниках. Зарядовые эффекты. Осцилляции зарядовой плотности Фриделя. СТМ и СТС взаимодействующих примесных состояний.</p>								
<p>Атомно-силовая микроскопия. Зависимость силового взаимодействия острия с поверхностью от расстояния между ними. Приближенный метод вычисления силового взаимодействия между острием и плоскостью. Пространственное разрешение атомного силового микроскопа (АСМ). Проблемы восстановления параметров исследуемой поверхности в АСМ диагностике.</p>	6	4			4	2 Выполнение домашних заданий		2

Спектроскопия межатомных и межмолекулярных взаимодействий. Определение констант взаимодействий. Прецизионная силовая микроскопия.								
Коллоквиум по теме «Методы сканирующей туннельной и атомно-силовой микроскопии»	10			2	2	8	Подготовка к коллоквиуму	4
Электросиловая и магнитно-силовая микроскопии. Сканирующие силовые микроскопии, использующие электростатическое и магнитное взаимодействия зонда с поверхностью образца.	2	2			2			
Магнитно-резонансная микроскопия. Принцип действия магнитно-резонансной силовой микроскопии (МРСМ). Электронный парамагнитный и ядерный магнитный резонансы. Основные принципы работы магнитно-резонансной томографии. МРСМ как средство получения изображений на наномасштабах с	4	4			4			

использованием электронного парамагнитного и ядерного магнитного резонансов.								
Промежуточная аттестация - зачет	20		4		4	16		16
						Подготовка к промежуточной аттестации (зачету).		
Итого	72	30	4	2	36	36		36

* Текущий контроль успеваемости в рамках занятий семинарского типа реализуется в форме обсуждения.

8. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине:

Основная и дополнительная литература доступная студентам через Интернет или по запросу лектору.

9. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине

Типовые вопросы к зачету:

1. Методы локальной диагностики наноструктур. Преимущества и недостатки локальных и интегральных методов.
2. Физические основы электронной микроскопии. Явления, возникающие при взаимодействии электронных пучков с твердым телом.
3. Возникновение топографического и элементного контраста в растровой электронной микроскопии (РЭМ).
4. Физические основы рентгенофлуоресцентного анализа.
5. Физические принципы возникновения электронной дифракции и методики получения картин дифракции электронов в просвечивающей электронной микроскопии.
6. Общий принцип работы сканирующих зондовых микроскопов (СЗМ) (туннельного, атомно-силового и оптического ближнего поля).
7. Влияние тепловых и квантовых флуктуаций зонда на разрешение СЗМ. Влияние электромагнитных полей на устойчивость зондов. Конструкции зондов СЗМ.
8. Простейшая теория туннелирования. Резонансное туннелирование. Влияние сил изображения.
9. Особенности туннельных процессов в микроконтактах. Принцип работы сканирующего туннельного микроскопа (СТМ). Пространственное разрешение СТМ. Туннельная спектроскопия в СТМ.
10. Схематическое устройство СТМ. Режимы работы СТМ.
11. СТМ и СТС чистых поверхностей полупроводников. Примеры применения СТМ и СТС для изучения реконструкции поверхности. Атомная и электронная структура поверхности Si (111) 7x7.

