

**Федеральное государственное автономное образовательное
учреждение высшего образования
«Московский физико-технический институт
(национальный исследовательский университет)»**

УТВЕРЖДЕНО

**и.о. директора физтех-школы
физики и исследований им.
Ландау**

А.А. Воронов

Рабочая программа дисциплины (модуля)

по дисциплине:	Актуальные проблемы нанооптики
по направлению:	Прикладные математика и физика
профиль подготовки:	Общая и прикладная физика Физтех-школа физики и исследований им. Ландау кафедра квантовой радиофизики
курс:	2
квалификация:	магистр

Семестр, формы промежуточной аттестации: 3 (осенний) - Дифференцированный зачет

Аудиторных часов: 30 всего, в том числе:

лекции: 0 час.

семинары: 30 час.

лабораторные занятия: 0 час.

Самостоятельная работа: 15 час.

Всего часов: 45, всего зач. ед.: 1

Программу составил: В.С. Лебедев, д-р физ.-мат. наук, старший научный сотрудник

Программа обсуждена на заседании кафедры квантовой радиофизики 30.03.2020

Аннотация

Дисциплина предназначена для студентов, владеющих базовыми знаниями в области квантовой механики, физики наноструктур, физической и квантовой оптики. Программа курса включает следующие основные разделы: основы субволновой оптики и микроскопии ближнего поля, основы теории поглощения и рассеяния света малыми частицами, оптика гибридных двухслойных и трехслойных наночастиц металл/диэлектрик и металл/полупроводник, эффекты плазмон-экситонного взаимодействия, оптические свойства полупроводниковых квантовых точек и квантовых ям, органические и гибридные светоизлучающие диоды. В результате овладения дисциплиной обучающийся получит базовые знания в области нанооптики и современной фотоники.

1. Цели и задачи

Цель дисциплины

формирование базовых знаний в интенсивно развивающейся области нанофотоники для дальнейшего использования в других областях физического знания и дисциплинах естественнонаучного содержания; формирование культуры в области современной оптики, нанофизики и нанотехнологии, исследовательских навыков и способности применять знания на практике.

Задачи дисциплины

- формирование у обучающихся базовых знаний по нанооптике;
- формирование общефизической культуры в области современной фотоники: умение ориентироваться в современных направлениях нанофизики и нанотехнологии;
- формирование знаний об основных монографиях и ключевых обзорных статьях по дисциплине;
- формирование самостоятельных умений и навыков подбирать современную научную литературу по предмету.

2. Перечень формируемых компетенций

Освоение дисциплины направлено на формирование следующих компетенций:

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
УК-1 Способен осуществлять критический анализ проблемных ситуаций на основе системного подхода, вырабатывать стратегию действий	УК-1.1 Анализирует проблемную ситуацию как систему, выявляя ее составляющие и связи между ними
	УК-1.2 Осуществляет поиск вариантов решения поставленной проблемной ситуации на основе доступных источников информации
УК-4 Способен применять современные коммуникативные технологии, в том числе на иностранном(ых) языке(ах), для академического и профессионального взаимодействия	УК-4.1 Способен вести обмен деловой информацией в устной и письменной формах на государственном языке Российской Федерации и не менее чем на одном иностранном языке
	УК-4.3 Способен представлять результаты академической и профессиональной деятельности на различных научных мероприятиях, включая международные
	УК-4.4 Способен использовать современные средства информационно-коммуникационных технологий для академического и профессионального взаимодействия
ОПК-1 Владеет системой фундаментальных научных знаний в области физико-математических наук	ОПК-1.1 Знает и способен использовать в профессиональной деятельности фундаментальные научные знания в области физико-математических наук
	ОПК-1.2 Способен обобщать и критически оценивать опыт и результаты научных исследований в области профессиональной деятельности
	ОПК-1.3 Понимает междисциплинарные связи в области математики и физики и способен их применять при решении задач профессиональной деятельности

