

Министерство образования и науки Российской Федерации  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

ИНЖЕНЕРНО-ФИЗИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ БИОМЕДИЦИНЫ  
КАФЕДРА ПОЛУПРОВОДНИКОВОЙ КВАНТОВОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ И БИОФОТОНИКИ

ОДОБРЕНО НТС ИФИБ

Протокол № 5/25  
от 18.11.2025

## **ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ИТОГОВАЯ АТТЕСТАЦИЯ**

Направление подготовки 03.05.02 Фундаментальная и прикладная физика  
(специальность)

## Профиль подготовки (при его наличии)

### 03.05.02 Фундаментальная и прикладная физика

## Наименование образовательной программы (специализация)

Полупроводниковая квантовая электроника

## Квалификация (степень) выпускника

Физик. Преподаватель

## Форма обучения

очная

Москва

## **1. Область применения**

Фонд оценочных средств (ФОС) является неотъемлемой частью Итоговой аттестации (ИА) и предназначен для контроля и оценки образовательных достижений обучающихся, завершающих обучение по образовательной программе «Полупроводниковая квантовая электроника» по специальности 03.05.02 «Фундаментальная и прикладная физика».

Итоговая аттестация выпускников НИЯУ МИФИ по специальности 03.05.02 «Фундаментальная и прикладная физика» образовательной программе «Полупроводниковая квантовая электроника» является обязательной для всех выпускников этой специальности.

В соответствии с ФГОС ВО и рабочим учебным планом специальности 03.05.02 «Фундаментальная и прикладная физика» образовательной программы «Полупроводниковая квантовая электроника» ИА включает в себя итоговый экзамен по специальности и защиту выпускной квалификационной работы.

К ИА допускаются студенты, успешно завершившие в полном объеме освоение основной образовательной программы «Полупроводниковая квантовая электроника» специальности 03.05.02 «Фундаментальная и прикладная физика».

Студентам, успешно прошедшим ИА присваивается квалификация «Физик. Преподаватель» и выдается диплом о высшем образовании по специальности 03.05.02 «Фундаментальная и прикладная физика».

ИА проводится экзаменационной комиссией. Состав комиссии утверждается приказом ректора ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ» (НИЯУ МИФИ).

Итоговый экзамен по специальности и защита выпускной квалификационной работы проводятся в соответствии с календарным учебным планом и расписанием, утвержденным приказом НИЯУ МИФИ.

## **2. Цели и задачи фонда оценочных средств**

Целью Фонда оценочных средств является установление соответствия уровня подготовки обучающихся требованиям ФГОС ВО.

Для достижения поставленной цели Фондом оценочных средств по итоговой аттестации решаются следующие задачи:

- контроль и управление процессом приобретения обучающимися знаний, умений и навыков, предусмотренных в рамках данной программы обучения;

- контроль и оценка степени освоения общекультурных, общих профессиональных и специальных профессиональных компетенций, предусмотренных в рамках данной программы обучения;
- обеспечение соответствия результатов обучения задачам будущей профессиональной деятельности через совершенствование традиционных и внедрение инновационных методов обучения в образовательный процесс.

### **3. Контролируемые компетенции**

Итоговый экзамен по специальности и защита выпускной квалификационной работы являются заключительным этапом обучения студентов по образовательной программе «Полупроводниковая квантовая электроника» по специальности 03.05.02 «Фундаментальная и прикладная физика»

Итоговый экзамен по специальности ориентирован на проверку уровня сформированности следующих компетенций:

УК-1 УК-2 УК-3 УК-4 ПК-3 ПК-4 ПК-5 ПК-6 ПК-1.2 ПК-1.3 ПК-1.4 ПК-1.5 ПК-1.6 ПК-1.7

УК-1	Способен осуществлять критический анализ проблемных ситуаций на основе системного подхода, вырабатывать стратегию действий
УК-2	Способен управлять проектом на всех этапах его жизненного цикла
УК-3	Способен организовывать и руководить работой команды, вырабатывая командную стратегию для достижения поставленной цели
УК-4	Способен применять современные коммуникативные технологии, в том числе на иностранном(ых) языке(ах), для академического и профессионального взаимодействия
ПК-3	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
ПК-4	Способен планировать и организовывать физические исследования, научные семинары и конференции.
ПК-5	Способен принимать участие в разработке новых методов и методических подходов в научно-инновационных исследованиях и инженерно-технологической деятельности
ПК-6	Способен разрабатывать технические задания на проектирование технологических процессов и схем производства устройств, приборов, систем и комплексов
ПК-1.2	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
ПК-1.3	Способен ставить и решать теоретические и экспериментальные задачи в области физики конденсированного вещества, фотоники, физики лазеров,

	полупроводниковой физики, взаимодействия излучения с веществом
ПК-1.4	Способен осуществлять научное руководство исследованиями в области лазерной физики, физики конденсированного вещества, взаимодействия излучения с веществом
ПК-1.5	Способен к созданию и расчету устройств квантовой электроники и фотоники, применению их в науке, технике, промышленности и медицине
ПК-1.6	Способен осуществлять техническое руководство проектно-изыскательскими работами при проектировании объектов, ввод в действие и освоение проектных мощностей в области квантовой электроники и фотоники
ПК-1.7	Способен разрабатывать комплексные проекты по созданию новых приборов, устройств квантовой электроники и фотоники, и технологий их производства, с поэтапным планированием выполнения работ

Защита выпускной квалификационной работы ориентирована на проверку уровня сформированности следующих компетенций:

