

**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**

	<b>Рабочая программа дисциплины (модуля)</b>
<b>по дисциплине:</b>	Основы оптики наноразмерных систем
<b>по направлению:</b>	Прикладные математика и физика
<b>профиль подготовки:</b>	Общая и прикладная физика Физтех-школа физики и исследований им. Ландау кафедра нанооптики и спектроскопии
<b>курс:</b>	1
<b>квалификация:</b>	магистр

Семестры, формы промежуточной аттестации:

1 (осенний) - Экзамен

2 (весенний) - Экзамен

Аудиторных часов: 60 всего, в том числе:

лекции: 60 час.

семинары: 0 час.

лабораторные занятия: 0 час.

Самостоятельная работа: 60 час.

Подготовка к экзамену: 60 час.

Всего часов: 180, всего зач. ед.: 4

Программу составил: Ю.Г. Вайнер, д-р физ.-мат. наук, профессор

Программа обсуждена на заседании кафедры нанооптики и спектроскопии 04.06.2020

## Аннотация

Целью курса "Основы оптики наноразмерных систем" является изложение основ физики и оптики наноразмерных систем и ознакомление студентов с последними достижениями в этой быстроразвивающейся области науки и перспективными применениями ее результатов. Курс начинается с краткого рассмотрения основных положений классической электродинамики и основ квантовой теории, без которых невозможно понимание излагаемого материала. В лекциях излагаются фундаментальные для нанооптики понятия и явления, такие как ближнее оптическое поле и эванесцентные волны, эффект Парселла, поверхностный и локализованный плазмонный резонанс, размерное квантование, и др.

В курсе излагается материал о различных интенсивно изучаемых нанообъектах, важных для нанофизики и нанотехнологий, таких как полупроводниковые квантовые точки, металлические плазмонные наночастицы, NV-центры в алмазе, апконвертирующие нанофосфоры и многие др. Большое внимание в курсе уделяется рассмотрению экспериментальных методов, широко используемых при изучении наночастиц и наноструктур. В частности, рассматриваются различные методы микроскопии: электронная, туннельная, атомно-силовая, ионная и др. Подробно изучаются принципы методов современной оптической микроскопии сверхвысокого пространственного разрешения. Отдельно излагаются основы спектроскопии одиночных молекул при низких температурах и её применения. В курсе уделяется специальное внимание рассмотрению нанообъектов биологической природы: вирусы, внутримолекулярные везикулы, экзомы и знакомству с методами их визуализации.

## 1. Цели и задачи

### Цель дисциплины

Целью курса является изложение основ оптики наноразмерных систем и ознакомление студентов с последними достижениями в этой области науки, а также с перспективными применениями ее результатов.

### Задачи дисциплины

Усвоение студентами основ оптики наночастиц и наноструктурированных объектов.

## 2. Перечень формируемых компетенций

Освоение дисциплины направлено на формирование следующих компетенций:

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
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-4.2 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
ПК-1 Способен ставить, формализовывать и решать задачи, в том числе разрабатывать и исследовать математические модели	ПК-1.1 Способен находить, анализировать и обобщать информацию об актуальных результатах исследований в рамках тематической области своей профессиональной деятельности

изучаемых явлений и процессов, системно анализировать научные проблемы, получать новые научные результаты	ПК-1.3 Способен применять теоретические и (или) экспериментальные методы исследований к конкретной научной задаче и интерпретировать полученные результаты
ПК-3 Способен профессионально работать с исследовательским и испытательным оборудованием (приборами и установками, специализированными пакетами прикладных программ) в избранной предметной области	ПК-3.1 Понимает принципы работы используемого оборудования (специализированных пакетов прикладных программ) ПК-3.3 Способен оценивать точность полученных экспериментальных (численных) результатов

### 3. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

знать:

физические основы и особенности оптических свойств наночастиц;  
 физические основы, преимущества и недостатки современных методов экспериментального исследования нанообъектов различной природы;  
 основные подходы и модели теоретического описания оптических свойств нанообъектов.

уметь:

применять полученные знания для постановки и проведения экспериментов для изучения оптических и спектральных свойств наночастиц и наноструктур различной природы;  
 интерпретировать и анализировать результаты проведенных экспериментов;  
 пользоваться современными компьютерными программами для обработки экспериментальных результатов.

владеть:

экспериментальными методами исследования оптических свойств нанообъектов различной природы;  
 навыками работы с современной научной литературой по актуальным вопросам нанооптики и нанофотоники;  
 методами теоретического моделирования оптических свойств наночастиц и их анализа с целью определения основных оптических констант и параметров изучаемых нанообъектов;  
 основными навыками представления своих результатов на семинарах, конференциях и написания научных статей.