ОПК-2 Имеет представление об актуальных проблемах науки и техники в области своей профессиональной деятельности, способен на научном языке формулировать профессиональные задачи	ОПК-2.1 Имеет представление о современном состоянии исследований в рамках тематической области своей профессиональной деятельности
	ОПК-2.2 Способен оценивать актуальность исследований в области своей профессиональной деятельности и их практическую значимость
	ОПК-2.3 Владеет профессиональной терминологией, используемой в современной научно-технической литературе, обладает навыками устного и письменного изложения результатов научной деятельности в рамках профессиональной коммуникации
ОПК-3 Способен выбирать и (или) разрабатывать подходы к решению типовых и новых задач в области профессиональной деятельности, учитывая особенности и ограничения различных методов решения	ОПК-3.1 Способен анализировать задачу, планировать пути решения, предлагать и комбинировать способы решения
	ОПК-3.2 Способен использовать исследовательские методы при решении новых задач, применяя знания в различных областях науки (техники)
	ОПК-3.3 Владеет аналитическими и вычислительными методами решения, понимает и учитывает на практике границы применимости получаемых решений
ОПК-4 Способен успешно реализовывать решение поставленной задачи, провести анализ результата и представить выводы, применяя знания и навыки в области физико-математических наук и информационно-коммуникационных технологий	ОПК-4.1 Способен применять знания и навыки по использованию информационно-коммуникационных технологий для поиска и изучения научной литературы, применения прикладных программных продуктов
	ОПК-4.2 Способен применять знания в области физико-математических наук для решения поставленной задачи, формулирования выводов и оценки полученных результатов
	ОПК-4.3 Способен аргументировано выбирать способ проведения научного исследования
ОПК-5 Способен и готов к повышению квалификации, профессиональному росту и руководству коллективом в сфере своей профессиональной деятельности, толерантно воспринимая социальные, этнические, конфессиональные и культурные различия	ОПК-5.1 Способен работать в коллективе, толерантно воспринимая социальные, этнические, конфессиональные и культурные различия
	ОПК-5.3 Стремится к получению новых знаний, профессиональному и личностному росту
ПК-1 Способен ставить, формализовывать и решать задачи, в том числе разрабатывать и исследовать математические модели изучаемых явлений и процессов, системно анализировать научные проблемы, получать новые научные результаты	ПК-1.1 Способен находить, анализировать и обобщать информацию об актуальных результатах исследований в рамках тематической области своей профессиональной деятельности
	ПК-1.2 Способен выдвигать гипотезы, строить математические модели для описания изучаемых явлений и процессов, оценивать качество разработанной модели
	ПК-1.3 Способен применять теоретические и (или) экспериментальные методы исследований к конкретной научной задаче и интерпретировать полученные результаты
ПК-2 Способен самостоятельно или в качестве члена (руководителя) малого коллектива организовывать и проводить научные исследования и их апробацию	ПК-2.2 Способен проводить апробацию результатов научно-исследовательской работы посредством публикации научных статей и участия в конференциях

3. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны знать:

- специфические свойства электромагнитных полей, локализованных на нанометровых масштабах, способы их создания и детектирования;
- основы теории прохождения света через субволновое отверстие в металлическом экране, в том числе формулу Бете;
- особенности прохождения света через металлизированные оптоволоконные нановолноводы и цилиндрические субволновые каналы в металле;
- эффект Эбесена для дифракции световых волн на периодической системе нанометровых дырок в металлической пленке;
- поведение электромагнитного поля в конусе с идеально проводящими стенками;
- принципы функционирования микроскопов ближнего поля апертурного и рассеивающего типов;
- основные результаты теории Ми для однородного шара и ее обобщение на случай многослойных concentрических сфер;
- аналитические решения для шара в квазистатическом приближении;
- структуру и свойств металлических наночастиц и кластеров, а также коллоидных полупроводниковых квантовых точек и квантовых ям;
- вид локальной диэлектрической функции благородных металлов с учетом вкладов свободных и связанных электронов;
- основные свойства локализованных поверхностных плазмонов;
- причины размерных эффектов в металлических наночастицах;
- вид спектров поглощения света металлическими наноболочками с диэлектрическим (полупроводниковым) ядром;
- оптические свойства молекулярных J-агрегатов органических красителей;
- характер спектров поглощения и рассеяния света двухслойными и трехслойными наночастицами с металлическим ядром и внешней J-агрегатной оболочкой;
- физическую основу взаимодействия экситонов Френкеля с дипольными и мультипольными плазмонами в режимах слабой и сильной связи;
- основные компоненты устройства и принцип функционирования OLED;
- процессы и основные механизмы электролюминесценции, в том числе Ферстеровский механизм переноса энергии экситонного возбуждения от органических молекул в транспортных слоях диода квантовых точек;
- специфику органических светодиодов на квантовых точках (QD-OLED).

уметь:

- выписать формулы для поля электрического диполя в ближней и дальней зонах;
- привести конкретные примеры эванесцентных полей и прокомментировать основные принципы и способы их создания и детектирования;
- дать качественное и количественное объяснение эффекту отсечки волн в цилиндрических волноводах;
- объяснить особенности поведения световых волн в сужающихся оптических зондах ближнего поля;
- прокомментировать основные результаты теории Ми для поглощения и рассеяния света однородным шаром малого радиуса;
- объяснить физические принципы управления оптическими свойствами гибридных наночастиц;
- привести простую формулу для описания положений энергетических уровней в полупроводниковых квантовых точках;
- объяснить принципы действия органических светоизлучающих диодов (OLED) и гибридных светодиодов на квантовых точках (QD-OLED).