УК-1 УК-2 УК-3 УК-4 ПК-3 ПК-4 ПК-5 ПК-6 ПК-1.2 ПК-1.3 ПК-1.4 ПК-1.5 ПК-1.6  
ПК-1.7

УК-1	Способен осуществлять критический анализ проблемных ситуаций на основе системного подхода, вырабатывать стратегию действий
УК-2	Способен управлять проектом на всех этапах его жизненного цикла
УК-3	Способен организовывать и руководить работой команды, вырабатывая командную стратегию для достижения поставленной цели
УК-4	Способен применять современные коммуникативные технологии, в том числе на иностранном(ых) языке(ах), для академического и профессионального взаимодействия
ПК-3	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
ПК-4	Способен планировать и организовывать физические исследования, научные семинары и конференции.
ПК-5	Способен принимать участие в разработке новых методов и методических подходов в научно-инновационных исследованиях и инженерно-технологической деятельности
ПК-6	Способен разрабатывать технические задания на проектирование технологических процессов и схем производства устройств, приборов, систем и комплексов
ПК-1.2	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
ПК-1.3	Способен ставить и решать теоретические и экспериментальные задачи в области физики конденсированного вещества, фотоники, физики лазеров, полупроводниковой физики, взаимодействия излучения с веществом
ПК-1.4	Способен осуществлять научное руководство исследованиями в области лазерной физики, физики конденсированного вещества, взаимодействия излучения с веществом

ПК-1.5	Способен к созданию и расчету устройств квантовой электроники и фотоники, применению их в науке, технике, промышленности и медицине
ПК-1.6	Способен осуществлять техническое руководство проектно-изыскательскими работами при проектировании объектов, ввод в действие и освоение проектных мощностей в области квантовой электроники и фотоники
ПК-1.7	Способен разрабатывать комплексные проекты по созданию новых приборов, устройств квантовой электроники и фотоники, и технологий их производства, с поэтапным планированием выполнения работ

## **4. Оценочные средства итоговой аттестации**

### **4.1. Итоговый экзамен по специальности**

#### **4.1.1 Регламент проведения итогового экзамена по специальности**

Студенты обеспечиваются программой итогового экзамена по специальности по образовательной программе. В программе итогового экзамена по специальности содержится перечень вопросов, выносимых на итоговый экзамен по специальности, критерии оценки результатов сдачи итогового экзамена по специальности и рекомендации обучающимся по подготовке к итоговому экзамену по специальности, в том числе перечень рекомендуемой литературы.

Перед итоговым экзаменом по специальности проводится консультация и/или установочные лекции по вопросам утвержденной программы.

Итоговый экзамен по специальности проводится в устной форме. При проведении экзамена студенты получают экзаменационные билеты, содержащие вопросы, составленные в соответствии с утвержденной программой. На подготовку к ответу первому экзаменуемому предоставляется не менее 45 минут, остальные отвечают в порядке очередности. В процессе ответа и после его завершения члены Экзаменационной комиссии (ЭК) могут задать выпускнику уточняющие и дополнительные вопросы в пределах тематики экзаменационного билета.

По завершении итогового экзамена по специальности ЭК на закрытом заседании обсуждает ответы каждого экзаменуемого и выставляет согласованную итоговую оценку в соответствии с утвержденными в программе итогового экзамена по специальности критериями оценивания. Итоговая оценка за Итоговый экзамен по специальности сообщается выпускнику в день проведения экзамена.

#### **4.1.2 Программа итогового экзамена по специальности**

Итоговый экзамен по специальности состоит из ответов на вопросы билета и

дополнительные вопросы в рамках программы. Билет состоит из 2 вопросов, которые выбираются из перечня вопросов программы, по 1 вопросу из Раздела 1 и Раздела 2.

Вопросы для подготовки к Итоговому экзамену по специальности

**Раздел 1.**

**1.1. Колебания, основы молекулярной физики и термодинамики**

1. Свободные колебания системы без трения. Математический маятник. Физический маятник. Сложение гармонических колебаний одного направления. Биения. Затухающие колебания. Вынужденные колебания. Резонанс.

2. Различные формы записи уравнения состояния идеального газа. Уравнение адиабаты идеального газа. Работа, совершаемая идеальным газом при политропическом и адиабатическом процессе. Физический смысл энтропии идеального газа.

3. Число ударов молекул газа о стенку. Основное уравнение молекулярно-кинетической теории газов.

4. Распределение Максвелла. Наиболее вероятная скорость молекул, средняя арифметическая и средняя квадратичная скорости молекул. Распределение Больцмана. Распределение молекул по координатам. Барометрическая формула.

5. КПД тепловой машины. КПД цикла Карно. Теорема Карно.

6. Явления переноса. Диффузия газов. Вязкость газов. Теплопроводность газов.

**1.2. Основы электромагнетизма**

1. Линии напряженности электрического поля и эквипотенциальные поверхности. Связь между напряженностью и потенциалом. Работа силы электрического поля. Потенциал.

2. Электрический диполь в однородном и неоднородном поле (вращательный момент, энергия, сила). Дипольный электрический момент системы зарядов. Поле электрического диполя.

3. Поле вне и внутри объемно заряженного шара. Поле одной и двух заряженных плоскостей.

4. Электроемкость. Конденсаторы. Емкость плоского конденсатора. Энергия заряженного конденсатора. Энергия электрического поля. Плотность энергии.

5. Сила и плотность тока. Закон Ома и закон Джоуля-Ленца в интегральной и дифференциальной формах. Мощность тока. Удельная тепловая мощность тока.

6. Магнитное поле равномерно движущегося заряда. Сила Лоренца. Сила, действующая на заряд, движущийся в магнитном поле.