### 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	Введение в нанооптику	3			3
2	Основные понятия классической электродинамики	4			4
3	Плазмоны в металлах. Плазмонный резонанс. Поверхностные плазмоны.	4			4
4	Плазмоны в наночастицах. Локализованные плазмонные возбуждения	4			4
5	Спонтанное излучение в микрорезонаторе Эффект Парселла	4			4
6	Точечные квантовые излучатели	4			4
7	Фотонные кристаллы и оптические микрорезонаторы	4			4

8	Оптическая микроскопия в ближнем и дальнем поле	3			3
9	Силы, вызываемые действием света	4			4
10	Флуктуационно-диссипативная теорема	4			4
11	Зондовая микроскопия. Атомно-силовая и туннельная микроскопия.	5			5
12	Электронная и ионная микроскопия	4			4
13	Микроскопия высокого и сверхвысокого пространственного разрешения.	5			5
14	Пространственная дисперсия и отрицательное преломление света	4			4
15	Нанооптика и наноструктуры биологической природы	4			4
Итого часов		60			60
Подготовка к экзамену		60 час.			
Общая трудоёмкость		180 час., 4 зач.ед.			

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

##### Семестр: 1 (Осенний)

##### 1. Введение в нанооптику

Что такое нанофизика и нанооптика, какие объекты и явления она изучает.

Что понимается под терминами нано- и мезообъекты, нано- и мезоструктуры.

Основные отличия физических и оптических свойств нанообъектов от свойств макроскопических тел и основные физические причины этого отличия.

##### 2. Основные понятия классической электродинамики

Макроскопическая электродинамика. Усреднение локальных полей в среде. Уравнения Максвелла. Материальные уравнения и граничные условия. Комплексная диэлектрическая проницаемость. Комплексный показатель преломления. Пространственная и временная дисперсии.

Излучение колеблющегося дипольного излучателя. Понятие ближнего и дальнего поля, основные свойства и отличия.

Монохроматические поля. Разложение электромагнитного поля в угловой спектр, пространственные частоты. Фурье оптика.

Полное внутреннее отражение. Нарушенное полное внутреннее отражение. Эванесцентные поля. Сдвиг Гуса-Хенхена. Запрещенный свет. Электродинамика с учетом векторного характера полей. Параксиальное приближение. Формализм функции Грина.

Гауссовы лазерные пучки, эрмитово-гауссовские и лаггеррово-гауссовские моды Продольные поля в фокальной плоскости.

##### 3. Плазмоны в металлах. Плазмонный резонанс. Поверхностные плазмоны.

Взаимодействие электронных возбуждений в металлах с электромагнитным излучением. Понятие объемного плазмона. Теория Друдэ-Зоммерфельда. Закон дисперсии плазмонных возбуждений на поверхности металла. Вклад межзонных переходов.

Поверхностный плазмонный резонанс. Возбуждение поверхностных плазмонов методом полного внутреннего отражения. Применения поверхностного плазмонного резонанса для аналитических целей. Микроскоп поверхностного плазмонного резонанса.

#### 4. Плазмоны в наночастицах. Локализованные плазмонные возбуждения

Локализованный плазмонный резонанс. Возбуждение плазмонов в металлических наносферах и наночастицах.

Применения локализованного плазмонного резонанса. Использование наночастиц из благородных металлов в качестве нанозондов. Наноантенны. Спазер. Безлинзовая микроскопия.

Поверхностные плазмоны и гигантское комбинационное рассеяние на шероховатостях поверхности и вблизи наночастиц благородных металлов (SERS- и TERS-спектроскопия).

#### 5. Спонтанное излучение в микрорезонаторе Эффект Парселла

Скорость спонтанной релаксации и время жизни в рамках классической электродинамики. Реакция излучения, радиационное затухание излучения электрического заряда или диполя. Ширина линии спонтанного излучения.

Скорость спонтанной релаксации и время жизни в рамках квантовой электродинамики. Взаимодействие с континуумом электромагнитных мод. Локальная плотность состояний. Золотое правило Ферми.

Случай однородного и неоднородного окружения. Сила осциллятора и квантовый выход. Спонтанное излучение элементарных излучателей. Микрорезонаторы Эффект Пёрселла.

Понятие локального поля. Модель Лоренца. Уравнение Клаузиса-Моссотти. Уравнение Лоренц-Лорентца.