12. СТМ и СТС чистых поверхностей полупроводников. Примеры применения СТМ и СТС для изучения релаксации поверхности. Атомная и электронная структура поверхности GaAs (110).
13. Возможность изучения процессов адсорбции методами СТМ и СТС на примере адсорбции атомов кислорода на поверхности GaAs (110).
14. Возможность изучения поверхностных химических реакций методами СТМ и СТС. Реакция Si (111) $7 \times 7 + \text{NH}_3$.
15. Влияние локализованных состояний на процессы туннелирования. Формулы для туннельного тока и туннельной проводимости через локализованные состояния.
16. Туннельные процессы в низкоразмерных системах. Радиус локализации и энергия ЛС низкоразмерных систем.
17. Неравновесные туннельные процессы. Влияние неравновесных процессов на СТМ и СТС измерения.
18. СТМ и СТС диагностика примесных состояний. Идентификация изолированных примесей в полупроводниках.
19. Туннельная спектроскопия полупроводников. Зарядовые эффекты. Осцилляции зарядовой плотности Фриделя.
20. Атомно – силовая микроскопия (АСМ). Принцип вычисления силового взаимодействия между острием и плоскостью в АСМ.
21. Формулы для вычисления силового взаимодействия между острием и плоскостью в АСМ. Влияние параметров острия АСМ на пространственное разрешение.
22. Спектроскопия межатомных взаимодействий в АСМ. Методика вычисления разрешения АСМ.
23. Основные трудности, возникающие при определении характеристик объектов, исследуемых методом АСМ. Влияние неопределенности параметров острия АСМ на измеряемые параметры.
24. Основные методы обработки изображений в АСМ. Деконволюция и экспериментальное определение формы острия зонда.

ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ (ПОКАЗАТЕЛИ ДОСТИЖЕНИЯ ЗАДАННОГО УРОВНЯ ОСВОЕНИЯ КОМПЕТЕНЦИЙ)

ВЛАДЕТЬ: профессиональными знаниями для анализа и синтеза физической информации в области физики квантовых оптических технологий (В1, СПК-1).

ВЛАДЕТЬ: навыками поиска, критического анализа, обобщения и систематизации научной информации в области физики квантовых оптических технологий (В2, СПК-2).

ВЛАДЕТЬ: навыками анализа методологических проблем, возникающих при планировании, организации и решении конкретных исследовательских задач в области физики квантовых оптических технологий (В3, СПК-3).

УМЕТЬ: анализировать альтернативные варианты решения исследовательских задач в области физики квантовых оптических технологий и оценивать потенциальные выигрыши/проигрыши реализации этих вариантов (У1, СПК-1).

УМЕТЬ: осуществлять поиск, критический анализ, обобщать и систематизировать научную информацию в области физики квантовых оптических технологий (У2, СПК-2).

УМЕТЬ: организовывать и планировать исследования, ставить конкретные задачи научных исследований в области физики квантовых оптических технологий, и решать их с помощью современной аппаратуры и оборудования (У3, СПК-3).

ЗНАТЬ: методы анализа и оценки современных научных достижений, а также методы генерирования новой физической информации при решении исследовательских и практических задач в области физики квантовых оптических технологий (З1, СПК-1).

ЗНАТЬ: способы критического анализа и систематизации научной информации при решении исследовательских задач в области физики квантовых оптических технологий (32, СПК-2).

ЗНАТЬ: методы организации и планирования исследований в области физики квантовых оптических технологий, включая способы решения задач с помощью современной аппаратуры и оборудования (33, СПК-3).

Планируемые результаты обучения (показатели достижения заданного уровня освоения компетенций)	Критерии оценивания результатов обучения				
	1	2	3	4	5
<i>ВЛАДЕТЬ:</i> профессиональными знаниями для анализа и синтеза физической информации в области квантовых оптических технологий (В1, СПК-1).	Отсутствие навыков	Фрагментарное применение навыков анализа и синтеза физической информации в области физики квантовых оптических технологий	В целом успешное, но не систематическое применение навыков анализа и синтеза физической информации в области физики квантовых оптических технологий	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы применение навыков анализа и синтеза физической информации в области физики квантовых оптических технологий	Успешное и систематическое применение навыков анализа и синтеза физической информации в области физики квантовых оптических технологий
<i>ВЛАДЕТЬ:</i> навыками поиска, критического анализа, обобщения и систематизации научной информации в области физики квантовых оптических технологий (В2, СПК-2).	Отсутствие навыков	Фрагментарное применение навыков поиска, критического анализа, обобщения и систематизации научной информации в области физики квантовых оптических технологий	В целом успешное, но не систематическое применение навыков поиска, критического анализа, обобщения и систематизации научной информации в области физики	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы применение навыков поиска, критического анализа, обобщения и систематизации научной информации в области физики квантовых оптических технологий	Успешное и систематическое применение навыков поиска, критического анализа, обобщения и систематизации научной информации в области физики квантовых оптических технологий
<i>ВЛАДЕТЬ:</i>	Отсутствие	Фрагментарное	В целом успешное, но не	В целом успешное, но	Успешное и система-