7. Закон Био-Савара-Лапласа. Теорема о циркуляции. Поле в центре и на оси кругового тока. Поле бесконечного прямого тока. Контур с током в однородном и неоднородном магнитном поле (вращательный момент, энергия, сила).

8. Явление электромагнитной индукции. Правило Ленца. Э.Д.С. индукции. Индуктивность соленоида. Токи замыкания и размыкания. Энергия магнитного поля

9. Ток смещения. Полный ток. Уравнения Максвелла.

**1.3. Основы волновой оптики**

1. Волновое уравнение. Уравнение плоской волны.

2. Эффект Доплера для звуковых и электромагнитных волн.

3. Принцип Гюйгенса. Принцип Ферма. Законы отражения и преломления.

4. Явление интерференции. Сложение двух электромагнитных волн. Интенсивность суммарной волны.

5. Временная когерентность, длина когерентности на примере опыта Юнга с монохроматическим протяженным источником.
6. Способы наблюдения интерференции света (зеркало Ллойда, бипризма и бизеркала Френеля).
7. Интерференционные полосы равного наклона. Интерференционные полосы равной толщины. Простой клин.
8. Кольца Ньютона. Интерференция света на тонких пленках. Просветление оптики.
9. Графическое сложение амплитуд. Зоны Френеля.
10. Дифракция Френеля на круглом отверстии и на диске. Дифракция Френеля на щели. Дифракция Фраунгофера на щели.
11. Дифракционная решетка. Положение и угловая ширина главных дифракционных максимумов дифракционной решетки. Дисперсия и разрешающая способность дифракционной решетки.
12. Дифракция рентгеновских лучей. Формула Брэгга-Бульфа.

#### ***1.4. Основы квантовой физики, строения вещества, атомной и ядерной физики***

1. Экспериментальные законы теплового излучения (Стефана-Больцмана, Вина).
2. Формула Планка. Вывод закона Стефана-Больцмана из формулы Планка.
3. Фотоэффект. Уравнение А. Эйнштейна для фотоэффекта.
4. Опыт Боте. Фотоны.
5. Эффект Комптона.
6. Постулаты Бора. Опыт Франка и Герца.
7. Элементарная боровская теория водородоподобного атома.
8. Гипотеза де-Бройля. Экспериментальные основания квантовой механики.
9. Соотношение неопределенностей Гейзенберга. Оценка размеров и минимальной энергии водородоподобного атома.
10. Соотношение неопределенностей Гейзенберга. Оценка минимальной энергии одномерного гармонического осциллятора.
11. Уравнение Шредингера. Физический смысл и свойства псевдофункции.
12. Частица в одномерной бесконечно глубокой потенциальной яме. Результаты квантовой механики для одномерного гармонического осциллятора.
13. Результаты квантовой механики для водородоподобного атома.
14. Собственный механический и магнитный моменты электрона. Магнетон Бора.
15. Принцип Паули. Заполнение электронных оболочек атома. Электронные конфигурации.
16. Характеристические рентгеновские спектры. Закон Мозли.
17. Комбинационное рассеяние света. Эффект Рамана.

## ***Раздел 2.***

### ***2.1. Физика конденсированного состояния***

1. Кристаллические структуры. Кристаллическая решетка. Свойства симметрии кристаллических решеток. Элементарная ячейка. Обратная решетка.
2. Индексы Миллера. Условие дифракции Лауэ. Формула Брэгга-Бульфа.
3. Электрон в периодическом потенциале. Теорема Блоха. Зоны Бриллюэна.
4. Формирование зонного спектра. Приближение почти свободных электронов.

Энергия Ферми и поверхность Ферми. Плотность состояний.

5. Энергетические состояния электронов в металле. Электронная структура металлов и металлическая связь. Зона Бриллюэна.

6. Динамика кристаллической решетки. Температура Дебая. Акустические и оптические ветви фононного спектра. Спектральная плотность фононов.

7. Теплоемкость решетки. Модель Эйнштейна и модель Дебая. Электронная теплоемкость.

8. Магнитоупорядоченные вещества. Ферромагнетики. Антиферромагнетики. Ферримагнетики.

9. Диэлектрики. Поляризация диэлектриков. Внутреннее поле в диэлектрике.

10. Пьезоэлектрики. Сегнетоэлектрики.

## **2.2. Физика полупроводников**

1. Статистика носителей заряда в полупроводнике. Электроны и дырки. Функция плотности состояний. Собственные и примесные полупроводники.

2. Плотность электронных состояний в объемном, двумерном, одномерном и нульмерном кристаллических полупроводниках.

3. Температурная зависимость положения уровня Ферми собственном полупроводнике.

Оптическая и термическая активация.

4. Зонная структура электронного энергетического спектра идеального полупроводника. Электронные состояния примесей и дефектов.

5. Представление об электронах и дырках в полупроводниках.

6. Межзонное поглощение в прямозонных и непрямозонных полупроводниках.

7. p-n переход. Инжекция неосновных носителей заряда в p-n переходе. Энергетическая диаграмма p-n -перехода в состоянии термодинамического равновесия.

8. Барьер Шоттки.

9. Механизмы рассеяния носителей заряда в полупроводниках. Рассеяние на заряженной примеси. Рассеяние на колебаниях решетки.

10. Неравновесные процессы в полупроводниках: генерация и рекомбинация, времена жизни.

11. Экситоны. Экситонное поглощение в полупроводниках.

12. Квантовый размерный эффект в полупроводниках.

13. Гетеропереходы и приборы на их основе.

## **2.3. Лазерная физика**

1. Спонтанные и индуцированные переходы.

2. Принцип действия лазера. Методы создания инверсной населенности.

3. Пороговое условие для получения генерации в лазере. Свободная генерация.

Стационарная генерация.

