

ИНЖЕНЕРНО-ФИЗИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ БИОМЕДИЦИНЫ  
КАФЕДРА ПОЛУПРОВОДНИКОВОЙ КВАНТОВОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ И БИОФОТОНИКИ

ОДОБРЕНО НТС ИФИБ

Протокол № 5/25  
от 18.11.2025

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ  
ФИЗИКА ГЕТЕРОСТРУКТУР

Направление подготовки  
(специальность)

[1] 03.05.02 Фундаментальная и прикладная физика

Семестр	Трудоемкость, кред.	Общий объем курса, час.	Лекции, час.	Практич. занятия, час.	Лаборат. работы, час.	В форме практической подготовки/ В	СРС, час.	КСР, час.	Форма(ы) контроля, экз./зач./КР/КП
8	3	108	30	15	0		63	0	3
Итого	3	108	30	15	0	8	63	0	

## **АННОТАЦИЯ**

Дисциплина является частью профессионального модуля образовательной программы. В курсе рассматриваются вопросы физики и технологии полупроводниковых гетероструктур с целью получения когерентного излучения и с целью преобразования электромагнитного излучения в ток. Рассматриваются проблемы как классических, так и квантовых оптоэлектронных приборов на основе гетероструктур, даны их принципы построения. Приведены конкретные примеры.

В курсе изучается физика, технология изготовления и различные применения полупроводниковых лазеров, включая квантовые каскадные лазеры, в народном хозяйстве и оборонной технике. Кратко приводятся необходимые сведения из физики полупроводников и квантовой электроники. Анализируются энергетические диаграммы гетеропереходов и сложных гетероструктур. Приводятся основные условия обеспечения необходимых рабочих характеристик лазеров - низкие пороги генерации, высокий КПД, рабочий ресурс. Основной упор сделан на использовании низкоразмерных гетероструктур для совершенствования квантовых приборов (полупроводниковые лазеры, приемники излучения, резонансных туннельных диодов, и др.). Обсуждаются основные проблемы дальнейшего развития таких приборов.

Дисциплина логически и содержательно-методически связана со следующими дисциплинами: фотоника, физика твердого тела, оптоэлектроника, взаимодействие излучения с веществом, волоконно-оптические линии связи.

### **1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**

В курсе рассматриваются вопросы физики и технологии полупроводниковых гетероструктур с целью получения когерентного излучения и с целью преобразования электромагнитного излучения в ток. Рассматриваются проблемы как классических, так и квантовых оптоэлектронных приборов на основе гетероструктур, даны их принципы построения. Приведены конкретные примеры.

### **2. МЕСТО УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП ВО**

Цикл: профессиональный цикл, вариативная часть.

Дисциплина логически и содержательно-методически связана со следующими дисциплинами: фотоника, физика твердого тела, оптоэлектроника, взаимодействие излучения с веществом, волоконно-оптические линии связи.

В курсе изучается физика, технология изготовления и различные применения полупроводниковых лазеров, включая квантовые каскадные лазеры, в народном хозяйстве и оборонной технике. Кратко приводятся необходимые сведения из физики полупроводников и квантовой электроники. Анализируются энергетические диаграммы гетеропереходов и сложных гетероструктур. Приводятся основные условия обеспечения необходимых рабочих характеристик лазеров - низкие пороги генерации, высокий КПД, рабочий ресурс. Основной упор сделан на использовании низкоразмерных гетероструктур для совершенствования квантовых приборов (полупроводниковые лазеры, приемники излучения, резонансных туннельных диодов, и др.). Обсуждаются основные проблемы дальнейшего развития таких приборов.

Овладение данной дисциплиной необходимо выпускникам для следующих областей профессиональной деятельности по исследованию и разработке:

- установок и систем в области физики конденсированного состояния вещества;
- методов повышения безопасности лазерных установок, материалов и технологий;
- лазерных установок и технологий, обладающих высокой эффективностью, безопасностью и защищенностью.

