

**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>	Физика наноструктур
<b>по направлению:</b>	Прикладные математика и физика
<b>профиль подготовки:</b>	Общая и прикладная физика Физтех-школа физики и исследований им. Ландау кафедра квантовой радиофизики
<b>курс:</b>	1
<b>квалификация:</b>	магистр

Семестр, формы промежуточной аттестации: 2 (весенний) - Экзамен

Аудиторных часов: 45 всего, в том числе:

лекции: 15 час.

семинары: 30 час.

лабораторные занятия: 0 час.

Самостоятельная работа: 60 час.

Подготовка к экзамену: 30 час.

Всего часов: 135, всего зач. ед.: 3

Программу составил: А.А. Нариц, канд. физ.-мат. наук

Программа обсуждена на заседании кафедры квантовой радиофизики 25.05.2020

## Аннотация

Дисциплина предназначена для студентов, прослушавших курс общей физики, курсы квантовой механики, физической оптики и атомной спектроскопии. Программа курса включает следующие основные разделы: фуллерены и кластеры, метод Хартри-Фока и его обобщения, теория функционала плотности, углеродные нанотрубки, метод линейной комбинации атомных орбиталей, дисперсионные соотношения для углеродных нанотрубок, оптические свойства полупроводниковых гетероструктур, плазмоны, поверхностные плазмоны, методы получения наночастиц, квантовые точки, явление мерцающей флуоресценции. В результате овладения дисциплиной обучающийся получит базовые представления о подходах, используемых при теоретическом рассмотрении взаимодействия света с системами, состоящими из большого числа атомов, свойствах атомных кластеров и наночастиц, тонких пленок, наноструктурированных поверхностей и др.

## 1. Цели и задачи

### Цель дисциплины

Цель курса состоит в обучении студентов старших курсов МФТИ основным теоретическим подходам, используемым при описании процессов взаимодействия света со структурами нанометрового масштаба. Успешное освоение материалов данного курса должно позволить выпускникам свободно ориентироваться в наиболее актуальных вопросах спектроскопии наноразмерных систем.

### Задачи дисциплины

- 1) Переход от рассмотрения отдельных атомов и простейших молекул к изучению процессов, происходящих при взаимодействии света с системами, состоящими из большого числа атомов.
- 2) Изучение подходов к описанию оптических свойств кластеров и наночастиц.
- 3) Описание теоретических методов изучения процессов, происходящих при взаимодействии света с тонкими пленками и наноструктурированными поверхностями.
- 4) Обзор наиболее актуальных вопросов нанооптики.

## 2. Перечень формируемых компетенций

Освоение дисциплины направлено на формирование следующих компетенций:

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
УК-6 Способен определять и реализовывать приоритеты собственной деятельности и способы ее совершенствования на основе самооценки	УК-6.1 Умеет решать задачи собственного личностного и профессионального развития, определять и реализовывать приоритеты совершенствования собственной деятельности
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-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-5.3 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-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-3.2 Способен проводить эксперимент (моделирование) с использованием исследовательского оборудования (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:

- Основные направления развития нанофизики;
- Специфику физических явлений, происходящих на нанометровых масштабах;
- Спектральные свойства полупроводниковых и металлических частиц, нанотрубок, гетероструктур с квантовыми ямами;
- Основные физические закономерности, определяющие оптические свойства основных видов наноструктур;
- Методы исследования спектральных свойств наночастиц;
- Основные теоретические методы исследования систем, состоящих из большого числа частиц.

уметь:

- Выбирать оптимальный путь для определения электронных и спектральных свойств наноструктур;
- Использовать полученные знания для быстрого освоения новых методов исследования систем нанометрового масштаба.

владеть:

- Методом Хартри-Фока и его обобщениями;
- Основами теории функционала плотности;
- Методом линейной комбинации атомных орбиталей;
- Теоретическими основами экспериментальных методов исследования оптических свойств наносистем.

