

Рабочая программа дисциплины

1. Название дисциплины: Нанооптика: фундаментальные основы и приложения

2. Уровень высшего образования – магистратура

3. Направление подготовки: 03.04.02 Физика (магистратура)

4. Аннотация:

В курсе предполагается дать систематическое изложение физических явлений, возникающих при взаимодействии электромагнитного излучения с веществом, естественным или технологическим способом структурированным в нано- и микрометровом диапазоне, и/или в нанометровой области от неоднородности, с которой взаимодействует электромагнитное поле. С этой целью рассматриваются такие фундаментальные вопросы как классическая и квантовая электродинамика ближнего поля, векторная теория острой фокусировки и дифракции, плазмоника, теория рассеяния света нанообъектами. Кроме того дается обзор прикладных вопросов, в том числе оптической микроскопии сверхвысокого разрешения, разнообразных плазмонных устройств, приборов захвата вещества светом, устройств хранения и передачи информации.

Объем дисциплины составляет 2 зачетные единицы, всего 72 часа, из которых 36 часов составляет контактная работа обучающегося с преподавателем (28 часов занятия лекционного типа, 8 часов занятия семинарского типа, 2 часа коллоквиумов), 36 часов составляет самостоятельная работа обучающегося.

5. 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 лазерной физики и нелинейной оптики.

СПК-2 Способность к поиску, критическому анализу, обобщению и систематизации научной информации в области лазерной физики и нелинейной оптики.

СПК-3 Способность организовывать и планировать исследования, ставить конкретные задачи научных исследований в области лазерной физики и нелинейной оптики, 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 теоретической физики «Электродинамика», а также дисциплины «Дифференциальные уравнения». Желательно предварительное освоение материала вариативной части программы бакалавриата: дисциплин профиля «Теория волн» и «Нелинейные волны и нелинейная оптика».

6. 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
1. Введение в предмет. Общий обзор вопросов, входящих в нанооптику. Место дисциплины среди таких разделов как классическая оптика макронеоднородных сред, квантовая электродинамика, квантовая оптика, нелинейная оптика.	3	2			2	1 час Ознакомление с литературой по курсу		1
1. Введение в электродинамику ближнего поля. §1 Дипольный источник: ближнее, промежуточное и дальнее поля. Интерференция ближних полей. Мультипольное разложение. Диполь-дипольное взаимодействие и безызлучательный резонансный перенос энергии по механизму Фёрстера.	7	6			6	1 час Решение задач, связанных с численным описанием эванесцентных волн.		1

<p>§2 Ближнее поле вблизи плоской границы раздела. Экспериментальное наблюдение эванесцентной волны Л.И. Мандельштамом. Перенос энергии эванесцентным полем. Коэффициент связи между падающим и эванесцентным полем: исследование свойств в зависимости от поляризации и материальных показателей среды.</p> <p>§3 Явления в области полного внутреннего отражения. Нарушенное полное внутреннее отражение. Сдвиг пучка Гуса-Хенхен и Имберта-Федорова. Рассеяние эванесцентных волн. Механическое действие эванесцентных волн.</p>					<p>1 час Решение задач на тему: ПВО, нарушенного ПВО и отстроенного ПВО, сдвиг Гуса- Хенхен.</p>		
-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--	--	--	--	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--	--

<p>3. Основы нанофотоники и наноплазмоники</p> <p>§1. Квантовые источники излучения: флуоресцентные молекулы, полупроводниковые квантовые точки, металлические нанокластеры. Спонтанная релаксация. Локальная плотность состояний. Сечение поглощения. Однофотонное излучение трехуровневой системы.</p> <p>§2 Оптические микрорезонаторы. Теория рассеяния Ми. Возбуждение мод типа шепчущей галереи. Нелинейные свойства микрорезонаторов.</p> <p>§3 Фотонные кристаллы. Фотонные запрещенные зоны. Дисперсионные свойства фотонных кристаллов. Фотонные кристаллы и метаматериалы. Топологические изоляторы.</p> <p>§4 Объемные плазмоны. Поверхностные плазмонные поляритоны. Плазмоны, локализованные на частицах. Метаповерхности и метаматериалы</p> <p>§5 Плазмоны в нелинейной оптике. Спазер – плазмонный «лазер»</p> <p>§6. Механическое воздействие электромагнитного излучения. Оптическое пленение частиц. Оптические пинцеты. Взаимодействия, обусловленные флуктуациями.</p>	25	12	4		16	<p>1 час Знакомство со статьей Дж. Пендри «Отрицательное преломление позволяет получить идеальную линзу», 2000 г.</p> <p>1 час Дисперсионные свойства плазмонных частиц и материалов</p> <p>7 часов Подготовка к коллоквиуму</p>		9
<p>4. Оптическая микроскопия сверхразрешения</p> <p>§1. Пространственное разрешение и функция рассеяния точки. Понятие функции рассеяния точки (ФРТ) оптической системы. Понятие осевого разрешения. Свойства решения Бете-Баукэмпа. Инженерия ФРТ</p> <p>§2. Наноразмерная оптическая микроскопия: обзор методов</p>	13	4	4	1 час Коллоквиум по теме «Дальне-полюсная микроскопия»	9	1 час Расчет ФРТ простейших оптических систем. 1 час Моделирование прохождения света		4

