

## Рабочая программа дисциплины

**1. Название дисциплины:** Оптика квантовых низкоразмерных структур

**2. Уровень высшего образования** – магистратура

**3. Направление подготовки:** 03.04.02 Физика (магистратура)

**4. Аннотация:**

Курс «Оптика квантовых низкоразмерных структур» является профильной дисциплиной магистерской программы «Квантовые и оптические технологии». Дисциплина обеспечивает теоретическую подготовку студентов в области физики взаимодействия света с системами пониженной размерности, такими как поверхности, тонкие слои, квантовые нити и квантовые точки. В курсе рассматриваются явления, обусловленные квантово-размерным эффектом, т.е. квантованием энергии носителей заряда, движение которых ограничено как минимум в одном направлении. Изучаются также прикладные вопросы, в частности, принципы действия приборов и устройств на основе наноразмерных квантовых структур.

Объем дисциплины составляет 2 зачетные единицы, всего 72 часа, из которых 36 часов составляет контактная работа обучающегося с преподавателем (32 часа занятий лекционного типа, 4 часа занятий семинарского типа), 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 квантовых и оптических технологий.

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

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

## ПОРОГОВЫЙ (ВХОДНОЙ) УРОВЕНЬ 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 «Оптика фотонных кристаллов и наносистем».

### 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
<p><b>Введение</b></p> <p>Классификация и общие свойства квантовых низкоразмерных структур. Методы получения наноразмерных объектов: эпитаксия, литография, коллоидный синтез, самоорганизация. Краткий исторический обзор развития физики наносистем.</p>		4			<b>4</b>			
<p><b>Физические основы квантово-размерного эффекта: электрон в квантовой яме</b></p> <p>Размерное квантование электронных состояний. Энергетические уровни электрона в квантовой яме с бесконечно высокими стенками. Влияние высоты потенциального барьера на квантование уровней энергии. Структуры с множественными квантовыми ямами. Гетероструктуры и сверхрешетки. Межзонное поглощение и излучательные переходы. Оптические переходы между подзонами размерного</p>		4			<b>4</b>	2		<b>2</b>

квантования. Правила отбора и плотность состояний для оптических переходов в квантовых ямах.								
<p><b>Квантовые точки – искусственные атомы</b></p> <p>Классификация типов квантовых точек. Размерное квантование электронной подсистемы в квантовых точках. Влияние морфологии квантовых точек на энергетический спектр электронов. Синтез и оптические свойства коллоидных квантовых точек. Самоорганизация как метод формирования квантовых точек: эпитаксиальный рост и отжиг тонких пленок. Квантовые точки на основе кремния: методы синтеза, структура, свойства. Квантовые точки на основе полупроводников групп А3В5 и А2В6. Пассивация поверхности квантовых точек. Наночастицы типа ядро-оболочка. Мерцающая люминесценция квантовых точек. Оптические резонансы металлических наночастиц.</p>		8			8	4		4
<p><b>Квазичастицы в низкоразмерных структурах</b></p> <p>Экситоны Френкеля и Ванье-Мотта. Прямые и непрямые экситоны. 2D-экситоны. Экситоны в низкоразмерных гетероструктурах полупроводник-диэлектрик. Поверхностные плазмон-поляритоны и локализованные поверхностные плазмоны. Комбинационное рассеяние света в наноструктурах:</p>		4			4	2		2

модель пространственного ограничения фононов.								
<b>1D объекты – нанонити и квантовые кольца</b> Методы получения и структура металлических и полупроводниковых нанонитей. Оптические свойства полупроводниковых нанонитей: ZnO, Si, InP, GaN. Квантовые кольца на основе GaAs.		2			2		2	2
<b>Низкоразмерные структуры на основе углерода</b> Классификация типов углеродных низкоразмерных соединений. Синтез и структура углеродных наноструктур. Графен и углеродные нанотрубки: плотность состояний, оптические свойства, спектры комбинационного рассеяния. Графеноподобные материалы.		4			4		2	2
<b>Применение наноразмерных объектов в оптических исследовательских методиках</b> Квантовые точки в биологии и медицине. Поверхностно-усиленная рамановская спектроскопия (SERS).		2			2		2	2
<b>Приборы и устройства на основе квантовых</b>		4			4		2	2

<b>низкоразмерных структур</b> Лазеры на квантовых ямах и квантовых точках. Квантово-каскадный лазер. Электрооптический модулятор. Спазер. Солнечный элемент с квантовыми точками. Светодиоды на основе квантовых точек. Фотоприемники на квантовых ямах.								
<b>Промежуточная аттестация - зачет</b>			4		<b>4</b>	20		<b>20</b>
						Подготовка к промежуточной аттестации (зачету).		
<b>Итого</b>		32	4		<b>36</b>	36		<b>36</b>

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

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

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

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

Типовые вопросы к зачету:

1. Типы и свойства квантовых низкоразмерных структур.
2. Методы получения наноразмерных объектов.
3. Квантово-размерный эффект.
4. Размерное квантование электронных состояний в потенциальной яме: влияние высоты барьера.

