

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ  
ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение высшего образования  
«Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет  
им. Н.И. Лобачевского»

УТВЕРЖДЕНО  
решением Ученого совета ННГУ  
(протокол № 6 от 03.06.2020 г.)

**Рабочая программа дисциплины**

Теория полупроводников

(наименование дисциплины (модуля))

Уровень высшего образования

бакалавриат

(бакалавриат / магистратура / специалитет)

Направление подготовки / специальность

03.03.02 Физика

(указывается код и наименование направления подготовки / специальности)

Направленность образовательной программы

профиль "Теоретическая физика"

(указывается профиль / магистерская программа / специализация)

Квалификация (степень)

бакалавр

(бакалавр / магистр / специалист)

Форма обучения

очная

(очная / очно-заочная / заочная)

Год набора

2019

(для обучающихся какого года набора разработана Рабочая программа)

Нижний Новгород – 2020

## **1. Место и цели дисциплины в структуре ОПОП**

Дисциплина «Теория полупроводников» относится к вариативной части Б1.В блока Б1 «Дисциплины (модули)», является обязательной для освоения, преподается на четвертом году обучения, в седьмом семестре. Освоению дисциплины предшествует освоение дисциплин (модулей) «Квантовая механика», «Физика конденсированного состояния».

Целями освоения дисциплины «Теория полупроводников» являются:

- овладение основными положениями современной квантовой теории объемных полупроводников;
- освоение студентами методов расчёта зонной структуры полупроводников, а также методов описания локализованных состояний в полупроводниках;
- выработка у студентов практических навыков исследования реальных полупроводников аналитическими и численными методами.

## **2. Структура и содержание дисциплины**

Объем дисциплины «Теория полупроводников» составляет 7 зачетных единиц, всего 252 часа, из которых 82 часа составляет контактная работа обучающегося с преподавателем (2 часа – мероприятия промежуточной аттестации; 16 часов занятия лекционного типа, 64 часа занятия семинарского типа (практические занятия), в том числе 2 часа – мероприятия текущего контроля успеваемости), 170 часов составляет самостоятельная работа обучающегося (134 часа самостоятельная работа в течение семестра, 36 часов самостоятельная работа при подготовке к промежуточной аттестации).

Содержание дисциплины «Теория полупроводников»

Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины	Всего (часы)	В ТОМ ЧИСЛЕ				Самостоятельная работа в течение семестра, часы
		контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем) в течение семестра, часы, из них				
		Занятия лекционного типа	Занятия семинарского типа	Занятия лабораторного типа	Всего	
<b>1. Теорема Блоха.</b> Основные признаки полупроводников. Квантовое описание проблемы. Приближения. Свойства блоховских состояний. Модель почти свободных (слабо связанных) электронов. Образование энергетической щели.	26	2	8	–	10	16
<b>2. Приближение огибающей.</b> Функции Ваннье. Эквивалентный гамильтониан – уравнение для огибающей.	26	2	8	–	10	16
<b>3. k-р метод.</b> k-р метод в зоне проводимости. Вырожденная зона. k-р метод в валентной зоне.	26	2	8	–	10	16
<b>4. Сведения из теории групп в приложении к теории полупроводников.</b> Точечные группы симметрии. Фактор-группа. Группа волнового вектора. Приводимые и неприводимые представления групп. Неприводимые представления и базисные функции групп тетраэдра и куба.	26	2	8	–	10	16
<b>5. Полупроводники со структурой алмаза.</b> Элементарная ячейка; зона Бриллюэна; пространственная группа структуры алмаза; группа волнового вектора в точке Г; k-р гамильтонианы в зоне проводимости и в валентной зоне; энергетические зонные диаграммы; электронные орбитали – $sp^3$ гибридизация; структура энергетических зон вблизи потолка валентной зоны – легкие и тяжелые дырки.	26	2	8	–	10	16

<b>6. Спин-орбитальное взаимодействие в полупроводниках.</b> Гамильтониан спин-орбитального взаимодействия в валентной зоне кремния: латтинжеровский базис; формализм полного углового момента; гамильтониан Латтинжера 6×6; зоны легких, тяжелых и спин-отщепленных дырок; гамильтониан Латтинжера 4×4.	26	2	8	–	10	16
<b>7. Полупроводники со структурой цинковой обманки.</b> k-р гамильтониан 4×4 для узкозонных полупроводников; гамильтониан с учетом спин-орбитального взаимодействия; гамильтониан Кейна; энергетические ветви в модели Кейна.	26	2	8	–	10	16
<b>8. Примесные состояния, экситоны.</b> Водородоподобная модель в кремнии; коррекция центральной ячейки; долинно-орбитальное взаимодействие; короткодействующий потенциал в эквивалентном гамильтониане. Понятие о поверхностных (таммовских) и интерфейсных состояниях. Экситонные волновые функции и уровни энергии.	32	2	8	–	10	22
<b>В т.ч. текущий контроль</b>	2	2				–
<b>Промежуточная аттестация – экзамен</b>						

### 3. Образовательные технологии

- 1) Чтение лекций;
- 2) сопровождение лекций написанием и выводом формул, построением графиков, изображением рисунков на доске;
- 3) методика «вопросы и ответы»;
- 4) индивидуальная работа над практическим заданием;
- 5) работа в парах над практическим заданием.