<p>Селективное возбуждение. STED-микроскопия. Конфокальная микроскопия. Многофотонная микроскопия. Метод фазового контраста. Поляризационная микроскопия. STOM/PTSM - сканирующая туннельная оптическая микроскопия. FRET-микроскопия. 4Pi-микроскопия. Микроскопия на основе структурированной подсветки.</p>						<p>через массив отверстий различной симметрии, в т.ч. по принципу мозаики Пенроуза.</p> <p>2 часа Моделирование решения Бёте-Баукампа.</p>		
<p>5. Нелинейная оптическая микроскопия</p> <p>§1. Микроскопия на основе двухфотонной флуоресценции. Сравнение флуоресценции на основе однофотонного и двухфотонного поглощения. Преимущества для биологических объектов. Сравнение линейных и нелинейных свойств известных флуорофоров.</p> <p>§2. Микроскопия на основе генерации второй гармоники. Преимущества метода. Микроскопия хиральных молекул и наноструктур, обладающих хиральностью. Создание сложных поляризационных состояний поля подсветки. Гибридные состояния поляризации.</p>	8	6			6	<p>1 час Знакомство с современными флуоресцентными красителями, в т.ч. на основе фотопереключаемых белков</p> <p>1 час Знакомство с линейными и нелинейными оптическими свойствами флуоресцентных красителей, в т.ч. на основе фотопереключаемых белков</p>	2	
Промежуточная аттестация - зачет	16		4		4	12 часов		12

						Подготовка к промежуточной аттестации (зачету).		
Итого	72	30	12	1	43			29

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

- 7.1 Основная и дополнительная литература доступная студентам через Интернет или по запросу лектору.
- 7.2 Электронные презентации основных тем дисциплины доступные через персональный сайт преподавателя:
<http://www.shoutovaoa.ru>
<http://www.tpopt.org>

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

Список типовых вопросов к экзамену.

1. Основные свойства оптической микроскопии (ОМ). Место ОМ среди других методов визуализации мельчайших объектов, электронной микроскопии, атомно-силовой микроскопии, рентгеновской микроскопии, преимущества и недостатки.
2. Критерий Рэлея. Направления оптической микроскопии после формулировки этого критерия.
3. Флуоресцентные молекулы и их роль в микроскопии. Возбуждение. Релаксация.
4. Тензорная функция Грина. Излучение диполя в дальней, средней и ближней зоне.
5. Эванесцентные поля. Эксперимент Л.И. Мандельштама. Перенос энергии затухающим полем. Полное внутреннее отражение и нарушенное полное внутреннее отражение.
6. Сдвиг Гуса-Хенхен и сенсорные устройства на его основе.
7. Угловые распределения оптических полей. Угловое распределение поля диполя.
8. Пропагаторы поля. Параксиальное приближение для оптических полей. Гауссовы лазерные пучки. Лазерные моды более высокого порядка. Продольные поля в фокальной области.
9. Карта ориентации излучателей. Поляризационное хранение информации.
10. Поляризованные электрические и магнитные поля. Угловой спектр поля в дальней зоне. Фокусировка полей. Фокальные поля. Фокусировка лазерных мод высокого порядка. Передел слабой фокусировки. Фокусировка вблизи плоских поверхностей.
11. Функция рассеяния точки. Предел(ы) разрешения. Повышение предела разрешения путем селективного возбуждения. Осевое разрешение.
12. Увеличение разрешения посредством насыщения. Принципы конфокальной микроскопии. Осевое разрешение в многофотонной микроскопии.
13. Основные положения теории оптической антенны.
14. Принципы микроскопии ближнего поля. Передача информации из ближней зоны в дальнюю.
15. Излучение и детектирование в дальнем поле. Метод фазового контраста. Поляризационная микроскопия. Конфокальная микроскопия.
16. Подсветка в ближнем поле и детектирование в дальнем поле. Апертурное сканирование в оптической микроскопии ближнего поля. Сильнопольная сканирующая оптическая микроскопия ближнего поля.