### 3. ФОРМИРУЕМЫЕ КОМПЕТЕНЦИИ И ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ

Универсальные и(или) общепрофессиональные компетенции:

Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции

Профессиональные компетенции в соответствии с задачами и объектами (областями знаний) профессиональной деятельности:

Задача профессиональной деятельности (ЗПД)	Объект или область знания	Код и наименование профессиональной компетенции; Основание (профессиональный стандарт-ПС, анализ опыта)	Код и наименование индикатора достижения профессиональной компетенции
<b>научно-исследовательский</b>			
- выявление актуальных проблем и тенденций в области физики - работа с научной литературой, в том числе с использованием информационных технологий, отслеживание отечественных и зарубежных работ в исследуемой области - выбор методов, современной аппаратуры и информационных технологий для проведения исследования - проведение теоретических и	физические объекты и системы различного масштаба, уровня организации, физические явления и процессы, физические, инженерно-физические, биофизические технологии, методы, приборы, устройства	ПК-3 [1] - Способен самостоятельно ставить конкретные задачи научных исследований в области физики и решать их с помощью современной аппаратуры и информационных технологий с использованием новейшего отечественного и зарубежного опыта  <i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 40.011	З-ПК-3 [1] - знать методы проведения научных исследований и выполнения опытно-конструкторских работ в области физики У-ПК-3 [1] - уметь самостоятельно формулировать цели, ставить задачи научных исследований в своей профессиональной сфере; решать физические задачи с помощью современной аппаратуры и информационных технологий с использованием новейшего отечественного и зарубежного опыта В-ПК-3 [1] - владеть навыками работы на современной аппаратуре, оборудовании; навыками использования информационных

экспериментальных исследований			технологий в своей профессиональной области
- выявление актуальных проблем и тенденций в области физики - работа с научной литературой, в том числе с использованием информационных технологий, отслеживание отечественных и зарубежных работ в исследуемой области - выбор методов, современной аппаратуры и информационных технологий для проведения исследования - проведение теоретических и экспериментальных исследований	физические объекты и системы различного масштаба, уровня организации, физические явления и процессы, физические, инженерно-физические, биофизические технологии, методы, приборы, устройства	ПК-1.2 [1] - Способен применять на практике знания лазерной физики, физики полупроводников, оптики, физических основ взаимодействия излучения с веществом для качественного и количественного описания исследуемых объектов и явлений  <i>Основание:</i> Профессиональный стандарт 40.039, 40.037, 40.006	3-ПК-1.2 [1] - Знать законы и принципы физики твердого тела, оптики, взаимодействия излучения с веществом, квантовой механики, лазерной физики У-ПК-1.2 [1] - Уметь формулировать, выделять, анализировать исходные данные об исследуемом объекте и явлении, исходя из законов и принципов физики твердого тела, оптики, взаимодействия излучения с веществом, квантовой механики, лазерной физики В-ПК-1.2 [1] - Владеть приемами и методами, используемыми в области физики твердого тела, оптики, взаимодействия излучения с веществом, квантовой механики, лазерной физики, для качественного и количественного описания исследуемых объектов и явлений

#### 4. ВОСПИТАТЕЛЬНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ ДИСЦИПЛИНЫ

Направления/цели воспитания	Задачи воспитания (код)	Воспитательный потенциал дисциплин
Профессиональное воспитание	- формирование культуры безопасности при работе с лазерным излучением (В32);	1.Использование воспитательного потенциала дисциплин «Введение в специальность», «Основы и применение синхротронного излучения», «Физика биологического действия радиации» и всех видов практик – ознакомительной, научно-исследовательской, педагогической, преддипломной для: - формирования культуры работы с патогенами, обеспечивающей безопасность и не распространение, приборами

