

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

**УТВЕРЖДЕНО**

**Директор физтех-школы  
электроники, фотоники и  
молекулярной физики**

**В.В. Иванов**

	<b>Рабочая программа дисциплины (модуля)</b>
<b>по дисциплине:</b>	Наноэлектронные устройства
<b>по направлению:</b>	Прикладные математика и физика
<b>профиль подготовки:</b>	Физика перспективных технологий: альтернативная энергетика, научное программирование и функциональные материалы Физтех-школа Электроники, Фотоники и Молекулярной Физики кафедра физики и химии наноструктур
<b>курс:</b>	1
<b>квалификация:</b>	магистр

Семестры, формы промежуточной аттестации:

1 (осенний) - Дифференцированный зачет

2 (весенний) - Дифференцированный зачет

Аудиторных часов: 60 всего, в том числе:

лекции: 0 час.

семинары: 60 час.

лабораторные занятия: 0 час.

Самостоятельная работа: 30 час.

Всего часов: 90, всего зач. ед.: 2

Программу составил: С.Г. Буга, д-р физ.-мат. наук

Программа обсуждена на заседании кафедры физики и химии наноструктур 29.05.2020

## **Аннотация**

Курс "Нанoeлектронные устройства" предусматривает освоение студентами фундаментальных знаний в области электронных и электронно-оптических свойств наноструктур, изучение способов создания нанoeлектронных устройств и методов их исследования, а также областей их практического применения.

Задачи курса:

- формирование базовых знаний в области физики твердого тела, как дисциплины, интегрирующей общефизическую и общетеоретическую подготовку физиков и обеспечивающей технологические основы современных инновационных сфер деятельности;
- обучение студентов принципам создания нанoeлектронных устройств, выявление особенностей их функциональных характеристик в сравнении с микроелектронными устройствами;
- формирование подходов к выполнению исследований студентами в области нанoeлектроники в рамках выпускных работ на степень магистра.

По результатам освоения курса студент должен знать:

- современные проблемы и задачи в области физики твёрдого тела;
- принципы создания нанoeлектронных устройств;
- особенности функциональных характеристик нанoeлектронных устройств в сравнении с микроелектронными устройствами;
- постановку проблем физико-химического моделирования;
- о взаимосвязях и фундаментальном единстве естественных наук.

Основное содержание курса изложено в следующих разделах:

1. Мезоскопическая физика и нанотехнологии
2. Планарная полупроводниковая технология - достижения и ограничения
3. Оборудование для исследований в нано- и микроелектронике
4. Молекулярная электроника
5. Наноструктурированные электронно-оптические среды
6. Размерные эффекты в металлах и полупроводниках
7. Методы формирования нанoeлектронных структур
8. Физика полупроводников с пониженной размерностью
9. Углеродные наноструктуры, их электронные свойства
10. Полупроводниковые квантовые наноструктуры и полупроводниковые сверхрешетки
11. Процессы переноса в наноструктурах в электрических и магнитных полях
12. Оптические и электрооптические процессы в квантовых гетероструктурах
13. Электронные и оптоэлектронные устройства на основе наноструктур

## **1. Цели и задачи**

### **Цель дисциплины**

- освоение студентами фундаментальных знаний в области электронных и электронно-оптических свойств наноструктур, изучение способов создания нанoeлектронных устройств и методов их исследования, а также областей их практического применения.

### **Задачи дисциплины**

- формирование базовых знаний в области физики твердого тела, как дисциплины, интегрирующей общефизическую и общетеоретическую подготовку физиков и обеспечивающей технологические основы современных инновационных сфер деятельности;
- обучение студентов принципам создания нанoeлектронных устройств, выявление особенностей их функциональных характеристик в сравнении с микроелектронными устройствами;
- формирование подходов к выполнению исследований студентами в области нанoeлектроники в рамках выпускных работ на степень магистра.

## 2. Перечень формируемых компетенций

Освоение дисциплины направлено на формирование следующих компетенций:

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
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

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

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны знать:

- современные проблемы и задачи в области физики твёрдого тела;
- принципы создания нанoeлектронных устройств;
- особенности функциональных характеристик нанoeлектронных устройств в сравнении с микроелектронными устройствами;
- постановку проблем физико-химического моделирования;
- о взаимосвязях и фундаментальном единстве естественных наук.