4. Механизмы уширения линий. Однородное и неоднородное уширение.

5. Открытый оптический резонатор. Собственные типы колебаний. Добротность резонатора. Селекция мод.

6. Модуляция добротности, синхронизация мод.

7. Газовые лазеры. Лазеры на атомах и ионах инертных газов. Молекулярные лазеры.

8. Твердотельные лазеры. Неодимовые лазеры на кристалле и на стекле.

9. Лазеры на красителях.
10. Полупроводниковые лазеры.
11. Волоконные лазеры.
12. Оптическое детектирование и генерация гармоник.
13. Самовоздействие света.

#### **4.1.3 Список литературы для подготовки к Итоговому экзамену по специальности**

##### ***Список литературы к Разделу 1:***

1. Савельев И.В. Курс общей физики: в 4 т. Москва: КНОРУС. Т.1: Механика. Молекулярная физика и термодинамика: учебное пособие для вузов. 2012. 522 с.
2. Савельев И.В. Курс общей физики: в 4 т. Москва: КНОРУС. Т.2: Электричество и магнетизм. Волны. Оптика. 2009. 570 с.
3. Савельев И.В. Курс общей физики: учебное пособие в 4 т. Москва: КНОРУС. Т.3: Квантовая оптика. Атомная физика. Физика твердого тела. Физика атомного ядра и элементарных частиц: учебное пособие для вузов. 2012. 360 с.
4. Иродов И.Е. Волновые процессы: основные законы: учебное пособие для вузов. Москва: Бином. Лаборатория знаний, 2015. 263 с.
5. Иродов И.Е. Квантовая физика: основные законы. Москва: Бином. Лаборатория знаний. 2014. 256 с.
6. Иродов И.Е. Электромагнетизм. Основные законы: учебное пособие для вузов. Москва: Бином. Лаборатория знаний, 2014. 320 с.
7. Мухин К.Н. Экспериментальная ядерная физика: учебник. Санкт-Петербург: Лань. Т.1: Физика атомного ядра. 2009. 383 с.
8. Мухин К.Н. Экспериментальная ядерная физика: учебник. Санкт-Петербург: Лань. Т. 2: Физика ядерных реакций. 2008. 318 с.
9. Мухин К.Н. Экспериментальная ядерная физика: учебник. Санкт-Петербург: Лань. Т. 3: Физика элементарных частиц. 2008. 412 с.
10. Бронштейн И.Н. Справочник по математике для инженеров и учащихся втузов: учебное пособие. Санкт-Петербург: Лань, 2009. 608 с.

##### ***Список литературы к Разделу 2:***

1. О. Звелто. Принципы лазеров. С.- Петербург, «Лань», 2011. 592с.
2. Карлов Н.В. Лекции по квантовой электронике, М., “Наука”, 1988.
3. Ходгсон, Н., Вебер Х. Лазерные резонаторы и распространение пучков. Основы, современные понятия и прикладные аспекты / Ходгсон Н. , Вебер Х. - Москва : ДМК Пресс, 2017. - 744 с. - ISBN 978-5-97060-176-1. –
4. Ельяшевич М.А. Атомная и молекулярная спектроскопия: Атомная спектроскопия. М.: URSS, 2007, 416 с.
5. Д.В. Сивухин. Общий курс физики. Т.ІУ. Оптика . М. Физматлит.2006. 792с.
6. Ахманов С.А., Никитин С.Ю. Физическая оптика. М., Наука : МГУ, 2004
7. Жуков А. Е., Основы физики и технологии полупроводниковых лазеров, Российская академия наук Санкт-Петербургский национальный исследовательский Академический университет (Академический университет), Том 4, стр. 364, 2016 год.

8. Г.М.Зверев, Ю.Д.Голяев. Лазеры на кристаллах и их применение. М., «Радио и Связь», 1994,- 312 с.
9. В.П. Быков, О.О. Силичев. Лазерные резонаторы. М. Наука, 2002г.
10. Ярив А. Квантовая электроника и нелинейная оптика. М., Сов. радио, 1980
11. В.С. Летохов, В.П. Чеботаев Нелинейной лазерная спектроскопия сверхвысокого разрешения. М.: Наука, 1990. 512 с.
12. А.Н. Пихтин. Оптическая и квантовая электроника. М., «Высшая школа»2001 г.,573с
13. В.Г. Дмитриев, Л.В. Тарасов. Прикладная нелинейная оптика. М. Наука, 2004г.
14. П.Г. Крюков. Фемтосекундные импульсы. М. ФИЗМАТЛИТ,2008. 208с.
15. А.В. Евдокимов, О.Ф. Очин Волоконные лазеры. Взаимодействие лазерного излучения с веществом. Учебное пособие. Москва. НТО "ИРЭ-Полюс".2017. 104 с.
16. А.В. Богданов, Ю.В. Голубенко, Волоконные технологические лазеры
17. Киттель Ч. Введение в физику твердого тела. М., Наука, 1978.
18. Ашкрофт Н., Мермин Н. Физика твердого тела, тт. I и II. М., Мир, 1979.
19. Уэрт Ч., Томсон Р. Физика твердого тела. М., Мир, 1969.
20. Займан Дж. Принципы теории твердого тела. М: Мир, 1974.
21. Павлов П.В., Хохлов А.Ф. Физика твердого тела. М.: Высшая школа, 2000.
22. Вонсовский С.В. Магнетизм. М., Наука, 1971.
23. Бонч-Бруевич В.Л., Калашников С.Г. Физика полупроводников. М., Наука, 1979 г.
24. Г.С. Ландсберг. Оптика. М. «ФИЗМАТЛИТ», 2010 г.
25. Забродский А.Г. Электронные свойства неупорядоченных систем. СПб. Наука, 2000. 72с.
26. И.Р.Шен. Принципы нелинейной оптики. М., 1989
27. Я.И.Ханин. Основы динамики лазеров. М., 1999
28. Л.Аллен, Дж.Эберли. Оптический резонанс и двухуровневые атомы. М., 1978
29. Ю.А.Ильинский, Л.В.Келдыш. Взаимодействие электромагнитного излучения с веществом. М., 1989
30. Д.Н.Клышко. Физические основы квантовой электроники. М., 1986