		<p>дозиметрического контроля, радиационной и экологической безопасности посредством тематического акцентирования в содержании дисциплин и учебных заданий, подготовки эссе, рефератов, дискуссий по вопросам биобезопасности.</p> <p>Использование воспитательного потенциала профильных дисциплин и всех видов практик для: - формирования этических основ проведения экспериментов с использованием лабораторных животных посредством обсуждения техники безопасной работы с высокотехнологичным экспериментальным оборудованием, высокопроизводительной вычислительной техникой и с живыми системами.</p>
--	--	--

## 5. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Разделы учебной дисциплины, их объем, сроки изучения и формы контроля:

№ п.п	Наименование раздела учебной дисциплины	Недели	Лекции/Практ. (семинары) / Лабораторные работы, час.	Обязат. текущий контроль (форма*, неделя)	Максимальный балл за раздел**	Аттестация раздела (форма*, неделя)	Индикаторы освоения компетенции
	<i>8 Семестр</i>						
1	Раздел 1	1-8	15/8/0		25	КИ-8	3-ПК-3, У-ПК-3, В-ПК-3, 3-ПК-1.2, У-ПК-1.2, В-ПК-1.2,
2	Раздел 2	9-15	15/7/0		25	КИ-15	3-ПК-3, У-ПК-3, В-ПК-3, 3-ПК-1.2, У-ПК-1.2, В-ПК-1.2,
	<i>Итого за 8 Семестр</i>		30/15/0		50		

	<b>Контрольные мероприятия за 8 Семестр</b>				50	3, Э	3-ПК-3, У-ПК-3, В-ПК-3, 3-ПК-1.2, У-ПК-1.2, В-ПК-1.2,
--	---	--	--	--	----	------	--

\* – сокращенное наименование формы контроля

\*\* – сумма максимальных баллов должна быть равна 100 за семестр, включая зачет и (или) экзамен

Сокращение наименований форм текущего контроля и аттестации разделов:

Обозначение	Полное наименование
КИ	Контроль по итогам
З	Зачет

### КАЛЕНДАРНЫЙ ПЛАН

Недели	Темы занятий / Содержание	Лек., час.	Пр./сем., час.	Лаб., час.
	<i>8 Семестр</i>	30	15	0
<b>1-8</b>	<b>Раздел 1</b>	15	8	0
1 - 2	<b>Тема 1. Введение в курс «Физика гетероструктур»</b> История вопроса. Применение полупроводниковых гетероструктур в твердотельной электронике, оптоэлектронике и ИК технике. Элементы теории гетеропереходов. Построение энергетической диаграммы анизотипного и изотипного гетероперехода.	Всего аудиторных часов		
		3	2	0
		Онлайн		
		0	0	0
3 - 4	<b>Тема 2. Электрические свойства гетеропереходов</b> Вольтамперная и вольтемкостная характеристики гетеропереходов. Контакт металл – полупроводник. Инверсионный слой. Проблема получения омических контактов.	Всего аудиторных часов		
		4	2	0
		Онлайн		
		0	0	0
5 - 6	<b>Тема 3. Электрооптические приборы с гетеропереходами</b> Солнечные преобразователи, гетерофототранзисторы, преобразователи ИК излучения в видимое. Фотоприемники для ультрафиолетовой, видимой и инфракрасной области спектра. Фотоэмиттеры с отрицательным электронным средством.	Всего аудиторных часов		
		4	2	0
		Онлайн		
		0	0	0
7 - 8	<b>Тема 4. Гетеролазеры</b> Принцип действия полупроводникового лазера. Электронное и оптическое ограничение. Раздельное электронное и оптическое ограничение. Способы бокового ограничения. Характеристики гетеролазеров и проблемы их улучшения. Гетеролазеры с вертикальным выводом излучения (VCSEL).	Всего аудиторных часов		
		4	2	0
		Онлайн		
		0	0	0
<b>9-15</b>	<b>Раздел 2</b>	15	7	0
9	<b>Тема 5. Квантоворазмерные гетероструктуры</b> Анализ решения уравнения Шредингера для квантовой	Всего аудиторных часов		
		2	1	0