уметь:

- эффективно использовать на практике теоретические компоненты науки: понятия, суждения, умозаключения, законы;
- представить панораму универсальных методов и законов современного естествознания;
- работать на современном экспериментальном оборудовании;
- абстрагироваться от несущественных влияний при моделировании реальных физических ситуаций;
- планировать оптимальное проведение эксперимента.

владеть:

- планированием, постановкой и обработкой результатов физического эксперимента;
- навыками самостоятельной работы в лаборатории на современном экспериментальном оборудовании;
- математическим моделированием физических задач.

## 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	Лаб. работы	Самост. работа
1	Мезоскопическая физика и нанотехнологии		4		
2	Планарная полупроводниковая технология – достижения и ограничения		4		

3	Оборудование для исследований в нано- и микроэлектронике		4		
4	Молекулярная электроника		4		
5	Наноструктурированные электронно-оптические среды		4		15
6	Размерные эффекты в металлах и полупроводниках		2		
7	Методы формирования наноэлектронных структур		4		
8	Физика полупроводников с пониженной размерностью		4		
9	Углеродные наноструктуры, их электронные свойства		6		
10	Полупроводниковые квантовые наноструктуры и полупроводниковые сверхрешетки		6		
11	Процессы переноса в наноструктурах в электрических и магнитных полях		6		15
12	Оптические и электрооптические процессы в квантовых гетероструктурах		4		
13	Электронные и оптоэлектронные устройства на основе наноструктур		8		
Итого часов			60		30
Подготовка к экзамену		0 час.			
Общая трудоёмкость		90 час., 2 зач.ед.			

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

##### Семестр: 1 (Осенний)

##### 1. Мезоскопическая физика и нанотехнологии

Основные тенденции развития нано-и оптоэлектроники. Основные понятия и величины. Принципы построения систем обработки сигналов. Конструирование «сверху-вниз» и «снизу-вверх». Квантово-механическая когерентность. Квантовые ямы, проволоки и точки.

##### 2. Планарная полупроводниковая технология – достижения и ограничения

Обзор современных достижений в области миниатюризации электронных устройств, основных проблем, связанных с дальнейшим уменьшением их характерных размеров. Задачи и практические требования, предъявляемые к микро- и наноэлектронным устройствам.

##### 3. Оборудование для исследований в нано- и микроэлектронике

Автоэмиссионные электронные микроскопы на базе электронной колонны GEMINI. Двухлучевые микроскопы с ионной колонной. Наноманипуляторы. Зондовые микроскопы: туннельные, атомно-силовые, оптические микроскопы ближнего поля. Высокочувствительные приборы измерения электрических свойств семейства Kethley.

##### 4. Молекулярная электроника

Молекулярные доноры и акцепторы электронов. Нелинейные ВАХ и активные элементы молекулярной электроники. Логические элементы. Солитоны в трансполиацетилене.

Молекулярная память на основе белка бактериородопсина. Электронно-конформационные переходы. Переключающиеся элементы на основе молекул ротаксана и хироптицена. Запоминающие устройства на основе эффекта «выжигания провалов» в спектрах поглощения органических молекул в твердотельных матрицах.

## 5. Наноструктурированные электронно-оптические среды

Химические реакционно-диффузионные среды и средства обработки информации. Нейросетевая архитектура. Среда типа Белоусова-Жаботинского. Реакционно-диффузионный процессор: основные принципы. Обработка изображений средами типа Белоусова-Жаботинского. Реакционно-диффузионный процессор.

Системы взаимосвязанных реакционно-диффузионных реакторов: распознающие устройства. Принципы обработки информации реакционно-диффузионными устройствами.

## 6. Размерные эффекты в металлах и полупроводниках

Плотность состояний и размерность системы. Движение носителей заряда в электрическом поле. Баллистический транспорт носителей заряда. Подвижность зарядов. Туннелирование носителей заряда. Свободная поверхность и межфазные границы. Полупроводниковые гетероструктуры. Квантовые процессы переноса.

## 7. Методы формирования нанoeлектронных структур

Химическое осаждение из газовой фазы. Молекулярно-лучевая эпитаксия. Методы, основанные на использовании сканирующих зондов. Фокусированное ионное травление. Локальное окисление металлов и полупроводников. Локальное химическое осаждение из газовой фазы. Нанолитография. Электронно-лучевая литография. Профилирование резистов сканирующими зондами. Нанопечать. Перьевая нанолитография. Самосборка. Самоорганизация в объемных материалах. Самоорганизация при эпитаксии. Формирование квантовых точек посредством самоорганизации при эпитаксии. Осаждение пленок Лэнгмюра-Блоджетт. Контакты к отдельным молекулам.