5. Понятие о гетероструктурах и сверхрешетках.
6. Структуры с множественными квантовыми ямами.
7. Межзонное поглощение и излучательные переходы в низкоразмерных системах.
8. Оптические переходы между подзонами размерного квантования.
9. Правила отбора и плотность состояний для оптических переходов в квантовых ямах.
10. Классификация типов квантовых точек.
11. Уровни размерного квантования в квантовых точках.
12. Зависимость энергетического спектра от формы квантовых точек.
13. Коллоидные квантовые точки: синтез и оптические свойства.
14. Методы синтеза, структура и оптические свойства кремниевых квантовых точек.
15. Влияние пассивации поверхности квантовых точек на их свойства.
16. Квантовые точки, полученные методом самоорганизации.
17. Квантовые точки на основе полупроводников групп A3B5 и A2B6.
18. Наночастицы типа ядро-оболочка.
19. Мерцающая люминесценция квантовых точек.
20. Оптические резонансы металлических наночастиц.
21. Экситоны в низкоразмерных структурах.
22. Поверхностные плазмон-поляритоны и локализованные поверхностные плазмоны.
23. Комбинационное рассеяние света в наноструктурах: модель пространственного ограничения фононов.
24. Методы получения и структура металлических и полупроводниковых нанонитей.
25. Оптические свойства полупроводниковых нанонитей и квантовых колец.
26. Классификация типов углеродных низкоразмерных соединений.
27. Синтез и структура углеродных наноструктур.
28. Графен и углеродные нанотрубки: плотность состояний, оптические свойства, спектры комбинационного рассеяния.
29. Графеноподобные материалы.
30. Применение квантовых точек в биологии и медицине.
31. Понятие о поверхностно-усиленной рамановской спектроскопии.
32. Лазеры на квантовых ямах и квантовых точках.
33. Квантово-каскадный лазер.
34. Электрооптический модулятор.
35. Спазер.
36. Солнечный элемент с квантовыми точками.
37. Светодиоды на основе квантовых точек.

38. Фотоприемники на квантовых ямах.

**ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ (ПОКАЗАТЕЛИ ДОСТИЖЕНИЯ ЗАДАННОГО УРОВНЯ ОСВОЕНИЯ КОМПЕТЕНЦИЙ)**

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

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

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

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

**УМЕТЬ:** организовывать и планировать исследования, ставить конкретные задачи научных исследований в области 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 квантовых и оптических технологий (З1, СПК-1).

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

**ЗНАТЬ:** методы организации и планирования исследований в области 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 квантовых и оптических технологий (В1, СПК-1).	Отсутствие навыков	Фрагментарное применение навыков анализа и синтеза физической информации в области квантовых и оптических технологий	В целом успешное, но не систематическое применение навыков анализа и синтеза физической информации в области квантовых и оптических технологий	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы применение навыков анализа и синтеза физической информации в области квантовых и оптических технологий	Успешное и систематическое применение навыков анализа и синтеза физической информации в области квантовых и оптических технологий
<i>ВЛАДЕТЬ:</i>  навыками поиска, критического анализа, обобщения и систематизации научной информации в области квантовых и оптических технологий (В2, СПК-2).	Отсутствие навыков	Фрагментарное применение навыков поиска, критического анализа, обобщения и систематизации научной информации в области квантовых и оптических технологий	В целом успешное, но не систематическое применение навыков поиска, критического анализа, обобщения и систематизации научной информации в области квантовых и оптических технологий	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы применение навыков поиска, критического анализа, обобщения и систематизации научной информации в области квантовых и оптических технологий	Успешное и систематическое применение навыков поиска, критического анализа, обобщения и систематизации научной информации в области квантовых и оптических технологий
<i>ВЛАДЕТЬ:</i>	Отсутствие навыков	Фрагментарное применение навыков	В целом успешное, но не систематическое	В целом успешное, но содержащее отдельные	Успешное и систематическое применение