#### **4.1.4 Критерии оценивания по Итоговому экзамену по специальности**

Шкала оценивания результатов итогового экзамена по специальности лежит в пределах от 0 до установленного максимального балла включительно (100 баллов). 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 иочно усвоил программный материал, исчерпывающе, последовательно, четко и логически стройно его излагает, умеет тесно увязывать теорию с практикой, использует в ответе логические обоснования.
85-89	4 – «хорошо»	B	Оценка «хорошо» выставляется студенту, если он твёрдо знает материал,
75-84		C	

70-74		D	грамотно и по существу излагает его, не допуская существенных неточностей в ответе на вопрос.
65-69			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.
60-64	3 – «удовлетворительно»	E	Оценка «неудовлетворительно» выставляется студенту, который не знает значительной части программного материала, допускает существенные ошибки.
Ниже 60	2 – «неудовлетворительно»	F	Оценка «неудовлетворительно» выставляется студенту, который не знает значительной части программного материала, допускает существенные ошибки.

## 4.2 Выпускная квалификационная работа

### 4.2.1 Тематика выпускной квалификационной работы

При выборе темы выпускной квалификационной работы следует руководствоваться следующим:

- тема должна быть актуальной, соответствовать современному состоянию и перспективам развития науки, техники и технологии;
- основываться на проведенной научно-исследовательской работе, научно-производственной и преддипломной практике в процессе обучения в специалитете в соответствии с рабочим учебным планом;
- учитывать степень разработанности и освещенности ее в литературе;
- возможностью получения новых данных в процессе работы над выпускной квалификационной работой;
- интересами и потребностями предприятий и организаций, на материалах которых выполнена работа.

Примерная тематика выпускной квалификационной работы разрабатывается выпускающей кафедрой.

Студенту предоставляется право предложить собственную тему выпускной квалификационной работы при наличии обоснования ее актуальности и целесообразности либо заявки предприятия, организации, учреждения. При выборе собственной темы выпускной квалификационной работы студент подает заявление на имя ректора с просьбой разрешить ее написание.

При положительном решении вопроса о согласовании темы с предполагаемым руководителем выпускной квалификационной работы по представлению заведующего

выпускающей кафедрой приказом по НИЯУ МИФИ производится закрепление за студентом выбранной темы и ее научного руководителя.

Примеры тем выпускных квалификационных работ:

- Полупроводниковый дисковый лазер на структуре AlGaN<sub>x</sub>P с внутрирезонаторной накачкой в квантовые ямы
- Процессы рассеяния на оптических фононах в квантовых ямах GaAs/AlGaAs в квантующем магнитном поле
- Полупроводниковые лазеры AlGaAs/GaAs со связанными волноводами
- Синтез и лазерная абляция пористых пленок кремния
- Особенности омических контактов к лазерным гетероструктурам AlGaAs/GaAs
- Снижение влияния саморазогрева на эксплуатационные параметры импульсных лазерных дальномеров
- Разработка импульсного стабилизатора тока для питания лазерного дальномера

#### **4.2.2 Задание на выпускную квалификационную работу**

В задании на выпускную квалификационную работу указывается: тема работы, цель работы, научная проблема и конкретная задача в рамках проблемы, на решение которой направлено исследование, основные требования и исходные данные, научная и практическая ценность ожидаемых результатов работы, способ реализации результатов работы, перечень графического и иллюстративного материала (если наличие такого предполагается), основная рекомендуемая литература.

Дополнительно в задании научный руководитель выпускной квалификационной работы может указать: предлагаемые методы и подходы, ожидаемые в конце исследования научные результаты, современное состояние исследований в данной области науки, сравнение ожидаемых результатов с мировым уровнем, имеющийся у студента и его руководителя научный задел по предлагаемой теме (полученные ранее результаты), перечень оборудования и материалов, имеющихся для выполнения исследования, список основных публикаций руководителя выпускной квалификационной работы в рецензируемых журналах, научная и практическая ценность ожидаемых результатов работы.

Задание на выпускную квалификационную работу подписывается научным руководителем работы и студентом и сдается на выпускающую кафедру.

#### **4.2.3 Требования к выпускной квалификационной работе**

##### ***Требования к содержанию***

Содержание выпускной квалификационной работы должно учитывать требования ФГОС ВО и включать в себя:

- обоснование выбора предмета и постановку задачи исследования, выполненные на основе обзора литературы, в том числе с учетом периодических научных изданий и результатов патентного поиска;
- теоретическую и (или) экспериментальную части, включающие методы и средства исследований;
- быть актуальной и решать поставленную задачу;
- математические модели, расчеты, проектно-конструкторскую и (или) технологическую части (для работ в области техники и технологий);
- получение новых результатов, имеющих научную новизну и теоретическое, прикладное или научно-методическое значение;
- содержать элементы научного исследования;
- отвечать четкому построению и логической последовательности изложения материала;
- выполняться с использованием современных методов и моделей, а при необходимости с привлечением специализированных пакетов компьютерных программ;
- выводы и рекомендации;
- содержать убедительную аргументацию, для чего в тексте выпускной квалификационной работы может быть использован графический материал (таблицы, иллюстрации и пр.);
- список использованной литературы;
- приложения (при необходимости);
- апробацию полученных результатов и выводов в виде докладов на научных конференциях или подготовленных публикаций в научных журналах и сборниках (при наличии).