### 4. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся

Самостоятельная работа обучающихся предполагает изучение конспектов лекций, выделенных разделов основной литературы, а также дополнительной литературы, выполнение практических заданий, отвечающих изучаемым разделам дисциплины, подготовку к промежуточной аттестации.

Перечень основной и дополнительной литературы для самостоятельного изучения приведен в п. 7 настоящей Рабочей программы дисциплины.

Контрольные вопросы для промежуточной аттестации, примеры практических заданий приведены в п. 6.3 настоящей Рабочей программы дисциплины.

## 5. Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями выпускников)

Формируемые компетенции	Планируемые результаты обучения по дисциплине
ПК-3 готовность применять на практике профессиональные знания теории и методов физических исследований	(ПК-3) <b>Знать</b> границы применимости одноэлектронной теории полупроводников. (ПК-3) <b>Уметь</b> применять в рамках профессиональной деятельности методы и подходы одноэлектронной теории полупроводников. (ПК-3) <b>Владеть</b> навыками использования на практике методов одноэлектронной теории полупроводников.
ПК-4 способность применять на практике профессиональные знания и умения, полученные при освоении профильных физических дисциплин	(ПК-4) <b>Знать</b> принципы применения аппарата теории полупроводников в приложении к практическим задачам в рамках профессиональной деятельности. (ПК-4) <b>Уметь</b> формулировать практические задачи в рамках профессиональной деятельности, требующие применения аппарата теории полупроводников. (ПК-4) <b>Владеть</b> навыками постановки и решения основных типов задач теории полупроводников, требующимися для решения практических задач в рамках профессиональной деятельности.

## 6. Фонд оценочных средств для промежуточной аттестации по дисциплине

### 6.1. Описание шкал оценивания результатов обучения по дисциплине

Промежуточной аттестацией для дисциплины «Теория полупроводников» является **экзамен**.

По итогам экзамена выставляется оценка по семибалльной шкале: оценки «Плохо» и «Неудовлетворительно» означают отсутствие аттестации, оценки «Удовлетворительно», «Хорошо», «Очень хорошо», «Отлично» и «Превосходно» выставляются при успешном прохождении аттестации.

### 6.2. Процедуры и критерии оценивания результатов обучения по дисциплине

Для оценивания результатов обучения в виде знаний используются следующие процедуры и технологии:

- индивидуальное собеседование (промежуточная аттестация).

Контрольные вопросы для индивидуального собеседования представлены в п. 6.3 настоящей Рабочей программы дисциплины.

Для оценивания результатов обучения в виде умений и навыков используются следующие процедуры и технологии:

- выполнение практических заданий (текущий контроль, промежуточная аттестация).

Примеры практических заданий для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации представлены в п. 6.3 настоящей Рабочей программы дисциплины.

Критериями оценивания являются полнота знаний, наличие умений и владений (навыков), перечисленных в п. 5 настоящей Рабочей программы дисциплины.

**«Плохо»** – обучающийся не продемонстрировал никаких знаний об основных теоретических разделах курса, не показал никаких умений и навыков выполнения практических заданий;

**«Неудовлетворительно»** – обучающийся не продемонстрировал представления об основных теоретических разделах курса, не показал минимально допустимый уровень умений и навыков выполнения практических заданий;

**«Удовлетворительно»** – обучающийся продемонстрировал изложение формулировок основных теоретических положений курса и успешно показал умения и навыки выполнения практических заданий базового уровня сложности;

**«Хорошо»** – обучающийся продемонстрировал связное изложение основных теоретических положений курса и успешно показал умения и навыки выполнения стандартных практических заданий;

**«Очень хорошо»** – обучающийся продемонстрировал связное изложение практически всех теоретических положений курса и успешно показал умения и навыки выполнения стандартных практических заданий;

**«Отлично»** – обучающийся продемонстрировал связное изложение всех теоретических положений курса и успешно показал умения и навыки выполнения практических заданий повышенного уровня сложности;

**«Превосходно»** – обучающийся продемонстрировал уровень знаний в объеме, превышающем стандартную программу подготовки, и продемонстрировал творческий подход к выполнению практических заданий повышенного уровня сложности.

