

Рабочая программа дисциплины

1. Название дисциплины: Современные методы оптической наноскопии и микроскопии

2. Уровень высшего образования – магистратура

3. Направление подготовки: 03.04.02 Физика (магистратура)

4. Аннотация:

Курс «Современные методы оптической наноскопии и микроскопии» является профильной дисциплиной магистерской программы «Квантовые оптические технологии». Дисциплина обеспечивает подготовку студентов в области методов локальной оптической диагностики микро- и нанообъектов, ознакомление с принципами функционирования различных оптических методов, используемых в нанооптике и нанoeлектронике, анализ возможности применения тех или иных локальных оптических методов диагностики для определения физико-химических свойств материалов, микро- и нанообъектов. В курсе рассматриваются методы и методики классической оптической микроскопии дальнего поля, сканирующей оптической микроскопии (как линейной, так и многофотонной), оптического манипулирования микро-и нанообъектами, рамановской и ИК-микроскопии и спектроскопии, эллипсометрии, а также оптической микроскопии ближнего поля. 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 оптических технологий.

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

СПК-3 Способность организовывать и планировать исследования, ставить конкретные задачи научных исследований в области физики квантовых 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 «Оптика», «Электромагнетизм» 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,	Всего, часы	В том числе	
		Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы из них	Самостоятельная работа обучающегося, часы из них

форма промежуточной аттестации по дисциплине		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 оптической диагностики. Физические основы и принципы реализации различных методов. Достоинства и ограничения, связанные с использованием излучения оптического диапазона. Краткий исторический обзор локальных оптических методов исследования.	2	2			2			
Спектроскопическая эллипсометрия. Основы метода эллипсометрии. Уравнения Френеля. Преобразование	6	4			4	2 Выполнение домашних заданий		2

<p>поляризации света при отражении от планарных структур с разным количеством слоев. Основные подходы к определению состояния поляризации отраженного света в эллипсометрии. Решение обратной задачи эллипсометрии. Спектральная (спектроскопическая) эллипсометрия. Сканирующая эллипсометрия.</p>								
<p>Теория формирования изображений. Принципы формирования изображения оптической системой. Разрешение оптической системы. Критерии разрешения. Диск Эйри. Аберрации оптических систем. Контраст в оптической микроскопии. Непрозрачные объекты. Полностью прозрачные или полупрозрачные объекты. Анизотропные и изотропные объекты. Амплитудные и фазовые объекты. Фазово-амплитудные объекты. Люминесцирующие объекты.</p>	6	4			4	2 Выполнение домашних заданий		2

Ортоскопическое и коноскопическое наблюдение.								
Основные методы дальнепольной оптической микроскопии Основные узлы оптического микроскопа. Источники света. Освещение по Келлеру. Освещение в проходящем свете. Освещение в отраженном свете. Объективы микроскопов. Спецификация и обозначения. Числовая апертура и разрешение. Иммерсионные объективы. Объективы для специальных применений. Поле зрения. Глубина резкости. Оптические системы с конечной длиной тубуса и оптические системы, скорректированные на бесконечность. Окуляры. Конденсоры. Столики для микроскопов и держатели образцов. Методы светлого и темного поля в проходящем и отраженном свете. Поляризационная микроскопия в проходящем и отраженном свете. Метод фазового контраста. Метод	5	3			3	2		2
						Повторение лекционного материала по теме «Теория формирования изображений»		

дифференциально-интерферометрического контраста. Микроинтерферометрия.								
Флуоресцентная микроскопия Флуорофоры. Источники света и светофильтры для флуоресцентной микроскопии. Оптимизация и проблемы флуоресцентной микроскопии. Электронные детекторы изображений. Специальные методы флуоресцентной микроскопии: комбинация с дифференциальным интерференционным и с фазовым контрастом. Флуоресцентная микроскопия полного внутреннего отражения (TIRFM). Флуоресцентная микроскопия резонансной передачи энергии (FRET).	4	2			2	2		2
Сканирующая оптическая микроскопия Флуорофоры для конфокальной микроскопии. Спектральные артефакты и выбор комбинации	5	3			3	2		2

<p>флуорофоров для конфокальной микроскопии. Разрешение и контраст в конфокальной микроскопии. Основы конфокальной микроскопии отраженного света. Лазерные системы в конфокальной микроскопии. Акусто-оптические перестраиваемые фильтры (АОТФs). Некогерентные источники света для конфокальной микроскопии. Объективы для конфокальной микроскопии. Системы сканирования. Отношение сигнал-шум. Электронные детекторы света и изображения. Применения конфокальной микроскопии.</p>								
<p>Методы оптического манипулирования. Теоретические основы оптической манипуляции. Оптический захват в приближении геометрической оптики и в дипольном приближении. Основные решения, применяемые при создании оптических пинцетов и обзор их</p>	<p>6</p>	<p>4</p>			<p>4</p>	<p>2 Выполнение домашних заданий</p>		<p>2</p>