Выпускная квалификационная работа не должна иметь исключительно учебный или компилиативный характер.

### ***Требования к объему***

Примерный объем выпускной квалификационной работы без приложений составляет 60–80 страниц печатного текста.

Объем графического и иллюстрированного материала согласовывается студентом с научным руководителем.

### ***Требования к структуре***

Материалы выпускной квалификационной работы должны состоять из структурных элементов, расположенных в следующем порядке:

- титульный лист;
- содержание с указанием номеров страниц;
- реферат;
- введение;
- основная часть (разделы, подразделы, пункты, подпункты);
- заключение;
- библиографический список (ГОСТ Р7.05-2008);
- приложения;
- вспомогательные указатели.

Реферат, как краткое изложение содержания выпускной квалификационной работы, включает в себя:

- наименование и тему;
- сведения об объеме текстового материала выпускной квалификационной работы (количество страниц);
- количество иллюстраций (рисунков), таблиц, приложений, использованных источников;
- перечень ключевых слов;
- текст реферата.

Перечень ключевых слов характеризует основное содержание выпускной квалификационной работы и включает до 10 слов в именительном падеже, написанных через запятую в строку прописными буквами.

Аннотация выпускной квалификационной работы - объем краткой характеристики работы 1500–2000 печатных знаков (примерно одна страница). Краткая характеристика работы должна отражать тему, предмет, характер и цель выпускной квалификационной работы, методы исследования, полученные результаты и их новизну, область применения, возможность практической реализации.

Введение (содержит четкое и краткое обоснование выбора темы и выдвигаемой гипотезы, определение ее актуальности, предмета и объекта исследования, формулировку ее целей и задач, описание используемой при выполнении работы методов эмпирического исследования и обработки данных). Объем введения 2-4 страницы.

Основная часть содержит критический анализ состояния проблемы, предлагаемые способы решения проблемы, проверка и подтверждение результатов исследования с указанием практического приложения результатов и перспектив, которые открывают итоги исследования. Основная часть состоит из глав.

Заключение – последовательное логически стройное изложение итогов и их соотношение с общей целью и конкретными задачами, поставленными и сформулированными во введении. Заключение может включать в себя и практические предложения, что повышает ценность теоретического материала, но не должно повторять введение. Объем заключения 1-2 страницы.

Библиографический список. В список вносят все литературные источники, правовые и нормативные документы. Библиографический список помещают в конце текстового документа перед приложениями. Документы в списке располагают в порядке появления ссылок на них в тексте, нумеруют арабскими цифрами и печатают с абзацного отступа. В тексте документа номер источника согласно списку заключают в квадратные скобки. Каждый включенный в список использованной литературы источник должен иметь отражение в тексте выпускной квалификационной работы. В библиографическом списке должно быть представлено не менее 5 ссылок не старше 5 лет с момента их издания на момент защиты выпускной квалификационной работы.

Приложения. Каждое приложение должно начинаться с нового листа с указанием вверху листа по центру слова «Приложение» и иметь тематический заголовок.

Вспомогательные указатели. Выпускная квалификационная работа, как правило, снабжается вспомогательными указателями (наиболее распространенные – алфавитно-предметные указатели, представляющие собой перечень основных понятий, встречающихся в тексте, с указанием страниц).

### ***Требования к оформлению***

Общие требования: ГОСТ 7.1-2003. Текст выпускной квалификационной работы выполняют с использованием персонального компьютера. Печать диплома осуществляют на одной стороне листа белой бумаги, формата А4, шрифт – Times New Roman 14-го размера, межстрочный интервал – 1,5.

В выпускной квалификационной работе номер страницы проставляют в центре нижней части листа, страницы текстового материала следует нумеровать арабскими цифрами, соблюдая сквозную нумерацию по всему документу. Титульный лист текстового документа включают в общую нумерацию страниц. Номер страницы на титульном листе не проставляют.

Расстояние от края бумаги до границ текста следует оставлять:  
в начале строк – 30 мм; в конце строк – 10 мм; от верхней или нижней строки текста до верхнего или нижнего края бумаги – 20 мм.

Размер абзацного отступа должен быть одинаковым по всему тексту выпускной квалификационной работы и равным 12,5 мм.

Разделы должны иметь порядковые номера в пределах всей выпускной квалификационной работы, обозначенные арабскими цифрами.

Подразделы должны иметь нумерацию в пределах каждого раздела. Номера подразделов состоят из номера раздела и подраздела, разделенных точкой. В конце номера подраздела точка не ставится.

Нумерация пунктов должна состоять из номера раздела, подраздела и пункта, разделенных точкой.

Заголовок разделов, подразделов и пунктов следует печатать с абзацного отступа, с прописной буквы, без точки в конце, не подчеркивая. Заголовки структурных элементов располагают симметрично тексту и отделяют от текста интервалом в одну строку.

Расстояние между заголовком и текстом должно быть равно 3 интервалам. Расстояние между заголовками раздела и подраздела – 2 интервала.

Список использованных источников должен быть оформлен в соответствии с ГОСТ 7.1-2003 «Библиографическая запись. Библиографическое описание».

Графическая часть выпускной квалификационной работы (чертежи, схемы и т. п.) выполняется с соблюдением соответствующих государственных стандартов.

