

Рабочая программа дисциплины

1. Название дисциплины: Экспериментальные основы квантовых оптических технологий

2. Уровень высшего образования – магистратура

3. Направление подготовки: 03.04.02 Физика (магистратура)

4. Аннотация:

Курс является профильной дисциплиной магистерской программы «Квантовые и оптические технологии». Основная цель преподавания дисциплины состоит в ознакомлении студентов с современными методиками лазерных экспериментов, а также функциональными схемами, характеристиками, областями применения, диапазонами и ограничениями применения лазерных, оптоэлектронных, оптомеханических приборов и оборудования, используемых в лазерных экспериментах и на подготовительных и вспомогательных этапах к ним.

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 (18 часов занятия лекционного типа, 13 часов занятия семинарского типа, 1 час контрольных работ, 4 часа контроля знаний в виде зачета), 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 «Оптика», «Электромагнетизм», «Введение в квантовую физику», а также первой части дисциплины «Нелинейная оптика».

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
1. Введение Цели и задачи курса. Структура курса. Основные понятия.		1			1	1 час Работа с лекционным материалом		1

<p>2. Лазерные источники электромагнитного излучения</p> <p>Непрерывные и импульсные лазеры. Характеристики лазерных источников. Модуляция добротности. Методы синхронизации мод. Методы измерения временных, пространственных, спектральных и шумовых параметров лазерного излучения. Основные типы активных сред. Фемтосекундные лазеры. Регенеративный усилитель. Чирпированные импульсы. Сжатие фемтосекундных импульсов. Параметрический генератор света. Суперконтинуум. Нелазерные источники света.</p>	2	2		4	2 часа работа с лекционным материалом		2
<p>3. Регистрация характеристик лазерного излучения</p> <p>Методы измерения мощности лазерного излучения. Детекторы электромагнитного излучения. Спектральные и временные характеристики фотодетекторов. Схемы включения режимы. Чувствительность, счет фотонов, регистрация изображений, измерение длительности и формы сверхкоротких лазерных импульсов. Корреляционные измерения с чувствительностью к фазе. Поляризационно-чувствительные времяразрешающие схемы.</p>	2	2		4	2 часа Работа с лекционным материалом, решение задач		2
<p>4. Оптические схемы и их элементы</p> <p>Оптические и оптомеханические элементы.</p>	3	2		5	2 часа Работа с лекционным материалом, решение		2

<p>Многослойные и металлические зеркала, материалы для различных спектральных диапазонов. Спектральная фильтрация излучения, цветное стекло, полосовые многослойные фильтры, узкополосные интерференционные фильтры. Типы светоделителей. Поляризационная оптика, поляризационные призмы, преобразование поляризации. Широкополосная поляризационная оптика. Фокусировка и коллимирование пучков. Сферические и параболические зеркала. Характеристики линз, материалы для различных применений. Сферические и хроматические абберации. Характеристики оптических объективов. Ахроматы, планахроматы, планапохроматы, микрофлюары. Поляризационные, люминесцентные, фазовые объективы.</p>						задач		
<p>5. Обработка оптических сигналов Аппаратная и программная обработка слабых сигналов, счет фотонов. Модуляционные измерения, синхронное детектирование. Стробируемая регистрация, программная и аппаратная реализация. Фильтрация сигналов (полосовая, низких и высоких частот), улучшение соотношения сигнал-шум.</p>	2	2	1 час	контрольная работа	5	2 часа Работа с лекционным материалом 4 часа Подготовка к контрольной работе		6
<p>6. Лазерная спектроскопия Линейная и нелинейная спектроскопия, спектроскопия оптических гармоник. Параметрический усилитель. Лазерные диапазоны,</p>	2	2			4	2 часа Работа с лекционным материалом, решение задач		2