<p>навыками анализа методологических проблем, возникающих при планировании, организации и решении конкретных исследовательских задач в области физики квантовых оптических технологий (ВЗ, СПК-3).</p>	<p>навыков</p>	<p>применение навыков анализа методологических проблем, возникающих при планировании, организации и решении конкретных исследовательских задач в области физики квантовых оптических технологий</p>	<p>систематическое применение навыков анализа методологических проблем, возникающих при планировании, организации и решении конкретных исследовательских задач в области физики квантовых оптических технологий</p>	<p>содержащее отдельные пробелы применение навыков анализа методологических проблем, возникающих при планировании, организации и решении конкретных исследовательских задач в области физики квантовых оптических технологий</p>	<p>систематическое применение навыков анализа методологических проблем, возникающих при планировании, организации и решении конкретных исследовательских задач в области физики квантовых оптических технологий</p>
<p><i>УМЕТЬ:</i> анализировать альтернативные варианты решения исследовательских задач в области физики квантовых оптических технологий и оценивать потенциальные выигрыши/проигрыши реализации этих вариантов (У1, СПК-1).</p>	<p>Отсутствие умения</p>	<p>Фрагментарное проявление умения анализировать альтернативные варианты решения исследовательских задач в области физики квантовых оптических технологий и оценивать потенциальные выигрыши/проигрыши реализации этих вариантов</p>	<p>В целом успешное, но не систематическое проявление умения анализировать альтернативные варианты решения исследовательских задач в области физики квантовых оптических технологий и оценивать потенциальные выигрыши/проигрыши реализации этих вариантов</p>	<p>В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы проявление умения анализировать альтернативные варианты решения исследовательских задач в области физики квантовых оптических технологий и оценивать потенциальные выигрыши/проигрыши реализации этих вариантов</p>	<p>Успешное и систематическое проявление умения анализировать альтернативные варианты решения исследовательских задач в области физики квантовых оптических технологий и оценивать потенциальные выигрыши/проигрыши реализации этих вариантов</p>

<p><i>УМЕТЬ:</i> осуществлять поиск, критический анализ, обобщать и систематизировать научную информацию в области физики квантовых оптических технологий (У2, СПК-2).</p>	<p>Отсутствие умения</p>	<p>Фрагментарное проявление умения осуществлять поиск, критический анализ, обобщать и систематизировать научную информацию в области физики квантовых оптических технологий</p>	<p>В целом успешное, но не систематическое проявление умения осуществлять поиск, критический анализ, обобщать и систематизировать научную информацию в области физики квантовых оптических технологий</p>	<p>В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы проявление умения осуществлять поиск, критический анализ, обобщать и систематизировать научную информацию в области физики квантовых оптических технологий</p>	<p>Успешное и систематическое проявление умения осуществлять поиск, критический анализ, обобщать и систематизировать научную информацию в области физики квантовых оптических технологий</p>
<p><i>УМЕТЬ:</i> организовывать и планировать исследования, ставить конкретные задачи научных исследований в области физики квантовых оптических технологий, и решать их с помощью современной аппаратуры и оборудования (У3, СПК-3)</p>	<p>Отсутствие умения</p>	<p>Фрагментарное проявление умения организовывать и планировать исследования, ставить конкретные задачи научных исследований в области физики квантовых оптических технологий, и решать их с помощью современной аппаратуры и оборудования</p>	<p>В целом успешное, но не систематическое проявление умения организовывать и планировать исследования, ставить конкретные задачи научных исследований в области физики квантовых оптических технологий, и решать их с помощью современной аппаратуры и оборудования</p>	<p>В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы проявление умения организовывать и планировать исследования, ставить конкретные задачи научных исследований в области физики квантовых оптических технологий, и решать их с помощью современной аппаратуры и оборудования</p>	<p>Успешное и систематическое проявление умения организовывать и планировать исследования, ставить конкретные задачи научных исследований в области физики квантовых оптических технологий, и решать их с помощью современной аппаратуры и оборудования</p>