#### **4.2.4 Организация работы над выпускной квалификационной работой**

Процесс подготовки и выполнения выпускной квалификационной работы включает следующие этапы:

- составление задания и выбор направления исследования;
- теоретические и прикладные исследования;
- оценка результатов исследования и оформление выпускной квалификационной работы;
- подготовка к защите;
- защита выпускной квалификационной работы.

#### ***Подготовка к защите***

Выполнившие программу теоретического обучения и успешно сдавшие экзамены студенты допускаются к выполнению выпускной квалификационной работы. На подготовку

и написание выпускной квалификационной работы отводится количество недель в соответствии с ФГОС ВО и календарному плану по специальности, в течение которых студент работает со своим научным руководителем, контролирующим уровень и качество выполнения работы.

Выполнение выпускной квалификационной работы производится в соответствии с заданием и графиком выполнения работы, составленными и утвержденными в установленном порядке. При несоблюдении графиков выполнения работы студентом могут быть наложены меры дисциплинарного воздействия, вплоть до отчисления по решению кафедры.

Полностью подготовленная к защите выпускная квалификационная работа представляется в сроки, предусмотренные индивидуальным планом научному руководителю, который подготавливает отзыв. Отзыв пишется в произвольной форме с учетом следующих положений:

- соответствие выполненной выпускной квалификационной работы специальности, по которому ЭК (далее – экзаменационная комиссия) предоставлено право проведения защиты работы;
- актуальность темы, теоретический уровень и практическая значимость;
- глубина и оригинальность решения поставленных вопросов;
- оценка готовности такой работы к защите;
- заканчивается отзыв указанием на степень соответствия ее требованиям к выпускным квалификационным работам специалиста.

По ходу выполнения выпускной квалификационной работы студент обязан проходить контрольные рубежи, согласно утвержденному графику.

На контрольные рубежи, которые проводятся на заседании выпускающей кафедры, студент, после согласования с научным руководителем, должен предоставить рабочий вариант глав выпускной квалификационной работы, с краткой характеристикой выполненных и планируемых этапов работы.

По решению выпускающей кафедры студент с готовой и полностью оформленной выпускной квалификационной работой проходит предзащиту на кафедре.

На основании результатов предзащиты и письменного отзыва с оценкой научного руководителя на выпускающей кафедре принимается решение о допуске студента к защите.

Выпускная квалификационная работа специалиста подлежит обязательному рецензированию. Оценка фиксируется в отзыве рецензента.

Выпускная квалификационная работа проверяется на плагиат. Для допуска к защите требуется доля заимствований в выпускной квалификационной работе не должна превышать 30%.

#### **4.2.5 Требования к организации и проведению защиты ВКР**

Выпускная квалификационная работа должна быть представлена в форме рукописи.

Выпускная квалификационная работа оценивается по следующим критериям:

- актуальность;
- уровень теоретической проработки проблемы, включая знание современной литературы;
- полнота и системность вносимых предложений по рассматриваемой проблеме;
- самостоятельность разработки проблемы;
- возможность практической реализации.

ВКР специалиста выполняется на базе теоретических знаний и практических навыков, полученных в течение всего срока обучения, с преемственной ориентацией на знания, полученные в процессе освоения дисциплин специализации и полученных студентом в процессе выполнения научно-исследовательской и прохождения производственной практики.

ВКР специалиста должна представлять собой самостоятельное исследование, связанное с разработкой теоретических, опытно - конструкторских, прикладных задач, или разработку конкретных творческих проблем, определяемых спецификой образовательной программы и специальности.

В выпускной квалификационной работе выпускник должен показать умение использовать методы речевой коммуникации, навыки составления и оформления научно-технической и проектной документации, навыки к самостоятельному выполнению экспериментального и/или теоретического исследования для решения научных и производственных задач с использованием современной техники и методов расчета и исследования; навыки оценки современного состояния научных исследований и технологий в области оптики и лазерной физики, полупроводниковой квантовой электроники, физики полупроводников,nanoструктур, взаимодействия лазерного излучения с веществом; навыки кооперации с коллегами и работы в коллективе.

Обязательно на защиту должны быть представлены характеристика (отзыв) научного руководителя ВКР и рецензия на ВКР.

Защита выпускной квалификационной работы является частью итоговой аттестации выпускников специалитета и регулируется Положением об итоговой аттестации выпускников НИЯУ МИФИ.

Защита ВКР проводится публично на заседаниях экзаменационных комиссий с участием не менее двух третей ее состава.

Основной задачей ЭК является обеспечение профессиональной объективной оценки научных знаний и практических навыков (компетенций) выпускников специалитета на основании экспертизы содержания ВКР и оценки умения выпускника представлять и защищать ее основные положения. Работа ЭК осуществляется в соответствии с утвержденным графиком. Решение об итогах защиты и оценка принимаются простым большинством на закрытом заседании членов ЭК.

При успешной защите ВКР и положительных результатов по итоговому экзамену по специальности, включенных в итоговую аттестацию выпускников, решением экзаменационной комиссии выпускнику присуждается квалификация «Физик.Преподаватель» и выдается диплом о высшем образовании.

В решении ЭК может быть сформулирована рекомендация для продолжения обучения в аспирантуре, а также результаты ВКР могут быть рекомендованы к публикации или внедрению. В случае разделения мнения между членами комиссии о вынесении той или иной оценки и о присвоении квалификации поровну выносится та оценка и принимается то решение, которое поддержал председатель комиссии.

Выпускнику, сдавшему экзамены не менее чем по 75% дисциплин с оценкой «отлично», а по остальным 25% – с оценкой «хорошо» и прошедшему все виды итоговых аттестационных испытаний с оценкой «отлично», выдается диплом с отличием.