6.3. Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки результатов обучения, характеризующих этапы формирования компетенций

6.3.1. При проведении промежуточной аттестации обучающимся предлагаются следующие контрольные вопросы, охватывающие программу дисциплины «Теория полупроводников»:

1. Откуда фотопроводимость у полупроводников?
2. Что означает вырождение зоны?
3. Что такое прямозонность?
4.  $sp^3$  гибридизация – образование валентной зоны и зоны проводимости.
5. Латтинжеровский базис – для каких операторов эти функции являются собственными?

6.3.2. Примеры практических заданий для практических занятий, самостоятельной работы обучающихся, проведения текущего контроля и промежуточной аттестации:

1. Будет ли сдвигаться или расщепляться (в первом порядке теории возмущений) трехкратно вырожденный уровень энергии в системе с симметрией  $T_d$ , если возмущение  $V \sim xyz$ , а функции этого уровня преобразуются по  $\Gamma_{15}$ ?
2. Найти средние значения спиновых проекций в состоянии с латтинжеровской функцией  $|3/2; 1/2\rangle$ .
3. Как преобразуется функция  $|1/2; 1/2\rangle$  при повороте вокруг оси третьего порядка на  $120^\circ$ ?

6.4. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания

1. Положение «О проведении текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации обучающихся в ННГУ», утвержденное приказом ректора ННГУ от 13.02.2014 №55-ОД.

2. Положение о фонде оценочных средств, утвержденное приказом ректора ННГУ от 10.06.2015 №247-ОД.

## **7. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины**

а) основная литература:

1. А.И. Ансельм, Введение в теорию полупроводников. – СПб.: Лань. – 2016. – 624 с.  
Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/71742>.

2. Г. Джонс, Теория зон Бриллюэна и электронные состояния в кристаллах. – М.: Мир. – 1968. – 264с. Фонд Фундаментальной библиотеки ННГУ, 8 экз.  
<http://www.lib.unn.ru/php/details.php?DocId=78377>.

б) дополнительная литература:

1. М.И. Петрашень, Е.Д. Трифонов, Применение теории групп в квантовой механике. – М.: Наука. – 1967. – 308 с.  
Фонд Фундаментальной библиотеки ННГУ, 2 экз.  
<http://www.lib.unn.ru/php/details.php?DocId=71553>.

2. М. Хамермеш, Теория групп и ее применение к физическим проблемам. – М.: Мир. – 1966. – 588 с.  
Фонд Фундаментальной библиотеки ННГУ, 3 экз.  
<http://www.lib.unn.ru/php/details.php?DocId=95164>.

3. В.А. Бурдов, Г.М. Максимова, *kp*-метод и групповой подход в теории полупроводников. – Н. Новгород: Издательство ННГУ. – 2012. – 220 с.  
Фонд Фундаментальной библиотеки ННГУ, 4 экз.  
<http://www.lib.unn.ru/php/details.php?DocId=467607>.

в) программное обеспечение и Интернет-ресурсы:

1) пакеты символьной математики Wolfram Mathematica и MathWorks MATLAB;

2) Интернет-ресурсы Фундаментальной библиотеки ННГУ  
<http://www.lib.unn.ru/>.

## **8. Материально-техническое обеспечение дисциплины**

Материально-техническое обеспечение дисциплины обусловлено наличием учебных аудиторий для проведения занятий, оборудованных специализированной мебелью, меловыми или магнитно-маркерными досками для представления учебной информации большой аудитории. Ресурс мела и маркеров для доски в учебных аудиториях регулярно возобновляется.

Для практических занятий, связанных с работами на персональных компьютерах, используются терминал-классы, оборудованные в соответствии с требованиями охраны труда.

ННГУ обеспечен всем необходимым программным обеспечением для проведения практических занятий, связанных с работами на персональных компьютерах.

Помещения для самостоятельной работы обучающихся (на базе Фундаментальной библиотеки ННГУ) оснащены компьютерной техникой с подключением к сети «Интернет» и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду ННГУ.



Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению подготовки 03.03.02 Физика.

Автор:

зав. кафедрой теоретической физики

физического факультета,

д. ф.-м. н., доцент

\_\_\_\_\_ / Бурдов В.А. /

Рецензент:

Зав. кафедрой теоретической физики

физического факультета,

д. ф.-м. н., доцент

\_\_\_\_\_ / Бурдов В.А. /

Программа одобрена на заседании Учебно-методической комиссии физического факультета ННГУ от 02 июня 2020 года, протокол № б/н.

Председатель

Учебно-методической комиссии

физического факультета ННГУ

\_\_\_\_\_ / Перов А.А. /