

Документ подписан простой электронной подписью  
Информация о владельце:  
ФИО: Смирнов Сергей Николаевич  
Должность: врио ректора  
Дата подписания: 23.09.2022 14:27:43  
Уникальный программный ключ:  
69e375c64f7e975d4e8830e7b4fcc2ad1bf35f08

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
ФГБОУ ВО «Тверской государственный университет»

Утверждаю:

Руководитель ООП



Б.Б.Педько

«28»

июня

2022 г.

Рабочая программа дисциплины (с аннотацией)

**Физические основы нанотехнологии**

Направление подготовки

03.03.03 Радиофизика

профиль

Физика и технология материалов и устройств радиоэлектроники

Для студентов

3 курса, очной формы обучения

Составитель: к.ф.н., доцент Жеренкова Л.В.

Тверь, 2022

## **I. Аннотация**

### **1. Наименование дисциплины в соответствии с учебным планом**

Физические основы нанотехнологии

### **2. Цель и задачи дисциплины**

Целью освоения дисциплины является:

Изучение научных основ нанотехнологий на базе курса общей физики и элементов квантовой механики для студентов физических специальностей высших учебных заведений. Помочь студенту в выборе наиболее интересных аспектов новой науки для дальнейшего углубленного изучения на основе специальной литературы или для ее применения в практических целях. Простое и ясное разъяснение основ теории и возможностей применения предлагаемых нанотехнологий в рамках привычных научных и технических понятий. Учитывая мультидисциплинарный характер дисциплины, наряду с физическими законами и явлениями, относящимися к области нанотехнологий, рассмотреть некоторые химические и биологические аспекты, лежащие в основе функционирования новых устройств нанотехнологий.

Задачами освоения дисциплины являются:

- дать представление об основных понятиях, целях, методах и объектах нанотехнологий, основных физических, физико-химических и биологических законах и явлениях, составляющих фундамент нанотехнологий, а также представлять возможности и ограничения предшествующих технологий;
- понять основные физические законы и явления, лежащие в основе нанотехнологий, а также физические законы, накладывающие фундаментальные ограничения на развитие функциональных устройств предшествующего поколения;
- научить студента формулировать, ставить задачу, описывать интересующий объект, процесс или систему на языке понятийного аппарата нанотехнологий; владеть методиками поиска информации, необходимой для решения задач; уметь выполнять оценочные расчеты зависимости физических свойств нанообъектов от их размера при переходе в нанобласть; уметь анализировать функциональные

возможности устройств нанотехнологий в области наноэлектроники и нанофотоники; иметь навыки использования русскоязычной и англоязычной литературы для знакомства с новейшими достижениями в области нанотехнологий, разработки компьютерных презентаций по основным достижениям и фундаментальным направлениям нанотехнологий.

### 3. Место дисциплины в структуре ООП

Дисциплина относится к дисциплинам по выбору вариативной части учебного плана. Требования к «входным» знаниям и уровню начальной подготовки обучающегося для успешного освоения дисциплины включают знание университетского курса общей физики, математического анализа, теории функций комплексного переменного, аналитической геометрии и линейной алгебры, численных методов.

Теоретические дисциплины и практики, для которых освоение данного курса необходимо как предшествующее включают оптоэлектронику, физику наносистем, а также более углубленное изучение физических и химических основ нанотехнологий.

### 4. Объем дисциплины:

3 зачетных единицы, 108 академических часов, в том числе

**контактная работа:** лекции 36 часов, практические занятия 36 часов,

**самостоятельная работа:** 36 часов.

### 5. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы

<p><b>Планируемые результаты освоения образовательной программы (формируемые компетенции)</b></p>	<p><b>Планируемые результаты обучения по дисциплине</b></p>
<p>ПК 1: способность понимать</p>	<p><b>Уметь:</b> применять законы классической и квантовой физики для качественного анализа и количественных оценок различных свойств</p>

принципы работы и методы эксплуатации современной радиоэлектронной и оптической аппаратуры и оборудования	наносистем и наноустройств электроники и фотоники, ориентироваться в многообразии применений законов микромира в современных нанотехнологиях <b>Знать:</b> основные физические законы и явления, лежащие в основе нанoeлектроники и нанофотоники; основы разработки наноматериалов и наноструктур; основные физические ограничения, лежащие в основе функционирования наноустройств.
ОПК 2: способность самостоятельно приобретать новые знания, используя современные образовательные и информационные технологии	<b>Уметь:</b> применять результаты многомасштабного компьютерного моделирования и предварительных оценочных аналитических расчетов для постановки эксперимента и планирования теоретических исследований в наномасштабной области <b>Знать:</b> основные принципы организации и планирования научных исследований в различных областях нанотехнологий

## 6. Форма промежуточной аттестации

Зачет в 5 семестре

7. Язык преподавания русский.