владеть:

- методами описания пропускания световых волн через субволновое отверстие в идеально-проводящем экране;
- аналитическими подходами для расчета прохождения волн через цилиндрические волноводы и сужающиеся оптические зонды ближнего поля;
- основами математического аппарата теории поглощения и рассеяния света малыми частицами;
- простыми аналитическими способами описания структуры энергетических уровней в квантовых точках;
- способом расчета положений локализованных плазмонных резонансов в сферических металлических наночастицах различного порядка мультипольности.

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

4.1. Разделы дисциплины (модуля) и трудоемкости по видам учебных занятий

№	Тема (раздел) дисциплины	Трудоемкость по видам учебных занятий, включая самостоятельную работу, час.			
		Лекции	Семинары	Лаборат. работы	Самост. работа
1	Основы субволновой оптики и микроскопии ближнего поля.		5		2
2	Основы теории поглощения и рассеяния света малыми частицами.		5		2
3	Структура и свойства металлических наночастиц и кластеров. Локализованные поверхностные плазмоны.		5		3
4	Оптика гибридных двухслойных и трехслойных наночастиц металл/диэлектрик и металл/полупроводник. Эффекты плазмон-экситонного взаимодействия.		5		3
5	Структура и оптические свойства полупроводниковых квантовых точек и квантовых ям.		5		2
6	Органические и гибридные светоизлучающие диоды.		5		3
Итого часов			30		15
Подготовка к экзамену		0 час.			
Общая трудоёмкость		45 час., 1 зач.ед.			

4.2. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам)

Семестр: 3 (Осенний)

1. Основы субволновой оптики и микроскопии ближнего поля.

- Локализованные оптические поля. Примеры эванесцентных полей. Способы создания и детектирования.
- Поле электрического диполя в ближней и дальней зонах.
- Прохождение света через субволновое отверстие в металлическом экране. Плотность энергии поля в ближней зоне. Поток энергии в дальнюю зону. Формула Бете. Комплексный поток.
- Прохождение света через металлизированные оптоволоконные нановолноводы и цилиндрические субволновые каналы в металле. ТМ- и ТЕ-моды. Эффект отсечки.
- Электромагнитные поля в конусе с идеально проводящими стенками.
- Сужающиеся оптические зонды ближнего поля и конвертеры для преобразования излучения в локализованные световые поля. Принцип действия и применения. Коэффициенты пропускания в ближнюю и дальнюю зоны.
- Полупроводниковые оптические нановолноводы с металлическим покрытием.
- Плазмонные нановолноводы.

- Дифракция световых волн на периодической системе нанометровых дырок в металлической пленке. Эффект Эббесена.
- Микроскопы ближнего поля апертурного и рассеивающего типов.

2. Основы теории поглощения и рассеяния света малыми частицами.

- Теория Ми для однородного шара. Вклады ТМ и ТЕ мод различного порядка мультипольности в сечения поглощения и рассеяния света.
- Обобщение теории на случай многослойных концентрических сфер.
- Квазистатическое приближение. Аналитические решения для шара и сфероида.
- Моды шепчущей галереи в диэлектрическом и полупроводниковом шарах.
- Полное сечение экстинкции. Конкуренция процессов поглощения и рассеяния света.

3. Структура и свойства металлических наночастиц и кластеров. Локализованные поверхностные плазмоны.

- Теоретические подходы и методы описания электронной структуры и свойств наночастиц и кластеров.
- Электронная структура металлических кластеров.
- Локальная диэлектрическая функция благородных металлов: вклад свободных и связанных электронов.
- Локализованные поверхностные плазмоны. Дипольные и мультипольные резонансы. Частота Фрелиха.
- Размерные и нелокальные эффекты в металлических наночастицах.

4. Оптика гибридных двухслойных и трехслойных наночастиц металл/диэлектрик и металл/полупроводник. Эффекты плазмон-экситонного взаимодействия.

- Металлические нанооболочки с диэлектрическим (полупроводниковым) ядром.
- Приложения к медицине и разработке эффективных фотовольтаических элементов.
- Молекулярные J-агрегаты органических красителей. Диэлектрические свойства и спектральные характеристики. Экситоны Френкеля.
- Двухслойные и трехслойные частицы с металлическим ядром и внешней J-агрегатной оболочкой.
- Аналитическая модель для частот гибридных мод композитной системы.
- Металлические нанооболочки, покрытые J-агрегатами красителей.
- Взаимодействие экситонов Френкеля с дипольными и мультипольными плазмонами. Режимы слабой и сильной связи.
- Эффекты формы и размера.
- Управление оптическими свойствами гибридных наносистем.