#### 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	Фуллерены и кластеры.	1	3		5
2	Метод Хартри-Фока и его обобщения.	1	3		5
3	Теория функционала плотности.	1	3		5
4	Углеродные нанотрубки.	1	2		5
5	Метод линейной комбинации атомных орбиталей.	1	2		5
6	Дисперсионные соотношения для углеродных нанотрубок.	1	2		5
7	Оптические свойства полупроводниковых гетероструктур.	1	2		5
8	Плазмоны.	1	2		5
9	Поверхностные плазмоны.	1	2		5
10	Методы получения наночастиц.	2	3		5
11	Квантовые точки.	2	3		5
12	Явление мерцающей флуоресценции.	2	3		5
Итого часов		15	30		60
Подготовка к экзамену		30 час.			
Общая трудоёмкость		135 час., 3 зач.ед.			

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

Семестр: 2 (Весенний)

###### 1. Фуллерены и кластеры.

Фуллерены и кластеры: строение, методы получения, механические и электронные свойства, области применения.

###### 2. Метод Хартри-Фока и его обобщения.

Метод Хартри-Фока. Использование псевдопотенциалов. Обобщения метода Хартри-Фока.

### 3. Теория функционала плотности.

Теория функционала плотности. Уравнения Кона - Шэма. Приближение локальной плотности. Модель желе и ее применимость в случае кластеров и фуллеренов.

### 4. Углеродные нанотрубки.

Строение нанотрубок. Хиральность. Трубки типа «кресло» и «зигзаг». Физические и электронные свойства нанотрубок. Многослойные нанотрубки. Связь хиральности однослойных трубок с их проводимостью. Способы получения нанотрубок.

### 5. Метод линейной комбинации атомных орбиталей.

Метод ЛКАО. Использование метода ЛКАО для определения электронных уровней энергии молекулярных систем.  $\sigma$ - и  $\pi$ -орбитали. Применение метода ЛКАО к простейшим углеводородам. Теорема Блоха. Функции Блоха. Понятие об обратной решетке. Применение метода ЛКАО к цепочкам атомов. Дисперсионные соотношения для водородной и углеродной цепочки атомов.

### 6. Дисперсионные соотношения для углеродных нанотрубок.

$\pi$ -орбитали нанотрубок  $(n,n)$  и  $(n,0)$ . Учет принципа Паули. Зависимость проводимости от хиральности.

### 7. Оптические свойства полупроводниковых гетероструктур.

Оптические свойства полупроводников. Экситоны Мотта и Френкеля. Уровни энергии экситонов. Время жизни экситонов и способы его повышения. Экситоны в дву-, одно- и нуль-мерных системах.

### 8. Плазмоны.

Объемные плазмоны. Плазменная частота. Спектр плазмонов. Дисперсионное соотношение для объемных плазмонов.

### 9. Поверхностные плазмоны.

Поверхностные плазмоны. Условия возникновения поверхностных плазмонов. Спектр поверхностных плазмонов. Дисперсионные соотношения для поверхностных плазмонов. Получение поверхностных плазмонов.

### 10. Методы получения наночастиц.

Обзор физических и химических методов получения наночастиц различного состава, формы и размеров.

### 11. Квантовые точки.

Квантовые точки. Энергетический спектр экситонов в полупроводниковых наночастицах. Квантово-размерный эффект. Спектральные свойства полупроводниковых наночастиц. Наночастицы типа «core-shell».

### 12. Явление мерцающей флуоресценции.

Явление мерцающей флуоресценции. Статистика «on»- и «off»-интервалов. Захват носителей. Поверхностные состояния.