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

### 1. Для студентов очной формы обучения

Наименование разделов и тем	Всего (час.)	Контактная работа (час.)		Самостоятельная работа (час.)
		Лекции	Практические (лабораторные) занятия	
Понятие о нанотехнологиях	3	1	1	1
Классификация нанообъектов по различным признакам	6	2	2	2
Элементы квантовой физики и физики твердого тела	12	4	4	4
Физические основы нанoeлектроники	9	3	3	3
Некоторые устройства нанoeлектроники	6	2	2	2
Элементы нанофотоники	6	2	2	2

Поверхность твердых тел.	6	2	2	2
Самосборка и самоорганизация	6	2	2	2
Коллоидные кластеры и наноструктуры	6	2	2	2
Каркасные аллотропные формы углерода	6	2	2	2
Гетерогенные процессы формирования наноструктур и наноматериалов	6	2	2	2
Концепция многомасштабного моделирования в нанотехнологиях	6	2	2	2
Эпитаксиальные методы получения наноструктур	6	2	2	2
Зондовые нанотехнологии	6	2	2	2
Нанолитография	6	2	2	2
Обработка информации химическими средами Белоусова-Жаботинского	6	2	2	2
Элементы нанобиотехнологий	6	2	2	2
<b>Итого</b>	108	36	36	36

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

- планы практических (семинарских) занятий.
- сборники задач.
- методические рекомендации по организации самостоятельной работы студентов.

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

**Форма проведения промежуточного контроля:** студенты, освоившие программу курса «Физические основы нанотехнологии» могут получить зачет по итогам семестровой и полусеместровой рейтинговой аттестации согласно «Положения о рейтинговой системе обучения и оценки качества учебной работы студентов ТвГУ» (протокол №4 от 25 октября 2017 г.). Максимальная сумма баллов, которые можно получить за семестр 100.

Если условия «Положения о рейтинговой системе ...» не выполнены, то зачет сдается согласно «Положения о промежуточной аттестации (экзаменах и зачетах) студентов ТвГУ» (протокол №4 от 25 октября 2017 г.).

**1. Типовые контрольные задания для проверки уровня сформированности компетенции ПК 1: способность понимать принципы работы и методы эксплуатации современной радиоэлектронной и оптической аппаратуры и оборудования.**

Этап формирования компетенции, в котором участвует дисциплина	Типовые контрольные задания для оценки знаний, умений, навыков	Показатели и критерии оценивания компетенции, шкала оценивания		
		Высокий уровень (3 балла по каждому критерию)	Средний уровень (2 балла по каждому критерию)	Низкий уровень (1 балл по каждому критерию)
Промежуточные	<b>Задания для проверки сформированности умений:</b>			
	Изобразить энергетические диаграммы и плотности состояний для квантовой ямы, квантовой нити и квантовой точки, а также привести примеры оптоэлектронных устройств, работающих на основе данных низкоразмерных объектов.	Умеет изобразить энергетические диаграммы и плотности состояний данных низкоразмерных объектов. Глубоко понимает общий принцип работы выбранных в качестве примера наноустройств. Уверенно рисует схемы двух-трех устройств на квантовых точках, ямах или нитях.	Умеет изобразить энергетические диаграммы и плотности состояний данных низкоразмерных объектов. Понимает общий принцип работы выбранных в качестве примера наноустройств. Приводит одну-две схемы устройств на квантовых точках, ямах или нитях.	Неуверенно изображает энергетические диаграммы и плотности состояний данных низкоразмерных объектов. Нечетко понимает общий принцип работы выбранных в качестве примера наноустройств. С трудом приводит хотя бы одну схему устройства на квантовых точках, ямах или нитях.
	Описать основной принцип работы сканирующего туннельного микроскопа и его роль в развитии нанотехнологий.	Умеет записать и применить закон изменения туннельного тока в сканирующе	Умеет записать и применить закон изменения туннельного тока в СТМ с уменьшение	Умеет нарисовать принципиальную схему СТМ без глубокого понимания физических

начальный		<p>м туннельном микроскопе с уменьшение м ширины туннельного промежутка между зондом и исследуемой поверхностью. Глубоко понимает общий принцип работы СТМ. Умеет изобразить схему СТМ. Может назвать отдельные области применения данного вида микроскопов в нанотехнологиях.</p>	<p>м ширины туннельного промежутка между зондом и исследуемой поверхностью. Понимает общий принцип работы СТМ. Умеет изобразить схему СТМ. Может назвать отдельные области применения данного вида микроскопов в нанотехнологиях.</p>	<p>основ его работы. Понимает роль сканирующей туннельной микроскопии нанотехнологиях.</p>
	<b>Задания для проверки сформированности знаний:</b>	<b>Высокий уровень (3 балла по каждому критерию)</b>	<b>Средний уровень (2 балла по каждому критерию)</b>	<b>Низкий уровень (1 балл по каждому критерию)</b>
	<p>Опишите основные аллотропные модификации углерода, широко применяющиеся в нанотехнологиях (графен, нанотрубки, фуллерены) и привести примеры нанoeлектронных устройств на данных углеродных материалах.</p>	<p>Знает все основные аллотропные модификации и углерода и типы гибридизации и в каждой из них. Знает методы получения этих наноматериалов. Знает их основные электронные и механические свойства.</p>	<p>Знает основные аллотропные модификации и углерода и типы гибридизации и в каждой из них. Может привести примеры методов получения этих наноматериалов. Знает их некоторые основные</p>	<p>Знает лишь некоторые из основных аллотропных модификаций. Знает один-два метода получения этих наноматериалов. С трудом перечисляет их основные электронные и механические свойства. Приводит хотя бы один пример</p>