применения.								
Коллоквиум по теме «Методы оптической микроскопии»	10			2	2	8	Подготовка к коллоквиуму	8
Сверхразрешающая дальнепольная оптическая микроскопия Реконструкция изображения по определенным положениям точечных источников, необходимые условия и основные пути реализации. Использование разделения времен детектирования или длин волн детектирования. Требования к точечности источников и единовременному нахождению внутри «дифракционной области» лишь одного точечного источника. Использование «естественных» точечных источников, статистически переключаемых из «темного» в «светлое» состояние. Создание точечного источника в заданном месте.	4	4			4			
Зондовая оптическая наноскопия (микроскопия	4	4			4			

<p>ближнего поля) Оптическая микроскопия и поляриметрия ближнего поля. Апертурная и безапертурная микроскопия ближнего поля. Прохождение света через диафрагму с субволновой апертурой. Локальные эффекты в оптической микроскопии ближнего поля. Локальные эффекты поляризационного контраста в микроскопии ближнего поля. Локальные магнитооптические эффекты. Исследование локальной люминесценции наноструктур. Ближнепольная оптическая диагностика пространственного распределения светового поля вблизи наноструктур. Влияние поверхностных плазмонов на формирование изображения в ближней зоне. Формирование оптических вихревых структур.</p>								
<p>Промежуточная аттестация - зачет</p>	<p>20</p>		<p>4</p>		<p>4</p>	<p>16 Подготовка к промежуточной</p>		<p>16</p>

						аттестации (за- чету).		
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 оптической диагностики микро- и нанообъектов. Физические принципы формирования отклика.
2. Уравнения Френеля. Комплексный показатель преломления.
3. Основное уравнение эллипсометрии. Различные способы описания поляризации света.
4. Основы методов определения состояния поляризации света в эллипсометрии.
5. Подходы к решению обратной задачи эллипсометрии.
6. Разрешение оптических микроскопов. Критерий разрешения Рэля. Функция рассеяния точки. Параметры, определяющие оптическое разрешение микроскопа.
7. Понятие оптических aberrаций. Хроматические aberrации. Сферические aberrации. Астигматизм.
8. История развития оптической микроскопии. Основные узлы и классификация микроскопов. Микроскопы с плоским полем. Стереоскопические микроскопы.
9. Узлы оптического микроскопа. Объективы. Спецификация и обозначения.
10. Передаточная функция объективов. Числовая апертура и разрешение объективов. Поле зрения и глубина резкости объективов.
11. Диафрагмы. Роль диафрагмы в оптическом микроскопе. Полевая и апертурная диафрагмы.
12. Микроскопия светлого поля. Устройство оптического микроскопа для метода темного поля.
13. Микроскопия темного поля. Устройство оптического микроскопа для метода темного поля.
14. Метод дифференциального интерференционного контраста (DIC). Интерпретация изображений, полученных методом дифференциального интерференционного контраста.
15. Микроскопия фазового контраста.
16. Микроскопия поляризованного света.
17. Сравнение микроскопии темного поля и метода освещения Рейнберга.

18. Сравнение микроскопии фазового контраста и метода дифференциального интерференционного контраста.
19. Понятия флуоресценции и флюорофоров. Флюорофоры для флуоресцентной и конфокальной микроскопии.
20. Лазерная конфокальная микроскопия. Устройство лазерного конфокального микроскопа. Применение конфокальной микроскопии.
21. Разрешение и контраст изображений в конфокальной микроскопии. Конфокальная микроскопия отраженного света.
22. Физические основы оптического манипулирования микро- и нанообъектами.
23. Основные подходы к оптическому манипулированию непоглощающими и поглощающими объектами.
24. Микроинтерферометрия.
25. Принцип действия апертурного оптического микроскопа ближнего поля. Особенности прохождения излучения через субдлинноволновую апертуру в металлическом экране и локализации электромагнитного поля вблизи такой апертуры.
26. Устройство и схемы работы основных видов датчиков, применяемых в сканирующей микроскопии ближнего поля для контроля расстояния между зондом и образцом. Преимущества и недостатки таких датчиков.
27. Устройство и схема работы апертурного микроскопа ближнего оптического поля на примере люминесцентного микроскопа, работающего на просвет. Физические причины, ограничивающие разрешение подобного микроскопа.
28. Основной принцип получения оптического сверхразрешения. Различия между возможностью обнаружения нанообъекта, точностью определения его расположения и разрешением нанообъектов в оптической микроскопии.
29. Основные принципы работы сверхразрешающей оптической микроскопии с формированием субволновой функции рассеяния точки на примере микроскопии STED (STimulated Emission Depletion). Пример спектра испускания исследуемого объекта и спектрального расположения возбуждающего и стимулирующего излучений.
30. Принципы работы оптических наноскопов с реконструкцией статистически детектируемых источников на примере микроскопии STORM (STochastic Optical Reconstruction Microscopy).