#### 6. Точечные квантовые излучатели

Полупроводниковые квантовые точки. Зависимость спектров излучения и поглощения от размеров нанокристаллов. Применения квантовых точек в качестве оптического нанозонда.

Флуоресцентные молекулы. Спектр поглощения и излучения флуоресцентных молекул. Релаксация, ширины линий, взаимодействие с матрицей. Использование одиночных хромофорных молекул в качестве спектрального нанозонда. Спектроскопия одиночных молекул.

Однофотонные излучатели на флуоресцентных молекулах и квантовых точках.

#### 7. Фотонные кристаллы и оптические микрорезонаторы

Классификация фотонных кристаллов. Плотность фотонных состояний и зонная структура одномерного и многомерных фотонных кристаллов. Дифракция Брэгга и Лауэ.

Методы изготовления фотонных кристаллов. Применение фотонных кристаллов. Просветляющие покрытия, диэлектрические зеркала.

Оптические микрорезонаторы. Моды сферического микрорезонатора, моды “шепчущей” галереи. Теория Ми.

#### 8. Оптическая микроскопия в ближнем и дальнем поле

Функция рассеяния точечного излучателя. Диск Эйри. Дифракционный предел пространственного разрешения. Критерий Аббе.

Возникновение высокочастотных пространственных гармоник при освещении образца со сложной пространственной наноструктурой. Дифракционное разрешение и Фурье оптика.

Семестр: 2 (Весенний)

#### 9. Силы, вызываемые действием света

Давление света в рамках электромагнитной теории света. Опыты Лебедева по измерению светового давления. Плотность потока электромагнитной энергии. Тензор напряжений Максвелла. Градиентная сила и сила рассеяния.

Механическое действие света на наночастицы. Лазерный пинцет. Оптическая ловушка.

Момент количества движения переносимый плоской световой волной. Спин и орбитальный момент количества движения фотона. Круговая поляризация света и “закрученный” свет. Получение и использование “закрученного” света.

#### 10. Флуктуационно-диссипативная теорема

Механизмы возникновения диссипации вызываемой флуктуациями. Функция отклика системы. Белый шум. Формула Найквиста. Излучение абсолютно черного тела.

Флуктуационно-индуцированные силы. Дисперсионное взаимодействие. Сила Казимира. Электромагнитное трение.

#### 11. Зондовая микроскопия. Атомно-силовая и туннельная микроскопия.

Основные характеристики и типы нанозондов. Технология изготовления и контроля параметров нанозондов.

Физические основы и принцип действия атомно-силового микроскопа. Применения и параметры атомно-силовой микроскопии. Основные преимущества и недостатки атомно-силовой микроскопии.

Принцип действия туннельного микроскопа и его основные характеристики. Область применения туннельного микроскопа.

#### 12. Электронная и ионная микроскопия

Электромагнитная электронная оптика. Физические основы и принцип действия электронного микроскопа. Преимущества и недостатки электронного микроскопа. Основные характеристики электронных микроскопов. Основные применения электронной микроскопии. Основы криомикроскопии.

Принцип действия и основные характеристики ионного микроскопа. Применения ионного микроскопа.

#### 13. Микроскопия высокого и сверхвысокого пространственного разрешения.

Критерии предела пространственного разрешения оптического микроскопа на основе эффекта дифракции. Формулировка пространственного разрешения оптического микроскопа на основе информационного подхода. Возможность получения информации о положении точечных источников света, наблюдаемых с помощью флуоресцентного оптического микроскопа в методе локализационной микроскопии. Пространственное разрешение в методе локализационной микроскопии. Методы STORM и PALM.

Повышение пространственного разрешения детектирования изображений флуоресцентных источников в методе STED.

#### 14. Пространственная дисперсия и отрицательное преломление света

Пространственная дисперсия, групповая скорость. Природа отрицательной групповой скорости и отрицательного преломления. Эффект Доплера и излучение Вавилова-Черенкова в средах с отрицательной групповой скоростью. Метаматериалы. Суперлинза Пендри.

#### 15. Нанооптика и наноструктуры биологической природы

Основные понятия молекулярной биологии. Структура биологических сред на наноуровне. Первичная, вторичная, третичная и четвертичная структура белковых молекул, молекулярная структура углеводов и жиров. Сложные молекулярные структуры на основе белков, углеводов, липидов и др. молекул и атомов.

Структура ДНК и РНК. Генетический код. Виды РНК. Репликация ДНК. Синтез белка.