методы регистрации электромагнитных спектров в различных диапазонах. Спектральные приборы, типы спектрометров, абберации в спектральных приборах и способы ее компенсации. Призмные и решеточные спектрометры. Терагерцовая спектроскопия.							
7. Лазерная и твердотельная диагностика нано- и микроструктур Оптическая и лазерная спектроскопия,. Электронная микроскопия. Просвечивающая электронная микроскопия, предельная толщина образца. Искажения изображений. Дифракция электронов.		2			2	2 часа Работа с лекционным материалом, решение задач	2
8. Структурный анализ наноматериалов Ближнепольная оптическая микроскопия, сверхразрешение. Зондовая микроскопия, ее модификации. Туннельная микроскопия. Рентгеноструктурный анализ. Рентгеновская дифракция. Лауэграммы, дебаеграммы. Малоугловая рентгеновская дифракция. Методы электронной дифракции. Дифракция медленных и быстрых электронов.		2	1		3	2 часа Работа с лекционным материалом, решение задач	2
9. Нанолитография Требования к образцам для лазерного эксперимента. Электронно-лучевая и ионно-лучевая нанолитография. Лазерная интерференционная, двухфотонная литография. Лазерный пинцет.		2	2		4	2 часа Работа с лекционным материалом, решение задач	2

Промежуточная аттестация - зачет				4	4	15 часов Подготовка к промежуточной аттестации (зачету).		15
Итого		18	13	5	36			36

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

8.1 Основная и дополнительная литература.

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

9.1 Примеры контрольных вопросов:

1. В чем заключается метод модуляции добротности?
2. Каким образом можно преобразовать поляризацию излучения из линейной в круговую?
3. Оценить разрешающую способность объектива с известной числовой апертурой.
4. Нарисуйте схему реализации лазерной интерференционной литографии.
5. Чем определяется разрешение двухфотонной лазерной литографии?

9.2 Полный перечень вопросов к зачёту:

1. Лазерные источники излучения. Основные характеристики лазерных источников.
2. Непрерывные и импульсные лазеры. Характеристики лазерных источников. Модуляция добротности. Методы синхронизации мод.
3. Фемтосекундные лазеры. Регенеративный усилитель.
4. Параметрический генератор света. Генерация суперконтинуума.
5. Нелазерные источники света, классификация.
6. Чирпированные импульсы. Сжатие фемтосекундных импульсов.
7. Детекторы электромагнитного излучения. Спектральные и временные характеристики фотодетекторов. Схемы включения режимы.
8. Методы измерения мощности лазерного излучения.
9. Фотоэлектронный умножитель, счет фотонов.
10. Регистрация оптических изображений. Позиционно-чувствительные измерения.
11. Измерение длительности и формы сверхкоротких лазерных импульсов.

12. Корреляционные измерения сверхкоротких импульсов с чувствительностью к фазе. Поляризационно-чувствительные времяразрешающие схемы.
13. Оптические и оптомеханические элементы. Многослойные и металлические зеркала, материалы для различных спектральных диапазонов.
14. Спектральная фильтрация излучения, цветное стекло, полосовые многослойные фильтры, узкополосные интерференционные фильтры. Типы светоделителей.
15. Поляризационная оптика, поляризационные призмы, преобразование поляризации. Широкополосная поляризационная оптика.
16. Фокусировка и коллимирование пучков. Сферические и параболические зеркала. Характеристики линз, материалы для различных применений. Сферические и хроматические абберации.
17. Хроматический дублет. Характеристики оптических объективов. Ахроматы, планахроматы, планапохроматы, микрофлюары. Поляризационные, люминесцентные, фазовые объективы.
18. Аппаратная и программная обработка слабых сигналов, счет фотонов.
19. Синхронное детектирование оптических сигналов, модуляционные методики. Фильтрация сигналов (полосовая, низких и высоких частот), улучшение соотношения сигнал-шум.
20. Строблируемая система регистрации оптических сигналов.
21. Параметрический усилитель. Спектроскопия оптических гармоник.
22. Спектральные приборы, типы спектрометров, aberrации в спектральных приборах и способы ее компенсации. Призмные и решетчатые спектрометры.
23. Терагерцовая спектроскопия во временном домене.
24. Оптическая и лазерная микроспектроскопия.
25. Электронная микроскопия. Просвечивающая электронная микроскопия, предельная толщина образца. Искажения изображений. Дифракция электронов.
26. Рентгеноструктурный анализ. Рентгеновская дифракция. Лауэграммы, дебаеграммы. Малоугловая рентгеновская дифракция.
27. Методы электронной дифракции. Дифракция медленных и быстрых электронов.
28. Зондовая микроскопия. Сканирующая туннельная, атомно-силовая и магнитно-силовая микроскопия.
29. Ближнепольная оптическая микроскопия. Методы оптической сверхразрешающей микроскопии.
30. Электронно-лучевая и ионно-лучевая нанолитография.
31. Двухфотонная нанолитография.
32. Лазерная интерференционная литография.
33. Лазерный пинцет.

ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ (ПОКАЗАТЕЛИ ДОСТИЖЕНИЯ ЗАДАННОГО УРОВНЯ ОСВОЕНИЯ КОМПЕТЕНЦИЙ)

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

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

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

УМЕТЬ: анализировать альтернативные варианты решения исследовательских задач в области физики квантовых и 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 и оптических технологий (У2, СПК-2).

УМЕТЬ: 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 (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 и оптических технологий (З1, СПК-1).

ЗНАТЬ: способы критического анализа и систематизации научной информации при решении исследовательских задач в области физики квантовых и оптических технологий (З2, СПК-2).

ЗНАТЬ: методы организации и планирования исследований в области физики квантовых и оптических технологий, включая способы решения задач с помощью современной аппаратуры и оборудования (З3, СПК-3).

Планируемые	Критерии оценивания результатов обучения
-------------	--

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

<p>проблем, возникающих при планировании, организации и решении конкретных исследовательских задач в области физики квантовых и оптических технологий (ВЗ, СПК-3).</p>		<p>возникающих при планировании, организации и решении конкретных исследовательских задач в области физики квантовых и оптических технологий</p>	<p>ческих проблем, возникающих при планировании, организации и решении конкретных исследовательских задач в области физики квантовых и оптических технологий</p>	<p>методологических проблем, возникающих при планировании, организации и решении конкретных исследовательских задач в области физики квантовых и оптических технологий</p>	<p>проблем, возникающих при планировании, организации и решении конкретных исследовательских задач в области физики квантовых и оптических технологий</p>
<p><i>УМЕТЬ:</i> анализировать альтернативные варианты решения исследовательских задач в области физики квантовых и 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 и 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 и 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 и 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 и 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 и 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 и 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 и 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 и оптических технологий</p>	<p>Успешное и систематическое проявление умения осуществлять поиск, критический анализ, обобщать и систематизировать научную информацию в области физики квантовых и оптических технологий</p>
<p><i>УМЕТЬ:</i> 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 (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 и 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 и 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 и 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 и 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 и 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 и 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 и 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 и 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 и оптических технологий</p>
<p><i>ЗНАТЬ:</i> способы критического анализа и систематизации научной информации при решении исследовательских задач в области физики квантовых и 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 и 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 и 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 и оптических технологий</p>	<p>Успешное и систематическое проявление знаний способов критического анализа и систематизации научной информации при решении исследовательских задач в области физики квантовых и оптических технологий</p>

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

10. Перечень основной и дополнительной учебной литературы

Основная литература

1. М. Борн, Э. Вольф, «Основы оптики», М.: Наука 1973.
2. С. А. Ахманов, С. Ю. Никитин «Физическая оптика», М.: Изд-во Моск. ун-та, 1998.
3. Шен И.Р. «Принципы нелинейной оптики», М.: Наука, 1989.
4. П. Г. Крюков «Лазеры ультракоротких импульсов и их применения», М.: ИД Интеллект, 2012.

Дополнительная литература

5. К. Сэкен, М. Томпсет, «Приборы с переносом заряда», Москва, Мир 1978.
6. С. Зи, «Физика полупроводниковых приборов», т.1, т.2, Москва, Мир 1984.

11. Перечень ресурсов Интернет необходимых для освоения дисциплины:

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, доступные он-лайн во время чтения курса.

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 «Экспериментальные основы квантовой электроники» 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.

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.