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 (31, 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	Отсутствие навыков	Фрагментарное применение навыков поиска, критического анализа, обобщения и систематизации научной информации в области физики	В целом успешное, но не систематическое применение навыков поиска, критического анализа, обобщения и систематизации научной информации в области	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы применение навыков поиска, критического анализа, обобщения и систематизации научной	Успешное и систематическое применение навыков поиска, критического анализа, обобщения и систематизации научной информации в области

квантовых оптических технологий (В2, СПК-2).		квантовых оптических технологий	физики	информации в области физики квантовых оптических технологий	физики квантовых оптических технологий
<i>ВЛАДЕТЬ:</i> навыками анализа методологических проблем, возникающих при планировании, организации и решении конкретных исследовательских задач в области физики квантовых оптических технологий (В3, СПК-3).	Отсутствие навыков	Фрагментарное применение навыков анализа методологических проблем, возникающих при планировании, организации и решении конкретных исследовательских задач в области физики квантовых оптических технологий	В целом успешное, но не систематическое применение навыков анализа методологических проблем, возникающих при планировании, организации и решении конкретных исследовательских задач в области физики квантовых оптических технологий	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы применение навыков анализа методологических проблем, возникающих при планировании, организации и решении конкретных исследовательских задач в области физики квантовых оптических технологий	Успешное и систематическое применение навыков анализа методологических проблем, возникающих при планировании, организации и решении конкретных исследовательских задач в области физики квантовых оптических технологий
<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).	Отсутствие умения	Фрагментарное проявление умения анализировать альтернативные варианты решения исследовательских задач в области физики квантовых оптических технологий и оценивать потенциальные выигрыши/проигрыши реализации этих вариантов	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	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	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><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. Справочник по микроскопии для нанотехнологии / Под ред. Н.Юо, Ж.Л.Ванга. Пер. с англ. – М.: Научный мир, 2011
2. Р.Аззам, Н.Башара, Эллипсометрия и поляризованный свет, пер. с англ., М.: Мир, 1981
3. О. Егорова, Техническая микроскопия. Практика работы с микроскопами для технических целей, М.: Техносфера, 2007
4. В.Г. Дюков, Ю.А. Кудеяров, Растровая оптическая микроскопия, М.: Наука, 1992
5. Э.Р. Кларк, К.Н. Эберхардт, Микроскопические методы исследования материалов, М.: Техносфера, 2007
6. В. Пантелеев, О. Егорова, Е. Клыкова, Компьютерная микроскопия, М.: Техносфера, 2005
7. М.В. Гашников, Н.И. Глумов, Н.Ю. Ильясова и др., Методы компьютерной обработки изображений, М.: Физматлит, 2001
8. В.Л. Миронов. Основы сканирующей зондовой микроскопии. Н.Новгород: ИФМ РАН, 2004
9. Г.С.Жданов, М.Н.Либенсон, Г.А.Марциновский. Ближнепольная оптика. СПб: СПбГУ ИТМО, 2007.
10. S.W. Hell Far-field optical nanoscopy, Science. 2007. V.316, 1153-1162.
11. S.W.Hell. Microscopy and its focal switch. Nat.Methods. 2009. V.6. P.24-32

Дополнительная литература:

1. E.Betzig, J.K.Trautman. Near-field optics: microscopy, spectroscopy, and surface modification beyond the diffractive limit. Science. 1992. V.257. P.189-196.
2. F.Zenhausern, Y.Martin, H.K.Wickramasinghe. Scanning interferometric apertureless microscopy: optical imaging at 10 angstrom resolution. Science. 1995. V.269. P.1083-1085

3. T.Taubner, D.Korobkin, Ya.Urzhumov, G.Shvets, R.Hillenbrand. Near-field microscopy through a SiC superlens. Science. 2006. V.313. P.1595-1598.

4. M.Duba, S.W.Hell. Focal spots of size $1/23$ open up far-field fluorescence microscopy at 33 nm axial resolution/ Phys. Rev. Lett. 2002. V.88. P.163901-1-163901-5

11. Перечень ресурсов Интернет необходимых для освоения дисциплины:

- Образовательные ресурсы сайта производителя зондовых микроскопов <http://www.ntmdt.ru/page/resources>
- Scientific Background on the Nobel Prize in Chemistry 2014. Super-resolved fluorescence microscopy. http://www.nobelprize.org/nobel_prizes/chemistry/laureates/2014/advanced-chemistryprize2014.pdf

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.