## **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. Теоретическая физика [Текст] : в 10 т. Т. 3 / Л. Д. Ландау, Е. М. Лифшиц ; под ред. Л. П. Питаевского. Квантовая механика. Нерелятивистская теория. учеб. пособие для вузов - М. Физматлит, 2016
2. Теория экситонов [Текст]/В. М. Агранович, -М., Наука, 1968
3. Квазичастицы в физике конденсированного состояния [Текст]/Н. Б. Брандт, В. А. Кульбачинский, -М., Физматлит, 2007
4. M. Brack, The physics of simple metal clusters: self-consistent jellium model and semiclassical approaches, Rev. Mod. Phys. 65, 667 (1993)
5. П.Н. Дьячков, Углеродные нанотрубки: строения, свойства, применения, М.: Бином (2006)
6. C. Burda, X. Chen, R. Narayanan and M.A. El-Sayed, Chemistry and Properties of Nanocrystals of Different Shapes, Chem. Rev. 105, 1025 (2005)
7. J. Stangl, V. Holy, G. Bauer, Structural Properties of Self-Organized Semiconductor Nanostructures, Rev. Mod. Phys. 76, 725 (2004)
8. C. Delerue, M. Lannoo, Nanostructures: theory and modelling, Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2004

### Дополнительная литература

1. Принципы теории твердого тела [Текст] = Principles of the theory of solids : [учеб. пособие для вузов] / Дж. Займан ; пер. со второго англ. изд. под ред. В. Л. Бонч-Бруевича. — М : Мир, 1974. — 472 с.
2. A.V. Eletskii, B.M. Smirnov, «Fullerenes and carbon structures», Physics – Uspekhi 38 (9) 935 (1995) // [http://www.ufn.ru/ufn95/ufn95\\_9/Russian/r959a.pdf](http://www.ufn.ru/ufn95/ufn95_9/Russian/r959a.pdf)
3. А.В. Елецкий, Углеродные нанотрубки, УФН 167, 945 (1997)
4. Ю.Е. Лозовик, А.М. Попов, Образование и рост углеродных наноструктур – фуллеренов, наночастиц, нанотрубок и конусов, УФН 167, 751 (1997)
5. Y. Masumoto, T. Takagahara, Semiconductor Quantum Dots, Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2002

## **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)**

Для осуществления образовательного процесса по дисциплине необходим ноутбук и медиапроектор. В отдельных случаях обучающиеся могут в рамках самостоятельной работы или при углубленном выполнении курсовой работы выполнять расчеты в системах Mathematica, Mathlab и т.п.

## **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, экзамену.

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 лектору или преподавателю, ведущему практические занятия.

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

**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:** 1  
**квалификация:** магистр

Семестр, формы промежуточной аттестации: 2 (весенний) - Экзамен

**Разработчик:** А.А. Нариц, канд. физ.-мат. наук



## 1. Компетенции, формируемые в процессе изучения дисциплины

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
УК-6 Способен определять и реализовывать приоритеты собственной деятельности и способы ее совершенствования на основе самооценки	УК-6.1 Умеет решать задачи собственного личностного и профессионального развития, определять и реализовывать приоритеты совершенствования собственной деятельности
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-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-5.3 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	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

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-3.2 Способен проводить эксперимент (моделирование) с использованием исследовательского оборудования (пакетов прикладных программ)
	ПК-3.3 Способен оценивать точность полученных экспериментальных (численных) результатов

## 2. Показатели оценивания компетенций

В результате изучения дисциплины «Физика наноструктур» обучающийся должен:

### знать:

- Основные направления развития нанофизики;
- Специфику физических явлений, происходящих на нанометровых масштабах;
- Спектральные свойства полупроводниковых и металлических частиц, нанотрубок, гетероструктур с квантовыми ямами;
- Основные физические закономерности, определяющие оптические свойства основных видов наноструктур;
- Методы исследования спектральных свойств наночастиц;
- Основные теоретические методы исследования систем, состоящих из большого числа частиц.

### уметь:

- Выбирать оптимальный путь для определения электронных и спектральных свойств наноструктур;
- Использовать полученные знания для быстрого освоения новых методов исследования систем нанометрового масштаба.