	ямы (бесконечной и конечной глубины). Плотность состояний в низкоразмерных системах. Квантовые ямы, нити и точки. Типы сверхрешеток. Структуры с двумерным электронным газом. Квантовый эффект Холла. Полевой транзистор с двумерным электронным газом (HEMT).	Онлайн		
		0	0	0
10	<b>Тема 6. Квантоворазмерные гетероструктуры (продолжение)</b> Классический туннельный диод и резонансный туннельный диод (РТД). Квантоворазмерные приемники излучения.	Всего аудиторных часов		
		2	1	0
		Онлайн		
		0	0	0
11 - 12	<b>Тема 7. Квантовые приборы</b> Гетеролазеры на квантовых точках. Нитридные гетеролазеры и светодиоды.	Всего аудиторных часов		
		4	2	0
		Онлайн		
		0	0	0
13	<b>Тема 8. Квантовый каскадный лазер</b> Принцип действия и типы рабочих переходов. Инжектор. Характеристики квантового каскадного лазера. Проблема расширения спектрального диапазона. Напряженно-компенсированные гетероструктуры.	Всего аудиторных часов		
		2	1	0
		Онлайн		
		0	0	0
14	<b>Тема 9. Квантовый каскадный лазер (продолжение)</b> Междузонный квантовый каскадный лазер и его характеристики. Лазеры для терагерцовой области спектра. Терагерцовая генерация методами нелинейной оптики.	Всего аудиторных часов		
		2	1	0
		Онлайн		
		0	0	0
15 - 16	<b>Тема 10. Материалы для гетероструктур</b> Принцип изопериодического замещения в многокомпонентных твердых растворах. Четырехкомпонентные диаграммы для выбора изопериодических составов в системах AlB5, AlB6 и AlB6. Особенности молекулярно-пучковой и МОС-гидридной эпитаксии для выращивания полупроводниковых гетероструктур. Аппаратура для молекулярно-пучковой эпитаксии в космосе.	Всего аудиторных часов		
		3	1	0
		Онлайн		
		0	0	0

Сокращенные наименования онлайн опций:

Обозначение	Полное наименование
ЭК	Электронный курс
ПМ	Полнотекстовый материал
ПЛ	Полнотекстовые лекции
ВМ	Видео-материалы
АМ	Аудио-материалы
Прз	Презентации
Т	Тесты
ЭСМ	Электронные справочные материалы
ИС	Интерактивный сайт

## 6. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

При освоении данной дисциплины основную роль играют аудиторские занятия в виде лекций (с визуализацией) и практических занятий, а также самостоятельная работа студентов, заключающаяся в изучении прослушанного материала, повторении ранее пройденного материала и подготовке к контрольным мероприятиям.

Предусмотрено широкое использование современных научных работ и публикаций по специализации программы, посещение лабораторий НИЯУ МИФИ, ФИАН. Рекомендуется посещение студентами научных семинаров и конференций, в том числе, проводимых в НИЯУ МИФИ и ФИАН, а также в других организациях-партнерах.

## 7. ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

Фонд оценочных средств по дисциплине обеспечивает проверку освоения планируемых результатов обучения (компетенций и их индикаторов) посредством мероприятий текущего, рубежного и промежуточного контроля по дисциплине.

Связь между формируемыми компетенциями и формами контроля их освоения представлена в следующей таблице:

Компетенция	Индикаторы освоения	Аттестационное мероприятие (КП 1)
ПК-3	З-ПК-3	З, КИ-8, КИ-15
	У-ПК-3	З, КИ-8, КИ-15
	В-ПК-3	З, КИ-8, КИ-15
ПК-1.2	З-ПК-1.2	З, КИ-8, КИ-15
	У-ПК-1.2	З, КИ-8, КИ-15
	В-ПК-1.2	З, КИ-8, КИ-15

## Шкалы оценки образовательных достижений

Шкала каждого контрольного мероприятия лежит в пределах от 0 до установленного максимального балла включительно. Итоговая аттестация по дисциплине оценивается по 100-балльной шкале и представляет собой сумму баллов, заработанных студентом при выполнении заданий в рамках текущего и промежуточного контроля.