<p><i>ЗНАТЬ:</i> методы анализа и оценки современных научных достижений, а также методы генерирования новой физической информации при решении исследовательских и практических задач в области физики квантовых оптических технологий (31, СПК-1)</p>	<p>Отсутствие знаний</p>	<p>Фрагментарное проявление знаний методов анализа и оценки современных научных достижений, а также методов генерирования новой физической информации при решении исследовательских и практических задач в области физики квантовых оптических технологий</p>	<p>В целом успешное, но не систематическое проявление знаний методов анализа и оценки современных научных достижений, а также методов генерирования новой физической информации при решении исследовательских и практических задач в области физики квантовых оптических технологий</p>	<p>В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы проявление знаний методов анализа и оценки современных научных достижений, а также методов генерирования новой физической информации при решении исследовательских и практических задач в области физики квантовых оптических технологий</p>	<p>Успешное и систематическое проявление знаний методов анализа и оценки современных научных достижений, а также методов генерирования новой физической информации при решении исследовательских и практических задач в области физики квантовых оптических технологий</p>
<p><i>ЗНАТЬ:</i> способы критического анализа и систематизации научной информации при решении исследовательских задач в области физики квантовых оптических технологий (32, СПК-2).</p>	<p>Отсутствие знаний</p>	<p>Фрагментарное проявление знаний способов критического анализа и систематизации научной информации при решении исследовательских задач в области физики квантовых оптических технологий</p>	<p>В целом успешное, но не систематическое проявление знаний способов критического анализа и систематизации научной информации при решении исследовательских задач в области физики квантовых оптических технологий</p>	<p>В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы проявление знаний способов критического анализа и систематизации научной информации при решении исследовательских задач в области физики квантовых оптических технологий</p>	<p>Успешное и систематическое проявление знаний способов критического анализа и систематизации научной информации при решении исследовательских задач в области физики квантовых оптических технологий</p>

ЗНАТЬ: методы организации и планирования исследований в области физики квантовых оптических технологий, включая способы решения задач с помощью современной аппаратуры и оборудования (33, СПК-3)	Отсутствие знаний	Фрагментарное проявление знаний методов организации и планирования исследований в области физики квантовых оптических технологий, включая способы решения задач с помощью современной аппаратуры и оборудования	В целом успешное, но не систематическое проявление знаний методов организации и планирования исследований в области физики квантовых оптических технологий, включая способы решения задач с помощью современной аппаратуры и оборудования	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы проявление знаний методов организации и планирования исследований в области физики квантовых оптических технологий, включая способы решения задач с помощью современной аппаратуры и оборудования	Успешное и систематическое проявление знаний методов организации и планирования исследований в области физики квантовых оптических технологий, включая способы решения задач с помощью современной аппаратуры и оборудования
-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

10. Перечень основной и дополнительной учебной литературы

Основная литература:

