

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

**УТВЕРЖДЕНО**

**Директор физтех-школы  
электроники, фотоники и  
молекулярной физики  
В.В. Иванов**

**Программа государственной итоговой аттестации  
Подготовка к сдаче и сдача государственного экзамена**

<b>по направлению:</b>	Прикладные математика и физика
<b>профиль подготовки:</b>	Физика перспективных технологий: электроника и квантовые Физтех-школа Электроники, Фотоники и Молекулярной Физики
<b>курс:</b>	2
<b>квалификация:</b>	магистр
<b>семестр:</b>	3 (Осенний)

Программу составили:

В.А. Надточенко, д-р хим. наук, профессор  
М.В. Алфимов, д-р физ.-мат. наук, профессор  
К.В. Чукбар, д-р физ.-мат. наук, доцент  
П.Р. Левашов, канд. физ.-мат. наук  
Т.П. Сорокина, канд. физ.-мат. наук, доцент  
А.С. Дикалюк, канд. физ.-мат. наук

Программа обсуждена на заседании Физтех-школы Электроники, Фотоники и Молекулярной Физики  
04.06.2020

## 1. Цели и задачи

### Цели

Целью государственного экзамена по специальности является установление уровня подготовки обучающегося по специальным (профильным) дисциплинам, определяющим профиль (направленность) образовательной программы и соответствия результатов освоения обучающимся образовательной программы требованиям образовательного стандарта по направлению подготовки.

### Задачи

- оценка степени освоения обучающимися теоретических положений дисциплин, формирующих специальные знания в рамках освоения образовательной программы;
- оценка умения применять полученные знания для решения конкретных задач.

## 2. Перечень компетенций, уровень сформированности которых оценивается при проведении государственного экзамена

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
ОПК-1 Владеет системой фундаментальных научных знаний в области физико-математических наук	ОПК-1.1 Знает и способен использовать в профессиональной деятельности фундаментальные научные знания в области физико-математических наук
	ОПК-1.2 Способен обобщать и критически оценивать опыт и результаты научных исследований в области профессиональной деятельности
	ОПК-1.3 Понимает междисциплинарные связи в области математики и физики и способен их применять при решении задач профессиональной деятельности
ПК-1 Способен ставить, формализовывать и решать задачи, в том числе разрабатывать и исследовать математические модели изучаемых явлений и процессов, системно анализировать научные проблемы, получать новые научные результаты	ПК-1.1 Способен находить, анализировать и обобщать информацию об актуальных результатах исследований в рамках тематической области своей профессиональной деятельности
	ПК-1.2 Способен выдвигать гипотезы, строить математические модели для описания изучаемых явлений и процессов, оценивать качество разработанной модели

## 3. Перечень примерных вопросов, выносимых на государственный экзамен

По разделу «Вакуумная электроника»

1. Термоэлектронная эмиссия в вакуум. Формула Ричардсона–Дэшмана. Методы измерения работы выхода электронов.
2. Токопрохождение в вакуумном термоэмиссионном диоде. Ток, ограниченный пространственным зарядом.
3. Потенциальный барьер на границе раздела: проводник–вакуум. Внешняя контактная разность потенциалов (КРП) и методы ее экспериментального определения. Влияние КРП на характеристики электронных приборов.
4. Полевая эмиссия электронов из металла в вакуум (автоэлектронная эмиссия). Модель Фаулера–Нордгейма. Количественные оценки величины требуемого электрического поля. Причины

нестабильности тока автоэмиссии и разрушения автокатодов.

5. Вторичная электронная эмиссия (ВЭЭ). Истинно вторичные, оже- и упруго отраженные электроны. Электронные и фотоэлектронные умножители.

6. Растровый электронный микроскоп (принцип действия, возможности).

7. Сканирующий туннельный микроскоп (принцип действия, возможности).

8. Автоионный и автоэлектронный проектор (принцип действия, возможности).

По разделу «Физика твердого тела»

1. Определение кристаллических и аморфных твердых тел, узлы и векторы решетки, элементарная ячейка.

2. Векторы обратной решетки, ячейка Вигнера – Зейтца.

3. Механизмы притяжения и отталкивание атомов при образовании кристаллической решетки.

4. Решетка Бравэ.

5. Точечная и пространственная симметрия кристаллов. Кристаллические классы.