#### **4.2.6 Оценочные средства для проведения защиты ВКР**

Перечень вопросов для оценивания уровня сформированности компетенций

1	Какие профессиональные знания Вы приобрели в ходе выполнения и подготовки ВКР?
2	Укажите с какими исходными данными Вы работали? Как оценивали исходные данные?
3	Какие современные методы исследования, оценивания результатов работы Вы использовали?
4	Какие современные средства Вы использовали для представления результатов выполненной работы?
5	Какие стандарты, технологии и средства Вы использовали при подготовке документации по ВКР?
6	Какие знания, умения и навыки, полученные на предыдущих этапах обучения, Вы использовали при выполнении заданий по ВКР?
7	Какие экспериментальные, теоретические, компьютерные и другие методы

	исследований, решения задач Вы применяли при выполнении заданий по ВКР?
8	Какие задачи и проблемы были решены Вами при выполнении заданий ВКР?
9	Какие исследования были проведены Вами? Цель Вашей работы?
10	Каким оборудованием, программным обеспечением и другими объектами Вы пользовались для выполнения ВКР?
11	Укажите состав коллектива, в котором Вы выполняли ВКР, и свою роль в его работе?
12	Какие профессиональные задачи были решены при выполнении ВКР?
13	Охарактеризуйте источники (статьи, книги и др.), использованные при выполнении ВКР?
14	Каковы современные тенденции исследований в области науки, техники, к которой относится тематика ВКР?
15	Как оценивалась исходная задача? Какие результаты были получены?
16	Практическая значимость полученных результатов?

#### 4.2.7 Оценочные средства итоговой аттестации

##### Критерии оценок выпускной квалификационной работы

№ п/п	Показатель качества	Критерии оценки показателя			
		«отлично»	«хорошо»	«удовлетворительно»	«неудовлетворительно»
1	Актуальность темы, новизна работы	<ul style="list-style-type: none"> <li>Соответствует современным направлениям науки.</li> <li>Имеются новые результаты, полученные впервые.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Направлена на решение конкретной задачи по специальности 03.05.02 «Фундаментальная и прикладная физика» образовательной программы «Полупроводниковая квантовая электроника»</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Соответствует типовой тематике кафедры (не раз данная тема использовалась на прошлых защите).</li> </ul>	
2	Соответствие содержания теме, заданию	<ul style="list-style-type: none"> <li>Четко сформулированы цель и задачи, направленные на решения проблемы.</li> <li>Структура и содержание работы соответствуют теме исследования.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Сформулированы цель и задачи.</li> <li>Структура и содержание работы соответствуют теме исследования.</li> <li>Работа выполнена с незначительными нарушениями графика.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Цель и задачи сформулированы не четко.</li> <li>Имеются несоответствия содержания заданию.</li> <li>Работа выполнена с нарушениями графика.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Цель и задачи сформулированы не четко.</li> <li>Имеются значительные несоответствия содержания заданию.</li> <li>Работа выполнена с нарушениями графика.</li> </ul>
3	Степень изученности проблемы (теоретическая обоснованность работы)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Тема глубоко изучена</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Проблема изложена посредством систематизации точек зрения авторов информационных источников. Имеются отдельные неточности в ссылках на источники информации</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Проанализировано недостаточное количество источников.</li> <li>Обзор носит описательный характер.</li> <li>Использованы не все действующие нормативные и методические документации.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Поверхностный обзор недостаточного количества источников.</li> <li>Использование недействующих (устаревших) документов.</li> </ul>

4	Системность работы, логическая взаимосвязь всех частей ВКР между собой и общей проблемой.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Все части ВКР логически связаны.</li> <li>• В практических частях решаются проблемы, обозначенные в теоретической и аналитической частях.</li> <li>• В заключении представлены все результаты.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Все части логически, связаны</li> <li>• В практической части решаются проблемы, обозначенные в теоретической и аналитической частях.</li> <li>• В заключении представлены все результаты.</li> <li>• Имеются некоторые несоответствия</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Недостаточная глубина и обоснованность при выполнении одной из частей.</li> <li>• Фактический материал недостаточен и представлен без должного анализа.</li> <li>• Выводы не аргументированы.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Все разделы выполнены поверхностно.</li> <li>• Задачи не решены.</li> </ul>
5	Степень практической реализации результатов работы.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Результаты выражены в виде разработанных методических документов, принятых или рекомендованных к внедрению.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Результаты выражены в виде разработанных методических документов.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Результаты представлены отдельными фрагментами документов, несоответствующими предъявляемым требованиям.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Отсутствуют разработанные документы или в них содержатся принципиальные ошибки.</li> </ul>
6	Самостоятельность при выполнении работы.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Работа выполнена самостоятельно, проявлена инициатива и творческий подход к работе.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Работа выполнена самостоятельно при незначительной помощи руководителя.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• При выполнении работы требовалось постоянное вмешательство руководителя.</li> <li>• Материал заимствовался из других источников.</li> </ul>	

7	Компетенция, проявленная на защите	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Грамотное, логически правильное изложение доклада с соблюдением норм времени.</li> <li>• Аргументированные и правильные ответы на все заданные вопросы.</li> <li>• Продемонстрировано знание задач в области профессиональной деятельности умение их решать.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Грамотное, логически правильное изложение доклада с соблюдением норм времени.</li> <li>• Неполное или неуверенное выступление, чтение доклада по тексту</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Неправильные ответы на большинство заданных вопросов.</li> <li>• Неправильные ответы на отдельные вопросы.</li> <li>• Неуверенное выступление, чтение доклада по тексту.</li> <li>• Принципиальные ошибки в ответах на заданные вопросы.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Незнание задач профессиональной деятельности</li> </ul>
---	------------------------------------	--	---	--	--