		Свободно приводит примеры нанoeлектронных устройств на нанотрубках, графене и фуллеренах.	электронные и механические свойства. Может привести один-два примера нанoeлектронных устройств на нанотрубках, графене и фуллеренах.	наноэлектронных устройств на нанотрубках, графене и фуллеренах.
	Опишите основной принцип работы атомно-силового микроскопа и его роль в развитии нанотехнологий.	Знает основную физическую идею зондовой микроскопии. Уверенно рисует схему АСМ с объяснением принципа работы и приведением необходимых формул и графиков. Отлично ориентируется в областях применения АСМ в нанотехнологиях. Перечисляет все достоинства и недостатки АСМ.	Знает основную физическую идею зондовой микроскопии. Рисует схему АСМ с объяснением принципа работы и приведением необходимых формул и графиков. Может назвать некоторые области применения АСМ в нанотехнологиях. Перечисляет некоторые достоинства и недостатки АСМ.	Удовлетворительно знает основную физическую идею зондовой микроскопии. С трудом рисует схему АСМ с объяснением принципа работы и приведением необходимых формул и графиков. Удовлетворительно ориентируется в областях применения АСМ в нанотехнологиях. Перечисляет лишь некоторые достоинства и недостатки АСМ.

**2. Типовые контрольные задания для проверки уровня сформированности компетенции ОПК 2: Способность самостоятельно**

приобретать новые знания, используя современные образовательные и информационные технологии

Этап формирования компетенции, в котором участвует дисциплина	Типовые контрольные задания для оценки знаний, умений, навыков	Показатели и критерии оценивания компетенции, шкала оценивания		
Промежуточный	<i>Задания для проверки сформированности умений:</i>	<i>Высокий уровень (3 балла по каждому критерию)</i>	<i>Средний уровень (2 балла по каждому критерию)</i>	<i>Низкий уровень (1 балл по каждому критерию)</i>
	Описать принцип работы лазеров на двойной гетероструктуре.	Глубоко понимает общий принцип работы генераторов когерентного излучения. Умеет изобразить энергетическую диаграмму гетероперехода. Уверенно рисует схему ДГС-лазера. Глубоко понимает принцип работы лазера на двойной гетероструктуре с квантовой ямой.	Понимает общий принцип работы генераторов когерентного излучения. Умеет изобразить энергетическую диаграмму гетероперехода. С затруднениями рисует схему ДГС-лазера. В целом понимает принцип работы лазера на двойной гетероструктуре с квантовой ямой.	В целом понимает общий принцип работы генераторов когерентного излучения. С трудом изображает энергетическую диаграмму гетероперехода. С недочетами рисует схему ДГС-лазера. Нечетко понимает принцип работы лазера на двойной гетероструктуре с квантовой ямой.
	Описать работу одноэлектронного транзистора.	Глубоко понимает общий принцип работы транзисторов. Умеет изобразить	Понимает общий принцип работы транзисторов. Умеет изобразить энергетичес	В целом понимает общий принцип работы транзисторов. С трудом изображает

начальный		энергетическую диаграмму одноэлектронного транзистора . Глубоко понимает физические основы работы одноэлектронного транзистора .	кую диаграмму одноэлектронного транзистора . В целом понимает физические основы работы одноэлектронного транзистора .	энергетическую диаграмму одноэлектронного транзистора. Удовлетворительно понимает физические основы работы одноэлектронного транзистора.
	<i>Задания для проверки сформированности знаний:</i>	<i>Высокий уровень (3 балла по каждому критерию)</i>	<i>Средний уровень (2 балла по каждому критерию)</i>	<i>Низкий уровень (1 балл по каждому критерию)</i>
	Путем оценочных расчетов покажите отличие колебательных процессов в наноструктурах от классических колебательных систем макромира.	Знает основные физические законы, описывающие колебательные процессы на макро- и наномасштабах. Свободно приводит примеры колебательных систем макро- и наномира с соответствующими математическими выкладками .	Знает основные физические законы, описывающие колебательные процессы на макро- и наномасштабах. В недостаточном количестве приводит примеры колебательных систем макро- и наномира с соответствующими математическими выкладками .	В целом знает основные физические законы, описывающие колебательные процессы на макро- и наномасштабах. Испытывает затруднения приводить примеры колебательных систем макро- и наномира с соответствующими математическими выкладками.