17. Подсветка в дальнем поле и детектирование в ближнем поле. Сканирующая туннельная оптическая микроскопия. Многомодовая оптическая микроскопия ближнего поля. Подсветка в ближнем поле и детектирование в ближнем поле. Микроскопия на основе переноса энергии и другие схемы.
18. Понятие о метаматериалах. Типы метаматериалов. Физические принципы получения отрицательного показателя преломления.
19. Микроскопия на основе метаматериалов. Идеальная линза Пендри. Суперлинза Фанга. Гиперлинза.
20. Диполь-дипольное взаимодействие и перенос энергии. Мультипольное разложение кулоновского взаимодействия. Резонансный безызлучательный перенос энергии между двумя частицами (FRET). Делокализованные возбуждения (сильная связь). Перепутанные состояния.
21. Микроскопия на основе гашения флуоресценции. Работы группы Штефана Хеля.
22. Обзор типов оптических зондов. Методы создания оптических зондов.
23. Поглощение энергии диполем: полуклассический подход. Поток энергии в окрестности наведенного диполя. Сечение поглощения.
24. Спонтанная релаксация. КЭД спонтанной релаксации.
25. Классическое время жизни и скорость релаксации. Однородное окружение. Неоднородное окружение. Сдвиг частоты. Квантовый выход.
26. Флуоресцентные молекулы. Возбуждение. Релаксация.
27. Полупроводниковые квантовые точки. Возбуждение. Лазеры на полупроводниковых квантовых точках.
28. Металлические нанокластеры. Особенности плазмонного резонанса металлических наночастиц.
29. Фотонные кристаллы. Фотонные запрещенные зоны. Дефекты в фотонных кристаллах. Фотонные кристаллы как метаматериалы.
30. Оптические микрорезонаторы.
31. Оптические свойства благородных металлов. Теория Друде-Зоммерфельда. Межзонные переходы.
32. Поверхностные плазмоны-поляритоны на плоских границах раздела. Свойства поверхностных плазмонов-поляритонов.
33. Возбуждение поверхностных плазмонов-поляритонов. Датчики на основе поверхностных плазмонов.
34. Локальные плазмоны тонких проводов и сферических частиц. Спазер.
35. Тензор напряжений Максвелла. Давление излучения.
36. Оптическое пленение частиц. Оптические пинцеты

Пример домашнего задания.

Рассмотрите образец с однородным слоем биполярных частиц, дипольные моменты которых ориентированы в плоскости слоя. Пусть слой перпендикулярен оптической оси системы и освещается сфокусированным гауссовым пучком. Рассчитайте конфокальный и неконфокальный сигнал. Сравните и сделайте выводы.

Пример контрольной работы.

1. На чем основан принцип метода фазового контраста. Позволяет ли он повысить разрешающую способность оптической системы.
2. Пусть в фокусе линзы с числовой апертурой NA находится молекула, положение которой на выходной CCD камере мы можем фиксировать с точностью 10 нм. Теперь расположим на расстоянии d от молекулы наночастицу радиуса R . Теперь на выходной камере мы наблюдаем излучение двух когерентных диполей, молекулы и наведенного в наночастице диполя. Оцените, как, в зависимости от геометрии задачи, повлияет добавление наночастицы на разрешающую способность оптической системы. Сделайте выводы о том, как улучшить разрешающую способность и по возможности избежать артефактов.
3. Предположим, что мы хотим получить в дальнем поле изображение слоя флуоресцентных молекул, плотность которых меняется по синусоидальному закону с периодом меньше критерия Рэлея. Наложите на подсветку структурирование так, чтобы можно было определить период функции плотности флуоресцентных молекул. Изобразите соответствующие картинку Муара. Коэффициенты преломления считать приблизительно равными 1.
4. Объясните связь между критерием Рэлея и принципом неопределенности Гейзенберга.

ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ (ПОКАЗАТЕЛИ ДОСТИЖЕНИЯ ЗАДАННОГО УРОВНЯ ОСВОЕНИЯ КОМПЕТЕНЦИЙ)

ВЛАДЕТЬ: профессиональными знаниями для анализа и синтеза физической информации в области лазерной физики и нелинейной оптики (В1, СПК-1).

ВЛАДЕТЬ: навыками поиска, критического анализа, обобщения и систематизации научной информации в области лазерной физики и нелинейной оптики (В2, СПК-2).