5. Структура и оптические свойства полупроводниковых квантовых точек и квантовых ям.

- Квантоворазмерные эффекты.
- Электронная структура.
- Спектры поглощения и фотолюминесценции квантовых точек.
- Гибридные квантовые точки “ядро-оболочка” сферической и сложной формы (нанотетраподы).
- Спектроскопия квантовых ям.

6. Органические и гибридные светоизлучающие диоды.

- Основные компоненты устройства. Принцип функционирования OLED.
- Процессы и механизмы электролюминесценции.
- Ферстеровский механизм переноса энергии экситонного возбуждения от органических молекул в транспортных слоях диода квантовым точкам.

- Специфика органических светодиодов на квантовых точках (QD-OLED).
- Электрофизические параметры и излучательные характеристики OLED.

5. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине (модулю)

Учебная аудитория, доска, медиапроектор, экран.

6. Перечень рекомендуемой литературы

Основная литература

1. Основы нанооптики [Текст] / Л. Новотный, Б. Хехт ; пер. с англ. А. А. Коновко, О. А. Шутовой ; под ред. В. В. Самарцева - М. Физматлит, 2009, 2011
2. Наноплазмоника [Текст] / В. В. Климов, - М., Физматлит, 2010
3. D. W. Pohl, Optics at the nanometre scale, Phil. Trans. R. Soc. Lond. A, Vol. 362, pp. 701–717 (2004).
4. Nanophotonics and Nanofabrication, edited by M. Ohtsu, Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim, 2009.
5. Nanophotonics with surface plasmons, edited by V.M. Shalaev and S. Kawata, Elsevier, Amsterdam, First edition, 2007.
6. В.С. Лебедев, Т.И. Кузнецова. Преобразование оптического излучения в поля субволновых масштабов в конусообразных полупроводниковых волноводах. В кн.: «Оптическая спектроскопия и стандарты частоты» под редакцией Е.А. Виноградова и Л.Н. Сеницы, Том 3, Глава 2, Раздел 2.6, сс. 331-356, Издательство института оптики атмосферы СО РАН, Томск 2009.
7. Т.И. Кузнецова, В.С. Лебедев. Прохождение световых волн через наноапертуру цилиндрического волновода. В кн.: «Оптическая спектроскопия и стандарты частоты» под редакцией Е.А. Виноградова и Л.Н. Сеницы, Том 3, Глава 2, Раздел 2.7, сс. 356-400, Издательство института оптики атмосферы СО РАН, Томск 2009.
8. В.И. Ролдугин, Квантоворазмерные металлические коллоидные системы, Успехи химии, Том 69, № 10, сс. 899-923 (2000).
9. W.A. de Heer, The physics of simple metal clusters: experimental aspects and simple models, Rev. Mod. Phys., Vol. 65, № 3, pp. 611-676 (1993).
10. Р.Б. Васильев, Д.Н. Дирин, А.М. Гаськов, Полупроводниковые наночастицы с пространственным разделением носителей заряда: синтез и оптические свойства, Успехи химии, Том 80, № 12, сс. 1190-1210 (2011).
11. D. Bera, L. Qian, T.-K. Tseng, P.H. Holloway, Quantum Dots and Their Multimodal Applications: A Review, Materials, Vol. 3, pp. 2260-2345 (2010).
12. Б.И. Шапиро, “Блочное строительство” агрегатов полиметиновых красителей, Российские нанотехнологии, Том 3, № 3-4, сс. 72-83 (2008).
13. М.Н. Бочкарев, А.Г. Витухновский, М.А. Каткова, Органические светоизлучающие диоды (OLED). – Н. Новгород: ДЕКОМ, 2011. – 364 с.
14. А.Н. Ораевский, Спонтанное излучение в резонаторе, Успехи физических наук, Том 164, № 4, сс. 415-427 (1994).
15. J.S. Biteen, L.A. Sweatlock, H. Mertens, N.S. Lewis, A. Polman, H.A. Atwater, Plasmon-Enhanced Photoluminescence of Silicon Quantum Dots: Simulation and Experiment, J. Phys. Chem. C, Vol. 111, pp. 13372-13377 (2007).
16. К.К. Пучов, Т.Т. Басиев, Ю.В. Орловский, Спонтанное излучение в диэлектрических наночастицах, Письма в ЖЭТФ, Том 88, № 1, сс. 14-20 (2008).