	<p>Охарактеризуйте основные направления развития нанотехнологий и, в частности, наноэлектроники.</p>	<p>Знает все основные направления развития нанотехнологий по российской классификации. Знает основные задачи каждого направления. Глубоко понимает физический смысл концепций «сверху-вниз» и «снизу-вверх». Уверенно характеризует направления развития наноэлектроники. Глубоко понимает основные идеи твердотельной и молекулярной наноэлектроники.</p>	<p>Знает все основные направления развития нанотехнологий по российской классификации. В целом понимает основные задачи каждого направления. Понимает физический смысл концепций «сверху-вниз» и «снизу-вверх». Характеризует направления развития наноэлектроники. В целом понимает основные идеи твердотельной и молекулярной наноэлектроники.</p>	<p>Знает большинство основных направлений развития нанотехнологий по российской классификации. Достаточно хорошо понимает основные задачи каждого направления. Имеет представление о концепции «сверху-вниз» и «снизу-вверх». Характеризует направления развития наноэлектроники. Удовлетворительно понимает основные идеи твердотельной и молекулярной наноэлектроники.</p>
--	--	--	--	--

***Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций.***

***Для оценивания результатов обучения в виде знаний предлагается ответить на следующие вопросы:***

## ПК-1

1. Перечислите направления развития наноэлектроники.
2. Перечислите основные направления развития нанофотоники.
3. Охарактеризуйте основные принципы, лежащие в основе молекулярной электроники.
4. Назовите принципиальные ограничения, возникающие на пути миниатюризации элементов интегральных микросхем?
5. Какие простейшие виды низкоразмерных объектов вы знаете?
6. В чем преимущество полупроводниковых ДГС-лазеров на квантовых ямах перед обычными ДГС-лазерами с микронным активным слоем?
7. Перечислите типы межмолекулярных взаимодействий, которые могут являться движущей силой самосборки супрамолекулярных наноструктур.
8. Почему при растяжении золотой проволоки до определенных пределов начинает нарушаться закон Ома и как в этом случае выглядит вольт-амперная характеристика?
9. Из каких нанотрубок лучше делать светоизлучающий элемент, основанный на электронной эмиссии – изогнутых, хиральных, одностенных, многостенных?
10. Каковы рекордные коэффициенты полезного действия солнечных батарей, использующих наноматериалы?
11. Какие группы фундаментальных явлений характеризуют поведение носителей заряда в наноструктурах?
12. Чему равен квант сопротивления?
13. Опишите принцип действия резонансно-туннельного диода.
14. Какие явления лежат в основе спинтроники?
15. Перечислите преимущества и недостатки сканирующего туннельного микроскопа.
16. Опишите принцип работы атомно-силового микроскопа.
17. Каким образом можно управлять электронными свойствами нанотрубок?
18. Каковы перспективы применения углеродных нанотрубок в нанотехнологиях?
19. Какой оптический размерный эффект, свойственный полупроводниковым нанокластерам, используется в светодиодах и лазерах с перестраиваемой длиной волны?

## ОПК-2

1. Каков максимальный размер нанокластера или наночастицы, при котором с помощью современных методов различимо влияние поверхности на их свойства?
2. Что такое температура плавления в применении к наночастицам?
3. Какого рода фазовый переход может быть связан с плавлением наночастиц?
4. Почему наночастицы нельзя разглядеть в оптический микроскоп?

5. Какие наночастицы содержит сажа и платиновая чернь?
6. Какие дефекты могут быть и какие не должны существовать в наночастицах?
7. Как крышечка закрытой с одного конца нанотрубки изменит ее химические, механические и физические свойства?
8. Как происходит генерация синглетного кислорода при фотодинамической терапии рака с использованием нанокристаллического кремния?
9. В чем причина упорядочения лиотропных жидкокристаллических систем, используемых для получения мезопористых матриц – так называемых одномерных нанореакторов для получения наночастиц, нанопроволок и пр.? Как можно контролировать диаметр пор?
10. Какова природа гидрофобных взаимодействий?
11. В каких состояниях гибридизации находятся атомы С в различных аллотропных модификациях углерода?