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

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

УМЕТЬ: осуществлять поиск, критический анализ, обобщать и систематизировать научную информацию в области лазерной физики и нелинейной оптики (У2, СПК-2).

УМЕТЬ: организовывать и планировать исследования, ставить конкретные задачи научных исследований в области лазерной физики и нелинейной оптики, 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 лазерной физики и нелинейной оптики (З1, СПК-1).

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

ЗНАТЬ: методы организации и планирования исследований в области лазерной физики и нелинейной оптики, 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 лазерной физики и нелинейной оптики (В1, СПК-1).	Отсутствие навыков	Фрагментарное применение навыков анализа и синтеза физической информации в области лазерной физики и нелинейной оптики	В целом успешное, но не систематическое применение навыков анализа и синтеза физической информации в области лазерной физики и нелинейной оптики	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы применение навыков анализа и синтеза физической информации в области лазерной физики и нелинейной оптики	Успешное и систематическое применение навыков анализа и синтеза физической информации в области лазерной физики и нелинейной оптики
<i>ВЛАДЕТЬ:</i> навыками поиска, критического анализа, обобщения и	Отсутствие навыков	Фрагментарное применение навыков поиска, критического анализа, обобщения и	В целом успешное, но не систематическое применение навыков поиска, критического	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы применение навыков поиска,	Успешное и систематическое применение навыков поиска, критического анализа,

систематизации научной информации в области лазерной физики и нелинейной оптики (B2, СПК-2).		систематизации научной информации в области лазерной физики и нелинейной оптики	анализа, обобщения и систематизации научной информации в области лазерной физики и нелинейной оптики	критического анализа, обобщения и систематизации научной информации в области лазерной физики и нелинейной оптики	обобщения и систематизации научной информации в области лазерной физики и нелинейной оптики
<i>ВЛАДЕТЬ:</i> навыками анализа методологических проблем, возникающих при планировании, организации и решении конкретных исследовательских задач в области лазерной физики и нелинейной оптики (B3, СПК-3).	Отсутствие навыков	Фрагментарное применение навыков анализа методологических проблем, возникающих при планировании, организации и решении конкретных исследовательских задач в области лазерной физики и нелинейной оптики	В целом успешное, но не систематическое применение навыков анализа методологических проблем, возникающих при планировании, организации и решении конкретных исследовательских задач в области лазерной физики и нелинейной оптики	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы применение навыков анализа методологических проблем, возникающих при планировании, организации и решении конкретных исследовательских задач в области лазерной физики и нелинейной оптики	Успешное и систематическое применение навыков анализа методологических проблем, возникающих при планировании, организации и решении конкретных исследовательских задач в области лазерной физики и нелинейной оптики
<i>УМЕТЬ:</i> анализировать альтернативные варианты решения исследовательских задач в области лазерной физики и нелинейной оптики и оценивать потенциальные выигрыши/проигрыши реализации этих вариантов (У1, СПК-1).	Отсутствие умения	Фрагментарное проявление умения анализировать альтернативные варианты решения исследовательских задач в области лазерной физики и нелинейной оптики и оценивать потенциальные выигрыши/проигрыши реализации этих вариантов	В целом успешное, но не систематическое проявление умения анализировать альтернативные варианты решения исследовательских задач в области лазерной физики и нелинейной оптики 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 лазерной физики и нелинейной оптики и оценивать потенциальные выигрыши/проигрыши реализации этих вариантов	Успешное и систематическое проявление умения анализировать альтернативные варианты решения исследовательских задач в области лазерной физики и нелинейной оптики и оценивать потенциальные выигрыши/проигрыши реализации этих вариантов