Дополнительная литература

1. А.К. Сарычев, В.М. Шалаев, Электродинамика метаматериалов, М: Научный мир, 2011.
2. B. Hecht, B. Sick, U.P. Wild, V. Deckert, R. Zenobi, O.J.F. Martin, D.W. Pohl, Scanning near-field optical microscopy with aperture probes: Fundamentals and applications, J. Chem. Phys., Vol. 112, pp. 7761-7774 (2000).
3. W. Barnes, Surface plasmon–polariton length scales: a route to sub-wavelength optics, J. Opt. A: Pure Appl. Opt., Vol. 8, p. S87 (2006).
4. T.I. Kuznetsova, V.S. Lebedev, Complex Flow and Reflection of the Evanescent Waves From a Nanometer-Sized Hole in a Cylindrical Waveguide, Phys. Rev. E, Vol. 78, 016607-15 (2008).
5. Т.И. Кузнецова, В.С. Лебедев. Локализация световой энергии на нанометровых масштабах в кремниевом конусе. Письма в ЖЭТФ, Том. 79, № 2, сс. 70-74 (2004).
6. T.I. Kuznetsova, V.S. Lebedev, Transmission of Visible and Near-Infrared Radiation Through a Near-Field Silicon Probe, Phys. Rev. B, Vol. 70, № 3, 035107, pp. 1-12 (2004).
7. S.K. Sekatskii, Fluorescence resonance energy transfer scanning near-field optical microscopy, Phil. Trans. R. Soc. Lond. A, Vol. 362, pp. 901–919 (2004).
8. J. R. Krenn, J.-C. Weeber, Surface plasmon polaritons in metal stripes and wires, Phil. Trans. R. Soc. Lond. A, Vol. 362, pp. 739–756 (2004).
9. A. Hartschuh, M.R. Beversluis, A. Bouhelier, L. Novotny, Tip-enhanced optical spectroscopy, Phil. Trans. R. Soc. Lond. A, Vol. 362, pp. 807–819 (2004).
10. B. Hecht, Nano-optics with single quantum systems, Phil. Trans. R. Soc. Lond. A, Vol. 362, pp. 881–899 (2004).
11. P. Lodahl, A. F. van Driel, I.S. Nikolaev, A. Irman, K. Overgaag, D. Vanmaekelbergh, W.L. Vos, Controlling the dynamics of spontaneous emission from quantum dots by photonic crystals, Nature, Vol. 430, pp. 654-657 (2004).
12. Photonic Bandgaps and Localization, Ed. C.M. Soukoulis, Plenum Press, New York 1993.
13. Confined Electrons and Photons: New Physics and Applications, Eds. E. Burstein, C. Weisbuch, Plenum Press, New York 1995.
14. V.P. Bykov, Radiation of Atoms in a Resonant Environment, World Scientific, Singapore 1993.
15. S.J. Oldenburg, R.D. Averitt, S.L. Westcott, N.J. Halas. Nanoengineering of optical resonances, Chem. Phys. Lett., Vol. 288, p. 243 (1998).
16. J.M. Steele, N.K. Grady, P. Nordlander, N.J. Halas. Plasmon hybridization in complex nanostructures, in: Surface Plasmon Nanophotonics, Springer Series in Optical Sciences, Vol. 131, p. 183 (2007).
17. N.T. Fofang, T.-H. Park, O. Neumann, N.A. Mirin, P. Nordlander, N. Halas, Plexcitonic Nanoparticles: Plasmon-Exciton Coupling in Nanoshell–J-Aggregate Complexes, Nano Lett., Vol. 8, p. 3481 (2008).
18. В.С. Лебедев, А.С. Медведев, Эффекты плазмон-экситонного взаимодействия при поглощении и рассеянии света двухслойными наночастицами металл/J-агрегат, Квантовая электроника, Том 42, № 8, сс. 701-713 (2012).
19. А.А. Ващенко, В.С. Лебедев, А.Г. Витухновский, Р.Б. Васильев, И.Г. Саматов. Электролюминесценция квантовых точек CdSe/CdS и перенос энергии экситонного возбуждения в органическом светоизлучающем диоде, Письма в ЖЭТФ, Том 96, сс. 118-122 (2012).
20. N.I. Zheludev, Single nanoparticle as photonic switch and optical memory element, J. Opt. A: Pure Appl. Opt., Vol. 8, pp. S1-S8 (2006).
21. В.П. Крайнов, М.Б. Смирнов, Эволюция больших кластеров под действием ультракороткого сверхмощного лазерного импульса, Успехи физических наук, Том 170, № 9, сс. 969-990 (2000).

7. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети "Интернет", необходимых для освоения дисциплины (модуля)

Не используются

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

- На лекционных занятиях используются мультимедийные технологии, включая демонстрацию презентаций. Поэтому необходим компьютер и медиапроектор.
- В процессе самостоятельной работы обучающихся возможно использование таких программных средств, как Mathematica, Matlab, Mathcad и др.

9. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины (модуля)

Студент, изучающий дисциплину, должен с одной стороны, овладеть общим понятийным аппаратом, а с другой стороны, должен научиться применять теоретические знания на практике. В результате изучения дисциплины студент должен знать основные определения дисциплины, уметь применять полученные знания для решения различных задач.

Успешное освоение курса требует напряжённой самостоятельной работы студента в соответствии с данными в рабочей программе. Самостоятельная работа включает в себя:

- чтение рекомендованной литературы;
- проработку учебного материала, подготовку ответов на вопросы, предназначенных для самостоятельного изучения;
- решение задач, предлагаемых студентам на лекциях и практических занятиях;
- при необходимости подготовку к практическим занятиям, коллоквиумам, дифференцированному зачету.

Показателем владения материалом служит умение решать задачи. Для формирования умения применять знания на практике студенту необходимо решать как можно больше задач.

Важно добиться понимания изучаемого материала, а не механического его запоминания. При затруднении изучения отдельных тем, вопросов, следует обращаться за консультациями к преподавателю, ведущему практические занятия.

Возможен промежуточный контроль знаний студентов в виде решения задач в соответствии с тематикой занятий.

ПРИЛОЖЕНИЕ

ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)

по направлению:	Прикладные математика и физика
профиль подготовки:	Общая и прикладная физика Физтех-школа физики и исследований им. Ландау кафедра квантовой радиофизики
курс:	<u>2</u>
квалификация:	магистр
Семестр, формы промежуточной аттестации: 3 (осенний) - Дифференцированный зачет	
Разработчик:	В.С. Лебедев, д-р физ.-мат. наук, старший научный сотрудник

1. Компетенции, формируемые в процессе изучения дисциплины

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
УК-1 Способен осуществлять критический анализ проблемных ситуаций на основе системного подхода, вырабатывать стратегию действий	УК-1.1 Анализирует проблемную ситуацию как систему, выявляя ее составляющие и связи между ними
	УК-1.2 Осуществляет поиск вариантов решения поставленной проблемной ситуации на основе доступных источников информации
УК-4 Способен применять современные коммуникативные технологии, в том числе на иностранном(ых) языке(ах), для академического и профессионального взаимодействия	УК-4.1 Способен вести обмен деловой информацией в устной и письменной формах на государственном языке Российской Федерации и не менее чем на одном иностранном языке
	УК-4.3 Способен представлять результаты академической и профессиональной деятельности на различных научных мероприятиях, включая международные
	УК-4.4 Способен использовать современные средства информационно-коммуникационных технологий для академического и профессионального взаимодействия
ОПК-1 Владеет системой фундаментальных научных знаний в области физико-математических наук	ОПК-1.1 Знает и способен использовать в профессиональной деятельности фундаментальные научные знания в области физико-математических наук
	ОПК-1.2 Способен обобщать и критически оценивать опыт и результаты научных исследований в области профессиональной деятельности
	ОПК-1.3 Понимает междисциплинарные связи в области математики и физики и способен их применять при решении задач профессиональной деятельности
ОПК-2 Имеет представление об актуальных проблемах науки и техники в области своей профессиональной деятельности, способен на научном языке формулировать профессиональные задачи	ОПК-2.1 Имеет представление о современном состоянии исследований в рамках тематической области своей профессиональной деятельности
	ОПК-2.2 Способен оценивать актуальность исследований в области своей профессиональной деятельности и их практическую значимость
	ОПК-2.3 Владеет профессиональной терминологией, используемой в современной научно-технической литературе, обладает навыками устного и письменного изложения результатов научной деятельности в рамках профессиональной коммуникации
ОПК-3 Способен выбирать и (или) разрабатывать подходы к решению типовых и новых задач в области профессиональной деятельности, учитывая особенности и ограничения различных методов решения	ОПК-3.1 Способен анализировать задачу, планировать пути решения, предлагать и комбинировать способы решения
	ОПК-3.2 Способен использовать исследовательские методы при решении новых задач, применяя знания в различных областях науки (техники)
	ОПК-3.3 Владеет аналитическими и вычислительными методами решения, понимает и учитывает на практике границы применимости получаемых решений
ОПК-4 Способен успешно реализовывать решение поставленной задачи, провести анализ результата и представить выводы, применяя знания и навыки в области физико-математических наук и информационно-коммуникационных технологий	ОПК-4.1 Способен применять знания и навыки по использованию информационно-коммуникационных технологий для поиска и изучения научной литературы, применения прикладных программных продуктов
	ОПК-4.2 Способен применять знания в области физико-математических наук для решения поставленной задачи, формулирования выводов и оценки полученных результатов
	ОПК-4.3 Способен аргументировано выбирать способ проведения научного исследования