### владеть:

- Методом Хартри-Фока и его обобщениями;
- Основами теории функционала плотности;
- Методом линейной комбинации атомных орбиталей;
- Теоретическими основами экспериментальных методов исследования оптических свойств наносистем.

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

Темы рефератов по курсу Физика наноструктур:

### (I)

1. Строение углеродных нанотрубок. Однослойные и многослойные нанотрубки. Методы получения однослойных и многослойных нанотрубок.
2. Хиральность однослойных нанотрубок. Нанотрубки типа «кресло» и «зигзаг». Симметрия однослойных нанотрубок. Связь проводимости нанотрубок с хиральностью.
3. Механические свойства однослойных и многослойных углеродных нанотрубок.
4. Электронные свойства однослойных и многослойных углеродных нанотрубок.
5. Вывод дисперсионных соотношений для  $\square$ -оболочек нанотрубок (n,n).
6. Вывод дисперсионных соотношений для  $\square$ -оболочек нанотрубок (n,0).

### (II)

7. Структура поверхностной электро-магнитной волны у плоского раздела металл-диэлектрик. Условие возникновения поверхностных плазмонов. Вывод выражения для частоты стоячей поверхностной волны.
8. Вывод дисперсионного соотношения для поверхностных плазмонов на плоской границе металл-диэлектрик. Вклад электронов внутренних оболочек. Различие дисперсионных кривых для случаев серебра и золота.
9. Методы генерации поверхностных волн. Схемы Отто и Кречмана. Дифракционный метод.

10. Применение поверхностных плазмонов.
  11. Оптические свойства металлических наночастиц сферической формы. Выражения для сечений рассеяния и поглощения света наночастицей в рамках теории Ми. Моды шепчущих галерей.
  12. Явление поверхностного усиления комбинационного рассеяния. Физическая суть, экспериментальные реализации, характерные величины фактора усиления.
- (III)
13. Методы снижения эффективной размерности квантовых систем в полупроводниковых структурах. Квантовые ямы. Зависимость энергии связи экситона Ванье-Мотта от ширины ямы. Способы повышения энергии связи экситона в квазидвумерных системах.
  14. Экситоны Ванье-Мотта в полупроводниковых квантовых проводах. Оценка энергии связи. Плотность состояний. Оптические свойства полупроводниковых квантовых проводов.
  15. Квантовые точки. Переход от зонной структуры спектра к дискретным уровням. Квантоворазмерный эффект в спектрах полупроводниковых квантовых точек. Режимы квантоворазмерного эффекта и их проявление в спектрах поглощения света.
  16. Квантоворазмерный эффект диэлектрической проницаемости в полупроводниковых квантовых точках. Методы теоретического описания. Влияние на оптические свойства квантовых точек.
  17. Методы создания полупроводниковых нанокристаллов различных форм.