## 8. Физика полупроводников с пониженной размерностью

Основные характеристики двумерных полупроводниковых наноструктур. Прямоугольная потенциальная яма конечной глубины. Параболическая и треугольная квантовые ямы. Параболическая потенциальная яма. Треугольная потенциальная яма. Квантовые проволоки. Квантовые точки. Напряженные слои. Влияние напряжений на валентную зону. Зонная структура в квантовых ямах. Экситонные эффекты в квантовых ямах.

## Семестр: 2 (Весенний)

## 9. Углеродные наноструктуры, их электронные свойства

Способы гибридизации атомов углерода. Многостенные и одностенные углеродные нанотрубки, фуллерены и фуллереновые полимеры, графит, алмаз и аморфные алмазоподобные пленки, иониты, углеродные и азот-углеродные нановолокна. Автоэлектронная эмиссия углеродных наноструктур. Применения холодных наноуглеродных катодов. Наноуглеродные сенсоры газов. Графеновые нанoeлектронные устройства. Наноуглеродные ограничители оптической мощности, прерыватели.

## 10. Полупроводниковые квантовые наноструктуры и полупроводниковые сверхрешетки

Структуры полевых МОП-транзисторов (MOSFET). Гетеропереходы. Гетеропереходы с модулированным легированием. Напряженные гетероструктуры на основе SiGe. Квантовые ямы. Модулированно-легированные квантовые ямы. Многостепенные квантовые ямы (MQW). Концепция сверхрешеток. Модель сверхрешетки Кронига — Пенни. Расщепление зон. Сверхрешетки типа  $\text{p-i-n}$ .

## 11. Процессы переноса в наноструктурах в электрических и магнитных полях

Продольный перенос. Механизмы рассеяния электронов. Экспериментальные данные по продольному переносу. Продольный перенос горячих электронов. Поперечный перенос. Резонансное туннелирование. Влияние поперечных электрических полей на свойства сверхрешеток. Квантовый перенос в наноструктурах. Квантовая проводимость. Формула Ландауэра. Формула Ландауэра — Бюттикера для квантового переноса в многозондовых структурах Кулоновская блокада.

Воздействие магнитного поля на кристаллы. Поведение систем пониженной размерности в магнитных полях. Плотность состояний двумерных систем в магнитных полях. Эффект Аронова — Бома. Эффект Шубникова — де Гааза. Квантовый эффект Холла. Экспериментальные данные и элементарная теория целочисленного квантового эффекта Холла. Протяженные и локализованные состояния. Использование квантового эффекта Холла в метрологии. Дробный квантовый эффект Холла.

## 12. Оптические и электрооптические процессы в квантовых гетероструктурах

Оптические свойства квантовых ям и сверхрешеток. Оптические характеристики квантовых точек и нанокристаллов. Методы выращивания нанокристаллов. Самоорганизация квантовых точек. Электрооптические эффекты в квантовых точках. Квантово-размерный эффект Штарка. Электрооптические эффекты в сверхрешетках. Лестницы Штарка и осцилляции Блоха.

## 13. Электронные и оптоэлектронные устройства на основе наноструктур

Модуляционно-легированные полевые транзисторы (MODFET). Биполярные транзисторы на гетеропереходах. Резонансный туннельный эффект. Транзисторы на горячих электронах. Транзисторы с резонансным туннелированием. Одноэлектронные транзисторы.

Лазеры на полупроводниковых гетеропереходах. Лазеры на полупроводниковых квантовых ямах. Поверхностные лазеры с вертикальным резонатором (VCSEL). Лазеры на напряженных структурах с квантовыми ямами. Лазеры на квантовых точках. Фотодетекторы на квантовых ямах и сверхрешетках. Фотодетекторы на подзонах квантовых ям. Лавинные фотодетекторы на сверхрешетках. Модуляторы на квантовых ямах.

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

учебная аудитория, персональные компьютеры, мультимедийное оборудование (проектор, звуковая система).