*Для оценивания результатов обучения в виде умений предлагается решить следующие задачи:*

### **ПК 1**

#### **Типовые задания для практических занятий:**

1. Достаточно часто наночастицы могут самопроизвольно формировать пространственно-упорядоченные агрегаты - «сверхрешетки» - и даже видимые невооруженным глазом коллоидные кристаллы достаточно большого (по сравнению с объемом частицы) объема. Предположим, что сверхрешетка состоит из сферических наночастиц: **A**, которые образуют гранецентрированную кубическую плотноупакованную решетку, и **B**, меньших по размеру, которые занимают 25 % тетраэдрических пустот в плотноупакованной структуре наночастиц **A**. а) Напишите эмпирическую формулу для сверхрешетки (**AB<sub>n</sub>**), б) каково должно быть оптимальное соотношение между диаметрами **A** и **B** для создания такой сверхрешетки?
2. По какому закону изменяется туннельный ток в сканирующем туннельном микроскопе с уменьшением ширины туннельного промежутка между зондом и исследуемой поверхностью?
3. Опишите процесс формирования квантовых точек посредством самоорганизации при эпитаксии.
4. Оцените, что термодинамически стабильнее при нормальных условиях - графен, фуллерен, одностенная углеродная нанотрубка, наноалмаз?

5. Назовите наибольшее число наноматериалов, протестированных для хранения водорода. Какие из них считаются наиболее перспективными и почему?
6. Где применяют гвозди и шурупы из «нанокристаллического» титана? Как сделать такой гвоздь?
7. Выберите лучший материал для наноиндентера – кварц, алмаз, УНТ, SiC, BN, высокоуглеродистая сталь, золото, политетрафторэтилен.
8. Как делаются электрические контакты к отдельным молекулам?
9. В каких приборных структурах находят применение одиночные квантовые точки?
10. Какими факторами ограничивается разрешающая способность оптической литографии?

## **ОПК-2**

1. Охарактеризуйте два основных принципиально различных подхода к изготовлению наноструктур.
2. Опишите основы, достоинства и недостатки молекулярно-лучевой эпитаксии.
3. Опишите методику получения квантовых точек и проволок, основанную на использовании эпитаксии и нанолитографии.
4. В чем особенности, достоинства и недостатки электронно-лучевой литографии и нанолитографии?
5. В чем особенности, достоинства и недостатки импринтлитографии?
6. В чем особенности, достоинства и недостатки методов нанолитографии, основанных на использовании СТМ и АСМ?
7. Каковы физические основы использования СТМ в нанотехнологии?
8. Каковы физические основы использования АСМ в нанотехнологии?
9. Опишите и поясните требования к зондам, используемым в зондовых микроскопах.
10. Опишите методы получения нанотрубок.
11. Опишите механизм работы лазеров на двойной гетероструктуре.
12. Опишите применения сверхрешеток и гетероструктур на квантовых ямах.
13. Опишите работу одноэлектронного транзистора.

## **2. Промежуточная аттестация**

*Вопросы для проверки знаний при освоении дисциплины:*

### **ПК-1**

1. Опишите принципиальную разницу между металлом и полупроводником с точки зрения их электронных свойств?

2. Опишите изменения магнитных свойств, происходящие при уменьшении размера частиц ферромагнетика.
3. Предложите методы сепарации по размерам изотропных наночастиц для трех основных размерных диапазонов – менее 10 нм, от 10 до 30 нм и более 30 нм.
4. Назовите максимальное число способов разделения одностенных и многостенных углеродных нанотрубок.
5. Перечислите фундаментальные явления, характеризующие поведение носителей заряда в наноструктурах?
6. Охарактеризуйте основные направления развития нанoeлектроники.
7. Назовите преимущества и недостатки молекулярной и твердотельной нанoeлектроники в сравнении.
8. Опишите принцип работы полупроводникового лазера на двойной гетероструктуре.
9. Опишите причину квантования сопротивления баллистических наноразмерных проводов.
10. Охарактеризуйте все типы межмолекулярных взаимодействий, которые лежат в основе самосборки и самоорганизации.

## **ОПК-2**

1. Перечислить и охарактеризовать методы получения нанопленок.
2. Перечислить и охарактеризовать методы получения изолированных наночастиц.
3. Практическое использование эмиссионных свойств углеродных нанотрубок.
4. Привести примеры слабых и сильных размерных эффектов.
5. Описать роль многомасштабного компьютерного моделирования в нанотехнологиях.
6. Привести примеры НЭМС и описать основные принципы их работы.
7. Сформулировать основную идею спинтроники и принцип действия спинтронных наноустройств.
8. Описать принципы работы сканирующего туннельного микроскопа и атомно-силового микроскопа в сравнении.
9. Охарактеризовать основные направления развития нанoeлектроники.
10. Что такое фотонные кристаллы?

*Задачи для проверки умений при освоении дисциплины.*

## **ПК-1**

1. Объяснить, почему размерные эффекты реализуются легче в полупроводниках, чем

в металлах.