#### Список литературы:

- (I)
1. П.Н.Дьячков, Электронные свойства и применение нанотрубок, часть 1 и разделы 2.2-2.4.
  2. А.В.Елецкий, УФН 167, 945 (1997)
  3. S. Reich, C. Thomsen, J. Maultzsch, Carbon Nanotubes, Wiley, 2004
  4. H. Rafii-Tabar, Computational Physics of Carbon Nanotubes, CUP, 2008
  5. Z. Ren et al, Aligned Carbon Nanotubes, Chap. 2, Springer, 2013
  6. S. Saito, A. Zettl, Carbon Nanotubes. Quantum Cylinders of Graphene, Elsevier, 2008
- (II)
7. В.В.Климов, Наноплазмоника, главы 3, 4, 6.
  8. Н.Б.Брандт, В.А.Кульбачинский, Квазичастицы в физике конденсированного состояния, глава 12.
  9. Т.В.Вартанян, Е.В.Ващенко, Введение в наноплазмонику, глава 4
  10. Л.Новотный, Б.Хехт, Основы нанооптики, глава 12
  11. A.McGurn, Nanophotonics, глава 4
  12. E.L.Ru, P.Etchegoin, Principles of Surface-Enhanced Raman Spectroscopy, главы 1,3,4.
  13. M. Pelton, G. Bryant, Introduction to Metal-Nanoparticle Plasmonics, главы 1,7.
- (III)
14. Н.Б.Брандт, В.А.Кульбачинский, Квазичастицы в физике конденсированного состояния, глава 10.
  15. Л.Е.Воробьев, Л.Е.Голуб, С.Н.Данилов, Е.Л.Ивченко, Д.А.Фирсов, В.А.Шалыгин, Оптические явления в полупроводниковых квантоворазмерных структурах
  16. C.Delerue, M.Lannoo, Nanostructures. Theory and Modeling. Разделы 2-5.
  17. Z.L.Wang, Nanowires and Nanobelts, Volume 1: Metal and Semiconductor Nanowires.
  18. Z.M.Wang, One-dimensional nanostructures.
  19. Y.Masumoto, T.Takagahara, Semiconductor Quantum Dots. Раздел 2.
  20. J.Stangl, V.Holy, G.Bauer, Structural properties of self-organized semiconductor nanostructures, Rev. Mod. Phys. 76, 725 (2004)
  21. C.Burda, X.Chen, R.Narayanan, M.A.El-Sayed, Chem. Rev. 105, 1025 (2005)

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

##### Перечень контрольных вопросов к экзамену:

1. Фуллерены и кластеры: строение, методы получения, механические и электронные свойства, области применения.

2. Метод Хартри-Фока.
3. Использование псевдопотенциалов.
4. Обобщения метода Хартри-Фока.
5. Теория функционала плотности. Уравнения Кона - Шэма.
6. Приближение локальной плотности.
7. Модель желе и ее применимость в случае кластеров и фуллеренов.
8. Строение нанотрубок. Хиральность. Трубки типа «кресло» и «зигзаг».
9. Физические и электронные свойства нанотрубок. Многослойные нанотрубки.
10. Связь хиральности однослойных трубок с их проводимостью. Способы получения нанотрубок.
11. Метод ЛКАО. Использование метода ЛКАО для определения электронных уровней энергии молекулярных систем  $\sigma$ - и  $\pi$ -орбитали.
12. Применение метода ЛКАО к простейшим углеводородам. Теорема Блоха.
13. Функции Блоха. Понятие об обратной решетке.
14. Применение метода ЛКАО к цепочкам атомов. Дисперсионные соотношения для водородной и углеродной цепочки атомов.
15.  $\pi$ -орбитали нанотрубок  $(n,n)$  и  $(n,0)$ . Учет принципа Паули. Зависимость проводимости от хиральности.
16. Оптические свойства полупроводников.
17. Экситоны Мотта и Френкеля. Уровни энергии экситонов.
18. Время жизни экситонов и способы его повышения.
19. Экситоны в дву-, одно- и нуль-мерных системах.
20. Объемные плазмоны. Плазменная частота.
21. Спектр плазмонов. Дисперсионное соотношение для объемных плазмонов.
22. Поверхностные плазмоны. Условия возникновения поверхностных плазмонов.
23. Спектр поверхностных плазмонов.
24. Дисперсионные соотношения для поверхностных плазмонов. Получение поверхностных плазмонов.

Примеры экзаменационных билетов:

Билет 1.

1. Фуллерены и кластеры: строение, методы получения, механические и электронные свойства, области применения.
2. Применение метода ЛКАО к простейшим углеводородам. Теорема Блоха.

Билет 2.

1. Метод Хартри-Фока.
2. Функции Блоха. Понятие об обратной решетке.

#### 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 по билетам. В каждом билете представлено два теоретических вопроса. При проведении устного экзамена обучающемуся предоставляется 30 минут на подготовку. Опрос обучающегося не должен превышать одного астрономического часа.