Состав клетки. Микровезикулы и внеклеточные экзосомы и их роль в процессах внутри- и межклеточной передачи информации и биоматериалов.

Вирусы. Строение и функции. Методы диагностики.

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

Учебная аудитория с доской и экраном для демонстраций. Проектор.

## **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. Краткий курс теоретической физики [Текст]. Кн. 2 : Квантовая механика : учеб. пособие для вузов / Л. Д. Ландау, Е. М. Лифшиц .— М. : Наука, 1972 .— 368 с.
3. Наноплазмоника [Текст]/В. В. Климов, -М., Физматлит, 2010

### **Дополнительная литература**

1. Курс теоретической физики [Текст] : в 2 т. Т. 2 : учеб. пособие для вузов / В. Г. Левич, Ю. А. Вдовин, В. А. Мямлин ; под ред. В. Г. Левича .— 2-е изд., перераб. — М. : Наука, 1971 .— 936 с.
2. Теоретическая физика [Текст] : В 10 т. Т. 8 / Л. Д. Ландау, Е. М. Лифшиц. Электродинамика сплошных сред. учеб. пособие для вузов - М.Наука,1982
3. Оптика и фотоника. Принципы и применения. В 2 т. Т. 2 /Б. Салех, М. Тейх ; пер. с англ. В. Л. Дербова. Fundamentals of Photonics. Долгопрудный, Интеллект, 2012
4. Оптика и фотоника. Принципы и применения. В 2 т. Т. 1 /Б. Салех, М. Тейх ; пер. с англ. В. Л. Дербова. Fundamentals of Photonics. Долгопрудный, Интеллект, 2012
5. Физические основы молекулярной биологии [Текст] / Т. Уэй гпер. с англ. под ред. Л. В. Яковенко - ДолгопрудныйИнтеллект,2010
6. Электромагнитные процессы в среде, наноплазмоника и метаматериалы [Текст] : [учеб. пособие для вузов] / В. А. Астапенко .— Долгопрудный : Интеллект, 2012 .— 584 с.

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

Открытое образование. URL: <https://openedu.ru/>

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

Платформы Zoom и Skipe при проведении занятий дистанционно.

## **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 и понятия, уметь применять полученные знания для решения различных задач.

Успешное освоение курса требует:

- посещения всех занятий, предусмотренных учебным планом по дисциплине;
- ведения конспекта занятий;
- напряжённой самостоятельной работы студента.

Самостоятельная работа включает в себя:

- чтение рекомендованной литературы;
- проработку учебного материала, подготовку ответов на вопросы, предназначенных для самостоятельного изучения;
- решение задач, предлагаемых студентам на занятиях;
- подготовку к выполнению заданий текущей и промежуточной аттестации.

Показателем владения материалом служит умение без конспекта отвечать на вопросы по темам дисциплины.

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

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

**ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)**

<b>по направлению:</b>	Прикладные математика и физика
<b>профиль подготовки:</b>	Общая и прикладная физика Физтех-школа физики и исследований им. Ландау кафедра нанооптики и спектроскопии
<b>курс:</b>	<u>1</u>
<b>квалификация:</b>	магистр

Семестры, формы промежуточной аттестации:

- 1 (осенний) - Экзамен
- 2 (весенний) - Экзамен

**Разработчик:** Ю.Г. Вайнер, д-р физ.-мат. наук, профессор

## 1. Компетенции, формируемые в процессе изучения дисциплины

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
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-4.2 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
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-1.3 Способен применять теоретические и (или) экспериментальные методы исследований к конкретной научной задаче и интерпретировать полученные результаты
ПК-3 Способен профессионально работать с исследовательским и испытательным оборудованием (приборами и установками, специализированными пакетами прикладных программ) в избранной предметной области	ПК-3.1 Понимает принципы работы используемого оборудования (специализированных пакетов прикладных программ)
	ПК-3.3 Способен оценивать точность полученных экспериментальных (численных) результатов

## 2. Показатели оценивания компетенций

В результате изучения дисциплины «Основы оптики наноразмерных систем» обучающийся должен:

### знать:

физические основы и особенности оптических свойств наночастиц;  
физические основы, преимущества и недостатки современных методов экспериментального исследования нанообъектов различной природы;  
основные подходы и модели теоретического описания оптических свойств нанообъектов.

### уметь:

применять полученные знания для постановки и проведения экспериментов для изучения оптических и спектральных свойств наночастиц и наноструктур различной природы;  
интерпретировать и анализировать результаты проведенных экспериментов;  
пользоваться современными компьютерными программами для обработки экспериментальных результатов.