ОПК-5 Способен и готов к повышению квалификации, профессиональному росту и руководству коллективом в сфере своей профессиональной деятельности, толерантно воспринимая социальные, этнические, конфессиональные и культурные различия	ОПК-5.1 Способен работать в коллективе, толерантно воспринимая социальные, этнические, конфессиональные и культурные различия
	ОПК-5.3 Стремится к получению новых знаний, профессиональному и личностному росту
ПК-1 Способен ставить, формализовывать и решать задачи, в том числе разрабатывать и исследовать математические модели изучаемых явлений и процессов, системно анализировать научные проблемы, получать новые научные результаты	ПК-1.1 Способен находить, анализировать и обобщать информацию об актуальных результатах исследований в рамках тематической области своей профессиональной деятельности
	ПК-1.2 Способен выдвигать гипотезы, строить математические модели для описания изучаемых явлений и процессов, оценивать качество разработанной модели
	ПК-1.3 Способен применять теоретические и (или) экспериментальные методы исследований к конкретной научной задаче и интерпретировать полученные результаты
ПК-2 Способен самостоятельно или в качестве члена (руководителя) малого коллектива организовывать и проводить научные исследования и их апробацию	ПК-2.2 Способен проводить апробацию результатов научно-исследовательской работы посредством публикации научных статей и участия в конференциях

2. Показатели оценивания компетенций

В результате изучения дисциплины «Актуальные проблемы нанооптики» обучающийся должен:

знать:

- специфические свойства электромагнитных полей, локализованных на нанометровых масштабах, способы их создания и детектирования;
- основы теории прохождения света через субволновое отверстие в металлическом экране, в том числе формулу Бете;
- особенности прохождения света через металлизированные оптоволоконные нановолноводы и цилиндрические субволновые каналы в металле;
- эффект Эбесена для дифракции световых волн на периодической системе нанометровых дырок в металлической пленке;
- поведение электромагнитного поля в конусе с идеально проводящими стенками;
- принципы функционирования микроскопов ближнего поля апертурного и рассеивающего типов;
- основные результаты теории Ми для однородного шара и ее обобщение на случай многослойных concentрических сфер;
- аналитические решения для шара в квазистатическом приближении;
- структуру и свойств металлических наночастиц и кластеров, а также коллоидных полупроводниковых квантовых точек и квантовых ям;
- вид локальной диэлектрической функции благородных металлов с учетом вкладов свободных и связанных электронов;
- основные свойства локализованных поверхностных плазмонов;
- причины размерных эффектов в металлических наночастицах;
- вид спектров поглощения света металлическими наноболочками с диэлектрическим (полупроводниковым) ядром;
- оптические свойства молекулярных J-агрегатов органических красителей;
- характер спектров поглощения и рассеяния света двухслойными и трехслойными наночастицами с металлическим ядром и внешней J-агрегатной оболочкой;
- физическую основу взаимодействия экситонов Френкеля с дипольными и мультипольными плазмонами в режимах слабой и сильной связи;
- основные компоненты устройства и принцип функционирования OLED;
- процессы и основные механизмы электролюминесценции, в том числе Ферстеровский механизм переноса энергии экситонного возбуждения от органических молекул в транспортных слоях диода квантовым точкам;
- специфику органических светодиодов на квантовых точках (QD-OLED).

уметь:

- выписать формулы для поля электрического диполя в ближней и дальней зонах;
- привести конкретные примеры эванесцентных полей и прокомментировать основные принципы и способы их создания и детектирования;
- дать качественное и количественное объяснение эффекту отсечки волн в цилиндрических волноводах;
- объяснить особенности поведения световых волн в сужающихся оптических зондах ближнего поля;
- прокомментировать основные результаты теории Ми для поглощения и рассеяния света однородным шаром малого радиуса;
- объяснить физические принципы управления оптическими свойствами гибридных наночастиц;
- привести простую формулу для описания положений энергетических уровней в полупроводниковых квантовых точках;
- объяснить принципы действия органических светоизлучающих диодов (OLED) и гибридных светодиодов на квантовых точках (QD-OLED).

владеть:

- методами описания пропускания световых волн через субволновое отверстие в идеально-проводящем экране;
- аналитическими подходами для расчета прохождения волн через цилиндрические волноводы и сужающиеся оптические зонды ближнего поля;
- основами математического аппарата теории поглощения и рассеяния света малыми частицами;
- простыми аналитическими способами описания структуры энергетических уровней в квантовых точках;
- способом расчета положений локализованных плазмонных резонансов в сферических металлических наночастицах различного порядка мультипольности.