Итоговая оценка выставляется в соответствии со следующей шкалой:

Сумма баллов	Оценка по 4-ех балльной шкале	Оценка ECTS	Требования к уровню освоению учебной дисциплины
90-100	5 – «отлично»	A	Оценка «отлично» выставляется студенту, если он глубоко и прочно усвоил программный материал, исчерпывающе, последовательно, четко и логически стройно его излагает, умеет тесно увязывать теорию с практикой, использует в ответе материал монографической литературы.
85-89	4 – «хорошо»	B	Оценка «хорошо» выставляется студенту, если он твёрдо знает материал, грамотно и по существу излагает его, не допуская существенных неточностей в ответе на вопрос.
75-84		C	
70-74		D	
65-69			



60-64	3 – «удовлетворительно»	Е	Оценка «удовлетворительно» выставляется студенту, если он имеет знания только основного материала, но не усвоил его деталей, допускает неточности, недостаточно правильные формулировки, нарушения логической последовательности в изложении программного материала.
Ниже 60	2 – «неудовлетворительно»	Ф	Оценка «неудовлетворительно» выставляется студенту, который не знает значительной части программного материала, допускает существенные ошибки. Как правило, оценка «неудовлетворительно» ставится студентам, которые не могут продолжить обучение без дополнительных занятий по соответствующей дисциплине.

## 8. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

### ОСНОВНАЯ ЛИТЕРАТУРА:

1. ЭИ 3-47 Основы физики полупроводников : учебное пособие, Москва: Физматлит, 2009
2. ЭИ А 46 Технология полупроводниковых материалов : , Санкт-Петербург: Лань, 2022
3. ЭИ Ш 18 Физика полупроводников : учебное пособие, Санкт-Петербург: Лань, 2022
4. 620 Г87 Материаловедение для микро- и нанoeлектроники : учебное пособие для вузов, Д. В. Громов , А. А. Краснюк , Москва: МИФИ, 2008

### ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА:

1. 621.3 М29 Нанотехнологии для микро- и оптоэлектроники : , Москва: Техносфера, 2007
2. 537 Г90 Основы физики полупроводников. Нанofизика и технические приложения : , Москва: Физматлит, 2012
3. 621.38 Ф50 Физика низкоразмерных систем : Учеб. пособие для вузов, А. Я. Шик [et al.], СПб: Наука, 2001

### ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ:

Специальное программное обеспечение не требуется

### LMS И ИНТЕРНЕТ-РЕСУРСЫ:

<https://online.mephi.ru/>

<http://library.mephi.ru/>

## **9. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**

Для реализации дисциплины используются учебные аудитории для проведения занятий лекционного типа, практических занятий, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации, а также помещения для самостоятельной работы. Учебные аудитории укомплектованы специализированной мебелью и техническими средствами обучения – мультимедийным оборудованием. Помещения для самостоятельной работы обучающихся оснащены рабочими местами, в том числе компьютерной техникой, с возможностью выхода в сеть «Интернет».

## **10. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ СТУДЕНТОВ**

Комплекс дисциплины предполагает ряд основных видов работы:

- аудиторная работа в виде лекций и практических занятий,
- самостоятельная работа,
- участие в круглых столах,
- выполнение контрольных работ.

Перечисленные виды работы составляют целостную систему обучения, обеспечивающую разностороннюю подготовку обучающегося и призваны к приобретению новых компетенций и повышению уровня его компетентности.

Структура курса предполагает освоение каждой предлагаемой темы в несколько этапов.

Начальный этап предусматривает проведение лекционных занятий.