### владеть:

экспериментальными методами исследования оптических свойств нанообъектов различной природы;  
навыками работы с современной научной литературой по актуальным вопросам нанооптики и нанофотоники;  
методами теоретического моделирования оптических свойств наночастиц и их анализа с целью определения основных оптических констант и параметров изучаемых нанообъектов;  
основными навыками представления своих результатов на семинарах, конференциях и написания научных статей.

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

Примеры типовых вопросов:

1. Перечислите и обоснуйте основные причины отличия физических свойств наночастиц от свойств макротел.
2. Перечислите основные отличия характеристик ближнего электромагнитного поля переменного электрического диполя от дальнего? В каких экспериментах по нанооптике эти отличия проявляются и где они используются?
3. Какова причина и механизм сдвига Гуса-Хэнхена при полном внутреннем отражении?

Пример заданий контрольной работы.

1. Показать, что эванесцентная волна, возникающая при полном внутреннем отражении от поверхности прозрачной диэлектрической среды, не переносит энергию в направлении перпендикулярном поверхности раздела.

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

Пример контрольных вопросов на экзамене:

1. Описывают ли волновые уравнения нераспространяющееся ближнее поле?

Примеры контрольных заданий

1. Оцените боровский радиус экситона Ванье в полупроводниковой квантовой точке известного размера и с заданной диэлектрической проницаемостью. Эффективные массы электрона и дырки положите равными 1.2 и 0.5 массы покоя электрона.
2. При каком угле падения на поверхность раздела наблюдается наибольшее усиление интенсивности эванесцентной волны, возникающей при полном внутреннем отражении для р-поляризованной волны света?
3. Оценить длину волны наиболее добротной моды сферического диэлектрического микрорезонатора с известной диэлектрической проницаемостью.

Примеры экзаменационных билетов

Билет 1.

1. Уравнения Максвелла. Граничные условия. Волновые уравнения
2. Ближнее поле диполя и движущегося одиночного заряда.
3. Разложение электромагнитного поля в угловой спектр, пространственные частоты. Фурье-оптика.

Билет 2.

1. Усреднение локальных полей в среде. Материальные уравнения.
2. Спонтанное излучение, классическое рассмотрение и рассмотрение квантовой электродинамики, скорость спонтанной релаксации в вакууме и среде, теорема Парселла.
3. Оптический микроскоп дальнего поля. Дифракционный предел пространственного разрешения. Методы повышения пространственного разрешения.

2-ой семестр

Примеры типовых вопросов:

1. В каких случаях проявляется наличие продольной компоненты вектора электрического поля в излучении?
2. При каких размерах начинают проявляться квантовые эффекты в оптических свойствах нанобъектов?
3. Какова ориентация молекул липидов в клеточной мембране? Почему мембрана клетки состоит из двух монослоев?

Пример контрольных вопросов на экзамене

4. Предсказывает ли флуктуационно-диссипативная теорема флуктуации при нулевой температуре?

### Примеры контрольных заданий

1. Какие условия надо выполнить для того, чтобы возбудить поверхностный плазмон в металле? Оцените длину волны поверхностного плазмонного резонанса для серебра и золота.
2. Чем определяется время спонтанного излучения элементарного излучателя, как оно изменяется при помещении источника в микрорезонатор?
3. Рассчитайте тензор напряжений Максвелла для сферической поверхности вокруг рэлеевской частицы в случае ее освещения плоской монохроматической волной.

### Примеры экзаменационных билетов

#### Билет 1.

1. Давление излучения. Сила Лоренца. Дипольное приближение. Силы в монохроматическом поле. Кеплеровская и градиентная составляющие силы светового давления. Оптический пинцет.
2. Фотонные кристаллы. Волноводы на основе фотонных кристаллов. Микрорезонаторы.
3. Объемные и поверхностные плазмоны в металлах, закон дисперсии плазмонных колебаний. Методы возбуждения поверхностных плазмонов.

#### Билет 2.

1. Ближнепольный оптический микроскоп. Атомно-силовой микроскоп.
2. Локализованный плазмонный резонанс. Использование наночастиц из благородных металлов в качестве нанозондов. Спазер. Наноантенны. SERS.
3. Квантовые точки. Спектр излучения одиночной квантовой точки и его временная история.

### 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**

Экзамен проводится в устной форме по билетам. В каждом билете представлено три теоретических вопроса. При проведении экзамена обучающемуся предоставляется 30 минут на подготовку. Опрос обучающегося не должен превышать одного астрономического часа.