2. Объяснить принцип действия полупроводникового диода. Изобразить ВАХ.
3. Охарактеризовать принцип работы резонансно-туннельного диода. Изобразить ВАХ.
4. Описать основы работы солнечного фотоэлемента.
5. Как сделать диод Шоттки из одностенной углеродной нанотрубки? Объясните, почему возможно создание такого диода.
6. Описать качественно график изменения проводимости углеродных нанотрубок типа «кресла», «зигзаг» и хиральных НТ («левых» и «правых») при изгибе, кручении и сжатии. Объясните причину изменения проводимости. Можно ли этого же эффекта ожидать от металлоксидных нанотрубок?
7. Изобразить энергетические диаграммы и плотности состояний для квантовой ямы, квантовой нити и квантовой точки.
8. Описать кулоновскую блокаду с двумя туннельными переходами.
9. Каковы особенности энергетического спектра 3D-, 2D-, 1D-, и 0D-электронного газа?
10. Описать простейшие виды квантоворазмерных эффектов.

## ОПК-2

1. Как возникает гигантское магнитосопротивление?
2. В чем состоит эффект туннельного магнитосопротивления?
3. Рассмотрите примеры применения спинтроники.
4. Назовите примеры использования молекулярной электроники.
5. Как и при каких условиях возникает квантование сопротивления в металлах и полупроводниках?
6. Какие полупроводниковые материалы наиболее широко используются в нанoeлектронике и оптоэлектронике?
7. Сделайте оценочные расчеты, показывающие пренебрежимо малую роль гравитационных взаимодействий в физике нанообъектов.
8. Как использование наноструктур может увеличить коэффициент полезного действия солнечных батарей?
9. Путем оценочных расчетов покажите отличие колебательных процессов в наноструктурах от классических колебательных систем макромира.
10. Покажите возможность получения отрицательного показателя преломления на периодических наноструктурах и опишите открывающиеся при этом перспективы для оптических устройств.

## **V. Перечень основной и дополнительной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины**

### **а) Основная литература:**

1. Онищенко Г. Б. Силовая электроника: Силовые полупроводниковые преобразователи для электропривода и электроснабжения: Уч.пос. - М.: НИЦ ИНФРА-М, 2016. - 122 с.- [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://znanium.com/catalog.php?bookinfo=513981>
2. Игумнов В.Н. Физические основы микроэлектроники: учебное пособие. - [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=271708>

### **б) Дополнительная литература:**

1. Марков В. Ф. Материалы современной электроники: учебное пособие. - Екатеринбург : Издательство Уральского университета, 2014. - 272 с. - [Электронный ресурс]. – режим доступа: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=275825>

## **VI. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины**

Программное обеспечение, информационные справочные системы и Интернет-ресурсы:

1. <http://www.nanonewsnet.ru>
2. <http://nano.msu.ru/>
3. <http://www.nanometer.ru/>

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

### ***Планы практических (семинарских) занятий:***

1. История нанотехнологий.
  - a. Лекция Фейнмана «Там внизу много места»
  - b. Развитие квантовой механики.
  - c. Развитие физики низкоразмерных объектов.
  - d. Междисциплинарные связи в нанотехнологиях.
2. Наноиндустрия в России.
  - e. Зарождение нанотехнологии в России.

- f. Классификация по российским стандартам.
  - g. Приоритетные направления.
3. Элементы квантовой физики.
    - a. Основные положения квантовой механики.
    - b. Уравнение Шредингера.
    - c. Решение уравнения Шредингера для прямоугольной потенциальной ямы.
  4. Отличие физики макромира от физики нанобъектов.
    - a. Фундаментальные взаимодействия и их роль в физике макрообъектов и нанобъектов.
    - b. Роль сил трения в нанотехнологии.
    - c. Поверхностные эффекты в нанотехнологии.
  5. Проекты наномоторов.
    - a. Мотор Феринга.
    - b. Молекулярные наномоторы.
    - c. Полупроводниковые наномоторы
  6. Принцип работы лазера и свойства лазерного излучения.
    - a. Физические основы квантовых генераторов.
    - b. Виды лазеров.
    - c. Применение лазеров.
    - d. Интеграция лазеров в электронные микросхемы.
  7. Лазеры на квантовых ямах и квантовых точках.
    - a. Принцип работы лазеров на двойных гетероструктурах.
    - b. Отличия в характеристиках лазеров с микронным и нанометровым активным слоем.
    - c. Характеристики лазеров на квантовых точках.
  8. ДНК в нанотехнологиях.
    - a. Основное представление о ДНК. Химическое строение.
    - b. Роль межмолекулярных взаимодействий в структуре ДНК.
    - c. Наноструктуры на основе ДНК.
    - d. Наноструктуры на основе углеродных нанотрубок и ДНК.
  9. Процессы самоорганизации в блок-сополимерах.
    - a. Понятие о самоорганизации.
    - b. Понятие о блок-сополимерах. Виды сополимеров.
    - c. Высокоупорядоченные структуры на основе блок-сополимеров.
    - d. Наноструктуры на основе биологических сополимеров.