## 6. Перечень рекомендуемой литературы

### Основная литература

1. Нанoeлектроника/. Борисенко В.Е., Воробьева А.И., Уткина Е.А., М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2009. — 223 с. : илл. — (Нанотехнология). ISBN 978-5-94774-914.
2. Нанотехнология в электронике. Введение в специальность: Учебное пособие. 2-е изд., испр. / Лозовский В.Н., Константинова Г.С., Лозовский С. В., СПб.: Издательство «Лань», 2008. — 336 с: ил. — (Учебники для вузов. Специальная литература). ISBN 078-5-8114-0827-В.
3. Нанотехнологии для микро- и оптоэлектроники/ Мартинес-Дуарт Дж.М., Мартин-Палма Р.Дж., Агулло-Рueda Ф., Москва: Техносфера, 2007. - 368с. ISBN 978-5-94836-126-0.
4. Нанотехнологии и молекулярные компьютеры/ Рамбиди Н.Г., М.: ФИЗМАТЛИТ, 2007. - 256 с. - ISBN 978-5-9221-0869-0.
5. Твердотельная электроника: Учеб. пособие - 3-е изд., доп./ Гуртов В. А., Москва: Техносфера 2005. - 512 с. ISBN 978-5-94836-187-1.

### Дополнительная литература

1. Нанoeлектроника/. Борисенко В.Е., Воробьева А.И., Уткина Е.А., М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2009. — 223 с. : илл. — (Нанотехнология). ISBN 978-5-94774-914.
2. Нанотехнология в электронике. Введение в специальность: Учебное пособие. 2-е изд., испр. / Лозовский В.Н., Константинова Г.С., Лозовский С. В., СПб.: Издательство «Лань», 2008. — 336 с: ил. — (Учебники для вузов. Специальная литература). ISBN 078-5-8114-0827-B.
3. Нанотехнологии для микро- и оптоэлектроники/ Мартинес-Дуарт Дж.М., Мартин-Палма Р.Дж., Агулло-Рueda Ф., Москва: Техносфера, 2007. - 368с. ISBN 978-5-94836-126-0.
4. Нанотехнологии и молекулярные компьютеры/ Рамбиди Н.Г., М.: ФИЗМАТЛИТ, 2007. - 256 с. - ISBN 978-5-9221-0869-0.
5. Твердотельная электроника: Учеб. пособие - 3-е изд., доп./ Гуртов В. А., Москва: Техносфера 2005. - 512 с. ISBN 978-5-94836-187-1.
6. Нанотехнологии. Издание 4-е, исправленное и дополненное/ Ч.Пул - мл., Ф. Оуэне/ Москва: Техносфера, 2009. - 336с. ISBN 978-5-94836-201-4.
7. Нанотехнология: Физико-химия нанокластеров, наноструктуры наноматериалов/. Суздалев И.П. Изд. 2-е, испр. — М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2009. — 592 с/ ISBN 978-5-397-00217-2.
8. Журналы по физике твердого тела (Физика твердого тела, Кристаллография, ЖТФ, Письма в ЖТФ, Physica Status Solidi b, Physical Review B и др.)
9. Новейшие датчики/Джексон Р.Г., 2-е изд., доп., Москва: Техносфера, 2008.-400 с. ISBN 978-5-94836-168-0

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

Обеспечение самостоятельной работы - базы данных по журналам Physica Status Solidi b, Physical Review, J of Apply Physics.

Доступные через Internet научные и научно-технические журналы: <http://scitation.aip.org/>, <http://www.sciencemag.org/> электронные конспекты лекций, учебные пособия и сборники задач, разработанные для данного курса.

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

не предусмотрены.

## **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 дисциплины, 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 к 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>	Физика перспективных технологий: альтернативная энергетика, научное программирование и функциональные материалы Физтех-школа Электроники, Фотоники и Молекулярной Физики кафедра физики и химии наноструктур
<b>курс:</b>	<u>1</u>
<b>квалификация:</b>	магистр

Семестры, формы промежуточной аттестации:

- 1 (осенний) - Дифференцированный зачет
- 2 (весенний) - Дифференцированный зачет

**Разработчик:** С.Г. Буга, д-р физ.-мат. наук

## 1. Компетенции, формируемые в процессе изучения дисциплины

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
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

## 2. Показатели оценивания компетенций

В результате изучения дисциплины «Нанoeлектронные устройства» обучающийся должен:

### знать:

- современные проблемы и задачи в области физики твёрдого тела;
- принципы создания нанoeлектронных устройств;
- особенности функциональных характеристик нанoeлектронных устройств в сравнении с микроелектронными устройствами;
- постановку проблем физико-химического моделирования;
- о взаимосвязях и фундаментальном единстве естественных наук.