1. Стоянова И. Г., Анаскин И. Ф., Физические основы методов просвечивающей электронной микроскопии, М.: Наука, 1972
2. Шиммель Г. Методика электронной микроскопии. - М.: Мир, 1972.
3. Рукман Г. И. , Клименко И. С. Электронная микроскопия.- М.: Знание, 1968
4. Кобаяси Н. Введение в нанотехнологию / Пер. с японск. – М.: БИНОМ, Лаборатория знаний: 2008. 134 с.
5. В.Л. Миронов. Основы сканирующей зондовой микроскопии. Н.Новгород: ИФМ РАН, 2004. 110 с.
6. Р.З.Бахтизин, Р.Р.Галлямов. Физические основы сканирующей зондовой микроскопии. Уфа: РИО БашГУ, 2003. 82 с.
7. Н.С.Маслова, В.И.Панов, Сканирующая туннельная микроскопия атомной структуры, электронных свойств и поверхностных химических реакций. УФН, 1989, Т.157, С.185-195.
8. Г.П.Берман, Ф.Боргонови, В.Н.Горшков, В.И.Цифринович. Магнитно-резонансная силовая микроскопия и односпиновые измерения. М.-Ижевск: R&C Dynamics, 2010. 196 с.

Дополнительная литература:

1. Практическая растровая электронная микроскопия / Под ред. Гоулдстейна Дж., Яковица Х.. Пер. с англ. – М.: Мир, 1978
2. Справочник по микроскопии для нанотехнологии / Под ред. Н.Яо, Ж.Л.Ванга. Пер. с англ. – М.: Научный мир, 2011
3. С.L.Degen,М.Poggio,Н.J.Mamin, С.Т.Rettner, D.Rugar. Nanoscale magnetic resonance imaging. Proc. Natl. Acad. Sci. USA. 2009. V.106. P.1313-1317.

4. Криштал М.М. Сканирующая электронная микроскопия и рентгеноспектральный микроанализ в примерах практического применения. – М.: Техносфера, 2009. – 208 с.
5. Синдо Д., Оикава Т. Аналитическая просвечивающая электронная микроскопия. — М.: Техносфера, 2006. - 256 с.
6. Гоулдстейн Дж., Ньюбери Д., Эчлин П., Джой Д., Фиори Ч., Лифшин Э. Растровая электронная микроскопия и рентгеновский микроанализ: В 2-х книгах. Пер. с англ. — М.: Мир, 1984.— Книга 1, 303 с., Книга 2, 349 с.
7. Хокс П. Электронная оптика и электронная микроскопия, пер. с англ., М., 1974
8. Получение и исследование наноструктур. Лабораторный практикум по нанотехнологиям / Под ред. А.С.Сигова – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний. 2010. 146 с.
9. С.А.Рыков. Сканирующая зондовая микроскопия полупроводниковых материалов и наноструктур. СПб: Наука, 2001. 53 с.
10. К.Окура, В.Г.Лифшиц, А.А.Саранин, А.В.Зотов, М.Катаяма. Введение в физику поверхности. М.: Наука, 2006. 490 с.
11. D.Rugar, R.Budakian, H.J.Mamin, B.W.Chui. Single spin detection by magnetic resonance force microscopy. Nature. 2004. V.430. P.329-332.

11. Перечень ресурсов Интернет необходимых для освоения дисциплины:

- Образовательные ресурсы сайта производителя зондовых микроскопов <http://www.ntmdt.ru/page/resources>

12. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

Для освоения дисциплины необходимо посещение интерактивных занятий (лекций и семинаров) и регулярная самостоятельная работа в течение семестра. Для большей части тем курса имеются электронные презентации. Рекомендуется перед лекцией скачать соответствующую презентацию и иметь ее на интерактивном занятии на ноутбуке или планшете в режиме off-line или в распечатанном виде, используя как основу конспекта для собственных пометок и комментариев.

13. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине, включая перечень программного обеспечения и информационных справочных систем (при необходимости):

При реализации учебной работы в рамках дисциплины используются средства дистанционного сопровождения учебного процесса. Лекции читаются с использованием современных мультимедийных возможностей и проекционного оборудования.

14. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине

В соответствии с требованиями п. 5.3. образовательного стандарта МГУ по направлению подготовки «Физика». Любая аудитория, оснащенная проекционным оборудованием с возможностью подключения к ноутбуку, экраном, и учебной доской.