- e. Сополимеры в нанотехнологиях
10. "Умные материалы" как комплекс из сенсоров, нанокomпьютеров и исполнительных наноустройств.
    - a. Понятие и сенсоры и актюаторах.
    - b. МЭМС и НЭМС
    - c. Конкретные примеры умных материалов.
  11. Сканирующий туннельный и атомно-силовой микроскопы.
    - a. Туннельный эффект.
    - b. Принцип работы туннельного микроскопа.
    - c. Принцип работы атомно-силового микроскопа.
    - d. Разновидности микроскопов в нанотехнологиях.
  12. Аллотропные модификации углерода.
    - a. Принцип гибридизации. Аллотропы углерода.
    - b. Графен и нанотрубки. Их применение в нанотехнологиях.
    - c. Фуллерены и их применение в нанотехнологиях.
  13. Нанотрубки и графен в современных наноустройствах.
    - a. Электронные свойства графена.
    - b. Электронные свойства нанотрубок.
    - c. Транзистор на нанотрубках.
    - d. Дисплей на нанотрубках.
  14. Коллоидные наночастицы.
    - a. Классификация коллоидных наночастиц.
    - b. Физико-химические свойства наночастиц.
    - c. Наноструктуры в коллоидных растворах.
  15. Понятие о супрамолекулярной химии.
    - a. Роль межмолекулярных взаимодействий в супрамолекулярной химии.
    - b. Виды супрамолекулярных наноструктур.
    - c. Металл-органические каркасные структуры.
  16. Светодиоды и солнечные батареи.
    - a. Основной принцип работы светодиода.
    - b. Основной принцип работы солнечных батарей.
    - c. Роль нанотехнологий в улучшении характеристик светодиодов и солнечных батарей.
    - d. Светодиоды и солнечные батареи в России.

## **Темы рефератов.**

1. Методы получения наночастиц: физическое вакуумное осаждение и лазерная абляция.
2. Конструирование белка – природная наномашина.
3. Молекулярный дизайн наноконтейнеров на основе углеродных нанотрубок.
4. Проект космического лифта.
5. Нанотехнологии как стабилизатор экологической обстановки.
6. Пленки Ленгмюра-Блоджетт.
7. Уникальные свойства наночастиц серебра.
8. Нанотрубки серпентина. Использование в качестве ремонтно-восстановительного состава.
9. Наночастицы диоксида кремния в нанотехнологиях.
10. Наноструктурированная керамика.
11. Проводящие полимеры.
12. Наносенсоры: «умная пыль», «электронный нос», «электронный язык».
13. Наноиндентирование.
14. Нанотехнологии в медицине: адресная доставка лекарств.
15. Темплатный синтез упорядоченных матриц нанопроводов.

## ***– методические рекомендации по организации самостоятельной работы студентов:***

1. Изучить рекомендуемую литературу.
2. Просмотреть задачи, разобранные на аудиторных занятиях.
3. Разобрать задачи, рекомендованные преподавателем для самостоятельного решения, используя, при необходимости, примеры решения аналогичных задач.
4. Обсудить проблемы, возникшие при решении задач с преподавателем.

***Требования к рейтинг-контролю.*** В течение семестра два раза (на модульных неделях) необходимо:

- 1) сдать преподавателю решения домашних задач, полученных из указанных сборников задач,
- 2) ответить на теоретические вопросы. Примеры вопросов:
  1. По каким основным направлениям развиваются нанотехнологии в России?.
  2. Какие основные направления развития нанофотоники и наноэлектроники приоритетны в настоящее время?
  3. Перечислите основные принципы, лежащие в основе молекулярной электроники.

4. Какие физические ограничения возникают на пути миниатюризации элементов интегральных микросхем?
5. Какие простейшие виды низкоразмерных объектов вы знаете?
6. В чем преимущество полупроводниковых ДГС-лазеров на квантовых ямах перед обычными ДГС-лазерами с микронным активным слоем?
7. Какие типы межмолекулярных взаимодействий управляют процессами самоорганизации?
8. Из каких нанотрубок лучше делать светоизлучающий элемент, основанный на электронной эмиссии – изогнутых, хиральных, одностенных, многостенных?
9. Каковы рекордные коэффициенты полезного действия солнечных батарей, использующих наноматериалы?
10. Какие группы фундаментальных явлений характеризуют поведение носителей заряда в наноструктурах?
11. Чему равен квант сопротивления?
12. Опишите принцип действия резонансно-туннельного диода.
13. Какие явления лежат в основе спинтроники?
14. Охарактеризуйте физические принципы работы сканирующего туннельного микроскопа.
15. Опишите принцип работы атомно-силового микроскопа.
16. Каким образом можно управлять электронными свойствами нанотрубок?
17. Каковы перспективы применения углеродных нанотрубок в нанотехнологиях?
18. Какой оптический размерный эффект, свойственный полупроводниковым нанокластерам, используется в светодиодах и лазерах с перестраиваемой длиной волны?
19. Как возникает гигантское магнитосопротивление?
20. В чем состоит эффект туннельного магнитосопротивления?