На последующих этапах проводятся практические занятия, на которых студенты демонстрируют знания лекционного материала, подготовленность к занятиям, выполнение домашнего задания. Также предполагается самостоятельная работа студента по предложенным темам с последующим контролем со стороны преподавателя.

На заключительном этапе работы студентам предлагается выполнение контрольных работ.

Текущий контроль: в течение семестра выполняются следующие контрольные мероприятия:

- выполнение домашнего задания;
- выполнение контрольных работ.

Результаты выполнения контрольных мероприятий являются основанием для допуска к промежуточному контролю по дисциплине.

Промежуточный контроль осуществляется методом проверки и оценки ответов на предложенные вопросы.

Система оценки успеваемости студента

Для оценки успеваемости студента применяется 100-балльная система, которая позволяет учитывать работу студента в течение семестра и ответ на предложенные вопросы на зачете.

Учебная работа студента в семестре оценивается по следующим категориям: показатели посещаемости и эффективности работы на каждом занятии, результаты выполнения контрольных мероприятий.

Максимальное количество баллов, которое студент может получить в ходе аудиторной и самостоятельной работы в семестре, составляет 50 баллов.

Минимальное количество баллов, которое необходимо для допуска студента к промежуточной аттестации, составляет 30 баллов.

По итогам семестра проводится промежуточная аттестация, которая включает в себя письменный и устный ответ на предложенные вопросы.

В совокупности за промежуточную аттестацию студент может получить 50 баллов.

Итого, максимальная оценка по курсу по итогам семестра составляет 100 баллов, для аттестации по курсу необходимо набрать минимум 60 баллов.

## **11. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ ПРЕПОДАВАТЕЛЕЙ**

Комплекс дисциплины предполагает ряд основных видов работы:

- аудиторная работа в виде лекций и практических занятий,
- самостоятельная работа,
- участие в круглых столах,
- выполнение контрольных работ.

Перечисленные виды работы составляют целостную систему обучения, обеспечивающую разностороннюю подготовку обучающегося и призваны к приобретению новых компетенций и повышению уровня его компетентности.

Структура курса предполагает освоение каждой предлагаемой темы в несколько этапов.

Начальный этап предусматривает проведение лекционных занятий.

На последующих этапах проводятся практические занятия, на которых студенты демонстрируют знания лекционного материала, подготовленность к занятиям, выполнение домашнего задания. Также предполагается самостоятельная работа студента по предложенным темам с последующим контролем со стороны преподавателя.

На заключительном этапе работы студентам предлагается выполнение контрольных работ.

Текущий контроль: в течение семестра выполняются следующие контрольные мероприятия:

- выполнение домашнего задания;
- выполнение контрольных работ.

Результаты выполнения контрольных мероприятий являются основанием для допуска к промежуточному контролю по дисциплине.

Промежуточный контроль осуществляется методом проверки и оценки ответов на предложенные вопросы.

Система оценки успеваемости студента

Для оценки успеваемости студента применяется 100-балльная система, которая позволяет учитывать работу студента в течение семестра и ответ на предложенные вопросы на зачете.

Учебная работа студента в семестре оценивается по следующим категориям: показатели посещаемости и эффективности работы на каждом занятии, результаты выполнения контрольных мероприятий.

Максимальное количество баллов, которое студент может получить в ходе аудиторной и самостоятельной работы в семестре, составляет 50 баллов.

Минимальное количество баллов, которое необходимо для допуска студента к промежуточной аттестации, составляет 30 баллов.

По итогам семестра проводится промежуточная аттестация, которая включает в себя письменный и устный ответ на предложенные вопросы.

В совокупности за промежуточную аттестацию студент может получить 50 баллов.

Итого, максимальная оценка по курсу по итогам семестра составляет 100 баллов, для аттестации по курсу необходимо набрать минимум 60 баллов.

Автор(ы):

Засавицкий Иван Иванович, д.ф.-м.н.