<p>навыками анализа методологических проблем, возникающих при планировании, организации и решении конкретных исследовательских задач в области квантовых и оптических технологий (ВЗ, СПК-3).</p>		<p>анализа методологических проблем, возникающих при планировании, организации и решении конкретных исследовательских задач в области квантовых и оптических технологий</p>	<p>применение навыков анализа методологических проблем, возникающих при планировании, организации и решении конкретных исследовательских задач в области квантовых и оптических технологий</p>	<p>пробелы применение навыков анализа методологических проблем, возникающих при планировании, организации и решении конкретных исследовательских задач в области квантовых и оптических технологий</p>	<p>навыков анализа методологических проблем, возникающих при планировании, организации и решении конкретных исследовательских задач в области квантовых и оптических технологий</p>
<p><i>УМЕТЬ:</i> анализировать альтернативные варианты решения исследовательских задач в области 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 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 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 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 квантовых и оптических технологий и оценивать потенциальные выигрыши/проигрыши реализации этих вариантов</p>

<p><i>УМЕТЬ:</i></p> <p>осуществлять поиск, критический анализ, обобщать и систематизировать научную информацию в области 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 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 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 квантовых и оптических технологий</p>	<p>Успешное и систематическое проявление умения осуществлять поиск, критический анализ, обобщать и систематизировать научную информацию в области квантовых и оптических технологий</p>
<p><i>УМЕТЬ:</i></p> <p>организовывать и планировать исследования, ставить конкретные задачи научных исследований в области 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 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 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 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 квантовых и оптических технологий, и решать их с помощью современной аппаратуры и оборудования</p>

<p><i>ЗНАТЬ:</i></p> <p>методы анализа и оценки современных научных достижений, а также методы генерирования новой физической информации при решении исследовательских и практических задач в области 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 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 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 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 квантовых и оптических технологий</p>
<p><i>ЗНАТЬ:</i></p> <p>способы критического анализа и систематизации научной информации при решении исследовательских задач в области 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 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 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 квантовых и оптических технологий</p>	<p>Успешное и систематическое проявление знаний способов критического анализа и систематизации научной информации при решении исследовательских задач в области квантовых и оптических технологий</p>

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

## 9. Перечень основной и дополнительной учебной литературы

### Основная литература:

1. Оптика наноструктур / Под редакцией А. В. Федорова – СПб «Недра», 2005. 326 с.
2. Л. Новотный, Б. Хехт, Основы нанооптики / Пер. с англ. под ред. В. В. Самарцева – М.: Физматлит, 2009. 484 с.
3. И.П. Суздалев. Физикохимия нанокластеров, наноструктур и наноматериалов / М.: КомКнига, 2014. 592 с.
4. П. К. Кашкаров, В. Ю. Тимошенко, Оптика твердого тела и систем пониженной размерности / М.: Издательство физического ф-та МГУ, 2009. 188 с.
5. Н.Б. Брандт, В.А. Кульбачинский, Квазичастицы в физике конденсированного состояния / М.: Физматлит, 2005. 396 с.
6. М. Fox, Optical properties of solids, 2nd ed. / Oxford University Press, 2010. 396 p.
7. А.А. Ищенко, Г.В. Фетисов, Л.А. Асланов, Нанокремний: свойства, получение, применение, методы исследования и контроля / М.: Физматлит, 2011. 647 с.

### Дополнительная литература:

1. Ч.Пул, Ф.Оуэнс, Нанотехнологии / М.: Техносфера, 2005. 336 с.

2. Understanding Carbon Nanotubes, A. Loiseau, P. Launois-Bernede, P. Petit, S. Roche, J.-P. Salvetat (Eds.) – Springer, 2006. 552 p.
3. Г.Н. Чурилов, Н.Г. Внукова, Г.А. Глущенко, И.В. Осипова, Наноматериалы и нанотехнологии / Конспект лекций. – Красноярск: СФУ, 2007. 119 с.

#### **10. Перечень ресурсов Интернет необходимых для освоения дисциплины:**

- Сайт нанотехнологического сообщества «Нанометр», <http://www.nanometer.ru/>

#### **11. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины**

Для освоения дисциплины необходимо посещение интерактивных занятий и регулярная самостоятельная работа в течение семестра.

#### **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 используются средства дистанционного сопровождения учебного процесса. 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.