### уметь:

- эффективно использовать на практике теоретические компоненты науки: понятия, суждения, умозаключения, законы;
- представить панораму универсальных методов и законов современного естествознания;
- работать на современном экспериментальном оборудовании;
- абстрагироваться от несущественных влияний при моделировании реальных физических ситуаций;
- планировать оптимальное проведение эксперимента.

### владеть:

- планированием, постановкой и обработкой результатов физического эксперимента;
- навыками самостоятельной работы в лаборатории на современном экспериментальном оборудовании;
- математическим моделированием физических задач.

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

С целью контроля освоения обучающимися учебного материала проводится устный опрос в начале занятия.

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

Вопросы к дифференцированному зачету:

- 1) Основные понятия и величины нано- и оптоэлектроники.
- 2) Принцип построения систем обработки сигналов. Конструирование «сверху-вниз» и «снизу-вверх»
- 3) Квантово-механическая когерентность. Квантовые ямы, проволоки и точки.
- 4) Автоэмиссионные электронные микроскопы на базе электронной колонны GEMINI.
- 5) Двухлучевые микроскопы с ионной колонной. Наноманипуляторы.

- 6) Зондовые микроскопы.
- 7) Нелинейные вольтамперные характеристики и активные элементы молекулярной электроники.
- 8) Химические реакционно-диффузионные среды и средства обработки информации.
- 9) Реакционно-диффузионный процессор.
- 10) Плотность состояний и размерность системы.
- 11) Баллистический транспорт носителей заряда. Подвижность зарядов. Туннелирование носителей заряда.
- 12) Методы формирования нанoeлектронных структур, основанные на использовании сканирующих зондов.
- 13) Нанолитография. Электронно-лучевая литография. Перьевая нанолитография.
- 14) Основные характеристики двумерных полупроводниковых наноструктур.
- 15) Прямоугольная потенциальная яма конечной глубины. Параболическая и треугольная квантовые ямы. Параболическая потенциальная яма.
- 16) Напряженные слои. Влияние напряжений на валентную зону. Зонная структура в квантовых ямах.
- 17) Способы гибридизации атомов углерода.
- 18) Многостенные и одностенные углеродные нанотрубки, фуллерены и фуллереновые полимеры, графит, нанодiamond и аморфные алмазоподобные пленки, углеродные и азот-углеродные нановолокна.
- 19) Графеновые нанoeлектронные устройства.
- 20) Гетеропереходы. Гетеропереходы с модулированным легированием.
- 21) Напряженные гетероструктуры на основе SiGe.
- 22) Модулировано-легированные квантовые ямы. Множественные квантовые ямы (MQW).
- 23) Концепция сверхрешеток. Модель сверхрешетки Крони-Ганна.
- 24) Процесс продольного переноса в наноструктурах в электрических полях. Экспериментальные данные по продольному переносу.
- 25) Поперечный перенос.
- 26) Резонансное туннелирование.
- 27) Влияние поперечных электрических полей на свойства сверхрешеток. Квантовый перенос в наноструктурах.
- 28) Воздействие магнитного поля на кристаллы.
- 29) Поведение систем пониженной размерности в магнитных полях.
- 30) Плотность состояний двумерных систем в магнитных полях. Эффект Аронова-Бома. Эффект Шубникова-де Газа.
- 31) Квантовый эффект Холла. Использование квантового эффекта Холла в метрологии.
- 32) Оптические характеристики квантовых точек и нанокристаллов.
- 33) Электрооптические эффекты в квантовых точках. Квантово-размерный эффект Штарка.
- 34) Электрооптические эффекты в сверхрешетках.
- 35) Транзисторы на горячих электронах. Одноэлектронные транзисторы.
- 36) Лазеры на полупроводниковых гетеропереходах.
- 37) Лазеры на полупроводниковых квантовых ямах.
- 38) Лазеры на напряженных структурах с квантовыми ямами. Лазеры на квантовых точках.

#### 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 бала - 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 бала - 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 бала - 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 бал - 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**

При проведении устного дифференцированного зачета обучающемуся предоставляется 30 минут на подготовку. Опрос обучающегося по билету на устном дифференцированном зачете не должен превышать одного астрономического часа.