**VIII. Перечень педагогических и информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине, включая перечень программного обеспечения и информационных справочных систем (по необходимости)**

**IX. Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине**

Наименование специальных* помещений	Оснащенность специальных помещений и помещений для самостоятельной работы	Перечень лицензионного программного обеспечения. Реквизиты подтверждающего документа
Лекционная аудитория № 226 (170002 Тверская обл., г. Тверь, Садовый пер., д. 35)	1 Микшерный пульт Yamaha MG-124C 2 Аудиокомплект (мик. пульт, акуст. усилитель, акуст. система, радиосистема) 3 Интерактивная система SMART Board 660i4 4 Мультимедийный проектор Epson EB-4850WU с потолочным креплением 5 Телекоммуникационный шкаф ШТК-М-18.6.6-3AAA с полками 6 Телекоммуникационный шкаф ШТК-М-18.6.6-3AAA с полками 7 Экран настенный ScreenMedia 213*213 (M082-08156) 8 Компьютер iRU Corp 510 15-2400/4096/500/G210-512/DVD-RW/W7S/монитор E-Machines E220HQVB 21,5'' 9 Комплект учебной мебели на 110 посадочных мест	Google Chrome – бесплатно Kaspersky Endpoint Security 10 для Windows – Акт на передачу прав №2129 от 25 октября 2016 г. MS Office 365 pro plus - Акт приема-передачи № 369 от 21 июля 2017 Microsoft Windows 10 Enterprise - Акт приема-передачи № 369 от 21 июля 2017

### Помещения для самостоятельной работы:

Наименование помещений	Оснащенность помещений для самостоятельной работы	Перечень лицензионного программного обеспечения. Реквизиты подтверждающего документа
Помещение для самостоятельной работы, учебная аудитория для проведения занятий лекционного типа, занятий семинарского типа, курсового проектирования (выполнения курсовых работ),	1. Компьютер RAMEC STORM C2D 4600/160Gb/ 256mB/DVD-RW +Монитор LG TFT 17" L1753S-SF – 12 шт 2. Мультимедийный комплект учебного класса (вариант № 2) Проектор Casio XJ-M140, настенный проекц. экран Lumien 180*180. ноутбук Dell N4050. сумка 15,6", мышь 3. Коммутатор D-Link 10/100/1000mbps 16-port DGS-	Adobe Acrobat Reader DC - бесплатно Cadence SPB/OrCAD 16.6 - Государственный контракт на поставку лицензионных программных продуктов 103 - ГК/09 от 15.06.2009 Google Chrome - бесплатно Java SE Development Kit 8 Update 45 (64-bit) - бесплатно Kaspersky Endpoint Security 10 для Windows – Акт на передачу прав

<p>групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации, практики, Компьютерный класс физико-технического факультета. Компьютерная лаборатория робототехнических систем №4а (170002 Тверская обл., г. Тверь, Садовый пер., д. 35)</p>	<p>1016D 4. Видеокамера IP-FALCON EYE FE-IPC-BL200P, ОнЛайн Трейд ООО 5. Видеокамера IP-FALCON EYE FE-IPC-BL200P, ОнЛайн Трейд ООО 6. Демонстрационное оборудование комплект «LegoMidstormsEV3» 7. Комплект учебной мебели</p>	<p>№2129 от 25 октября 2016 г. Lazarus 1.4.0 - бесплатно Lego MINDSTORM EV3 - бесплатно Mathcad 15 M010 - Акт предоставления прав ИС00000027 от 16.09.2011 MATLAB R2012b - Акт предоставления прав № Us000311 от 25.09.2012 Microsoft Express Studio 4 - бесплатно MiKTeX 2.9 - бесплатно MPICH 64-bit – бесплатно MSXML 4.0 SP2 Parser and SDK - бесплатно Microsoft Windows 10 Enterprise - Акт приема-передачи № 369 от 21 июля 2017 MS Office 365 pro plus - Акт приема-передачи № 369 от 21 июля 2017</p>
--	--	--

#### Х. Сведения об обновлении рабочей программы дисциплины

№п.п.	Обновленный раздел рабочей программы дисциплины (или модуля)	Описание внесенных изменений	Дата и протокол заседания кафедры, утвердившего изменения
1.	Раздел IV	Реквизиты «Положения о рейтинговой системе обучения и оценки качества учебной работы студентов ТвГУ» и «Положения о промежуточной аттестации (экзаменах и зачетах) студентов ТвГУ»	Протокол Совета ФТФ №5 от 31 октября 2017 г.
2.	Раздел IX	Оснащенность аудиторного фонда для проведения учебных занятий и самостоятельной работы студентов согласно «Справки МТО ООП ...»	Протокол Совета ФТФ №5 от 31 октября 2017 г.