<p><i>УМЕТЬ:</i> осуществлять поиск, критический анализ, обобщать и систематизировать научную информацию в области лазерной физики и нелинейной оптики (У2, СПК-2).</p>	<p>Отсутствие умения</p>	<p>Фрагментарное проявление умения осуществлять поиск, критический анализ, обобщать и систематизировать научную информацию в области лазерной физики и нелинейной оптики</p>	<p>В целом успешное, но не систематическое проявление умения осуществлять поиск, критический анализ, обобщать и систематизировать научную информацию в области лазерной физики и нелинейной оптики</p>	<p>В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы проявление умения осуществлять поиск, критический анализ, обобщать и систематизировать научную информацию в области лазерной физики и нелинейной оптики</p>	<p>Успешное и систематическое проявление умения осуществлять поиск, критический анализ, обобщать и систематизировать научную информацию в области лазерной физики и нелинейной оптики</p>
<p><i>УМЕТЬ:</i> организовывать и планировать исследования, ставить конкретные задачи научных исследований в области лазерной физики и нелинейной оптики, 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 лазерной физики и нелинейной оптики, 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 лазерной физики и нелинейной оптики, 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 лазерной физики и нелинейной оптики, 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 лазерной физики и нелинейной оптики, 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 лазерной физики и нелинейной оптики (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 лазерной физики и нелинейной оптики</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 лазерной физики и нелинейной оптики</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 лазерной физики и нелинейной оптики</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 лазерной физики и нелинейной оптики</p>
<p><i>ЗНАТЬ:</i> способы критического анализа и систематизации научной информации при решении исследовательских задач в области лазерной физики и нелинейной оптики (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 лазерной физики и нелинейной оптики</p>	<p>В целом успешное, но не систематическое проявление знаний способов критического анализа и систематизации научной информации при решении исследовательских задач в области лазерной физики и нелинейной оптики</p>	<p>В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы проявление знаний способов критического анализа и систематизации научной информации при решении исследовательских задач в области лазерной физики и нелинейной оптики</p>	<p>Успешное и систематическое проявление знаний способов критического анализа и систематизации научной информации при решении исследовательских задач в области лазерной физики и нелинейной оптики</p>

ЗНАТЬ: методы организации и планирования исследований в области лазерной физики и нелинейной оптики, включая способы решения задач с помощью современной аппаратуры и оборудования (ЗЗ, СПК-3)	Отсутствие знаний	Фрагментарное проявление знаний методов организации и планирования исследований в области лазерной физики и нелинейной оптики, 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 лазерной физики и нелинейной оптики, 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 лазерной физики и нелинейной оптики, включая способы решения задач с помощью современной аппаратуры и оборудования	Успешное и систематическое проявление знаний методов организации и планирования исследований в области лазерной физики и нелинейной оптики, включая способы решения задач с помощью современной аппаратуры и оборудования
----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

9. Перечень основной и дополнительной учебной литературы

Основная литература

1. В.В. Климов «Наноплазмоника» », Издательство ФИЗМАТЛИТ, Москва, Россия, 2010.
2. Е.С. Андрианов и др. «Квантовая наноплазмоника. Учебное пособие». Издательство «Интеллект», Москва, Россия, 2015.
3. A. Zayats, D.Richards, «Nano-Optics and Near-Field Optical Microscopy», ARTECH HOUSE, Norwood, 2009.
4. Л. Новотный, Б. Хехт, «Основы нанооптики», Издательство ФИЗМАТЛИТ, Москва, Россия, 2009.

Дополнительная литература

1. Шен И.Р. «Нелинейная оптика», Издательство Наука, Москва, 1989.
2. A. Zayats, D.Richards, «Nano-Optics and Near-Field Optical Microscopy», ARTECH HOUSE, Norwood, 2009.
3. Мандель Л., Вольф Э. «Оптическая когерентность и квантовая оптика». Издательство ФИЗМАТЛИТ, Москва, Россия, 2000.
4. Борн М., Вольф Э. «Основы оптики». Издательство, ФИЗМАТЛИТ, Москва. Россия, 2003.
5. L. Solymar, E. Shamonina, “Waves in Metamaterials”, Oxford University Press, Oxford, UK, 2009.

Периодическая литература

1. Журнал «Успехи физических наук»
2. Журнал Nature/Methods: <http://www.nature.com/nmeth/index.html>
3. Журнал Nature/Photonics: <http://www.nature.com/nphoton/index.html>
4. Журнал Nature/Nanotechnology: <http://www.nature.com/nnano/index.html>
5. Журнал Nature/Materials: <http://www.nature.com/nmat/index.html>

10. Перечень ресурсов Интернет необходимых для освоения дисциплины:

1. <http://microscopyu.com>
2. <http://nano.msu.ru>
3. <http://tpopt.org>
4. <http://nanohub.org/>

Программное обеспечение современных информационных компьютерных технологий

1. <http://www.wolfram.com/mathematica/>
2. <http://www.maplesoft.com/products/Maple/>
3. <http://www.mathworks.com/products/matlab/>
4. <http://www.comsol.com/products/multiphysics/>
5. <http://maxima.sourceforge.net/>
6. <http://www.scipy.org/>

11. 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, выложенные на сайте кафедры. 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.

12. 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 «Нелинейная оптика лазерных филаментов» используются средства дистанционного сопровождения учебного процесса в форме сайтов с материалами лекций и семинарских занятий. Курс имеет электронные версии (презентации) лекций. Лекции читаются с использованием современных мультимедийных возможностей и проекционного оборудования.

13. 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.