3. Перечень типовых (примерных) вопросов, заданий, тем для подготовки к текущему контролю

Не предусмотрено.

4. Перечень типовых (примерных) вопросов и тем для проведения промежуточной аттестации обучающихся

- Локализованные оптические поля. Примеры эванесцентных полей. Способы создания и детектирования.
- Поле электрического диполя в ближней и дальней зонах.
- Прохождение света через субволновое отверстие в металлическом экране. Плотность энергии поля в ближней зоне. Поток энергии в дальнюю зону. Формула Бете. Комплексный поток.
- Прохождение света через металлизированные оптоволоконные нановолноводы и цилиндрические субволновые каналы в металле. ТМ- и ТЕ-моды. Эффект отсечки.
- Электромагнитные поля в конусе с идеально проводящими стенками.
- Сужающиеся оптические зонды ближнего поля и конвертеры для преобразования излучения в локализованные световые поля. Принцип действия и применения. Коэффициенты пропускания в ближнюю и дальнюю зоны.
- Полупроводниковые оптические нановолноводы с металлическим покрытием.
- Плазмонные нановолноводы.
- Дифракция световых волн на периодической системе нанометровых дырок в металлической пленке. Эффект Эббесена.
- Микроскопы ближнего поля апертурного и рассеивающего типов.
- Теоретические подходы и методы описания электронной структуры и свойств наночастиц и кластеров.
- Электронная структура металлических кластеров.
- Локальная диэлектрическая функция благородных металлов: вклад свободных и связанных электронов.
- Локализованные поверхностные плазмоны. Дипольные и мультипольные резонансы. Частота Фрелиха.

- Размерные и нелокальные эффекты в металлических наночастицах.
- Квантоворазмерные эффекты.
- Электронная структура.
- Спектры поглощения и фотолюминесценции квантовых точек.
- Гибридные квантовые точки “ядро-оболочка” сферической и сложной формы (нанотетраподы).
- Спектроскопия квантовых ям.

Критерии оценивания

Оценка отлично 10 баллов - выставляется студенту, показавшему всесторонние, систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины, проявляющему интерес к данной предметной области, продемонстрировавшему умение уверенно и творчески применять их на практике при решении конкретных задач, свободное и правильное обоснование принятых решений.

Оценка отлично 9 баллов - выставляется студенту, показавшему всесторонние, систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины и умение уверенно применять их на практике при решении конкретных задач, свободное и правильное обоснование принятых решений.

Оценка отлично 8 баллов - выставляется студенту, показавшему всесторонние, систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины и умение уверенно применять их на практике при решении конкретных задач, правильное обоснование принятых решений, с некоторыми недочетами.

Оценка хорошо 7 баллов - выставляется студенту, если он твердо знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но недостаточно грамотно обосновывает полученные результаты.

Оценка хорошо 6 баллов - выставляется студенту, если он твердо знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но допускает в ответе или в решении задач некоторые неточности.

Оценка хорошо 5 баллов - выставляется студенту, если он в основном знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но допускает в ответе или в решении задач достаточно большое количество неточностей.

Оценка удовлетворительно 4 балла - выставляется студенту, показавшему фрагментарный, разрозненный характер знаний, недостаточно правильные формулировки базовых понятий, нарушения логической последовательности в изложении программного материала, но при этом он освоил основные разделы учебной программы, необходимые для дальнейшего обучения, и может применять полученные знания по образцу в стандартной ситуации.

Оценка удовлетворительно 3 балла - выставляется студенту, показавшему фрагментарный, разрозненный характер знаний, допускающему ошибки в формулировках базовых понятий, нарушения логической последовательности в изложении программного материала, слабо владеет основными разделами учебной программы, необходимыми для дальнейшего обучения и с трудом применяет полученные знания даже в стандартной ситуации.

Оценка неудовлетворительно 2 балла - выставляется студенту, который не знает большей части основного содержания учебной программы дисциплины, допускает грубые ошибки в формулировках основных принципов и не умеет использовать полученные знания при решении типовых задач.

Оценка неудовлетворительно 1 балл - выставляется студенту, который не знает основного содержания учебной программы дисциплины, допускает грубейшие ошибки в формулировках базовых понятий дисциплины и вообще не имеет навыков решения типовых практических задач.

5. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности

Дифференцированный зачет проводится по билетам. В каждом билете представлено два теоретических вопроса. При проведении зачета обучающемуся предоставляется 30 минут на подготовку. Опрос обучающегося не должен превышать одного астрономического часа.