6. Акустические и оптические фононы, ветви колебаний, зоны Бриллюэна.

7. Теплоемкость твердых тел. Модель Дебая и приближение Эйнштейна.

8. Продольные и поперечные акустические волны в анизотропных твердых телах.

9. Ангармонизм кристаллической решетки и тепловое расширение.

10. Механизмы поляризуемости анизотропных твердых тел.

11. Пьезоэлектричество.

12. Диэлектрическая проницаемость кристаллов и ее частотная зависимость.

13. Обменное взаимодействие. Манитопорядоченные среды.

14. Уравнение Ландау-Лифшица и ферромагнитный резонанс. Спиновые волны.

По разделу «Физика полупроводниковых приборов»

1. Электронно-дырочный переход (р-п). Инжекция и экстракция неосновных носителей заряда. Вольт-амперная характеристика р-п перехода. Генерация и рекомбинация носителей в р-п переходе. Пробой р-п перехода: тепловой, лавинный, туннельный.

2. Контакты металл-полупроводник. Контакт Шоттки. Омический контакт. Эффект Шоттки.

3. Структуры металл-диэлектрик-полупроводник (МДП). Характеристики идеальной МДП-структуры. Явления переноса носителей заряда в диэлектрических пленках.

4. Полупроводниковые диоды. Основные параметры и характеристики диодов, их зависимость от температуры и режима.

5. Биполярные транзисторы. Структура и принцип действия. Основные параметры и характеристики транзисторов, их зависимость от температуры и режима.

6. Полевые МДП транзисторы. Принцип действия. Основные параметры и характеристики полевых

транзисторов. МДП транзисторы с индуцированным и встроенным каналами.

7. Туннельный диод. Обращенный диод.

8. Диод Зенера.

9. Диод Ганна.

По разделу «Физические основы фотоники»

1. Поглощение, спонтанное и вынужденное испускание электромагнитного излучения квантовой системой. Коэффициенты Эйнштейна.

2. Теория теплового излучения М.Планка. Постоянная Планка и дискретность в квантовой физике.

3. Объяснение Эйнштейном законов фотоэффекта и концепция фотона.

4. Квантование электромагнитного поля (на качественном уровне). Энергетические и когерентные состояния электромагнитного поля.

5. Спектроскопический принцип соответствия между классической и квантовой физикой. Атом как совокупность осцилляторов переходов. Сила осциллятора.

7. Сечения поглощения и рассеяния электромагнитного излучения на атоме, их связь с динамической поляризуемостью.
8. Макроскопическое электромагнитное поле и уравнения Максвелла в среде.
9. Свободные и связанные заряды в веществе. Поляризация и диэлектрическая восприимчивость среды. Локальное поле в веществе. Формула Клаузиуса-Моссоти.
10. Диэлектрическая проницаемость среды. Соотношения Крамерса-Кронига. Плазменная формула для диэлектрической проницаемости.
11. Распространение плоских электромагнитных волн в среде. Законы дисперсии для поперечных и продольных волн. Плазмоны и поляритоны.
12. Поглощение и усиление электромагнитного излучения в среде. Инверсия населенностей и коэффициент усиления.
13. Законы отражения и преломления электромагнитных волн. Формулы Френеля для нормального падения излучения. Угол Брюстера и угол полного внутреннего отражения.
14. Физические основы передачи оптической информации по диэлектрическим волноводам.
15. Оптические запрещенные зоны и физические принципы использования фотонных кристаллов.

По разделу «Квантовая электроника»

1. Пороговые условия для возбуждения квантовых генераторов. Однородное и неоднородное уширение линий.
2. Балансные уравнения для населённости и плотности лазерного излучения в двухуровневом приближении с учётом накачки, распадов населённости и потерь в оптическом резонаторе.
3. Усиление лазерного излучения, эффект насыщения.
4. Режимы свободной генерации, модуляции добротности и синхронизации мод.
5. Физические явления в мощных световых полях: самофокусировка, генерация гармоник, вынужденные рассеяния.
6. Параметры и особенности генерации твердотельных лазеров (на алюмо-иттриевом гранате)
7. Параметры и особенности генерации газовых лазеров (гелий-неоновых).
8. Параметры и особенности генерации полупроводниковых лазеров (на арсениде-галлия).

По разделу «Электронные свойства твердых тел»

1. Волновые функции электрона в периодическом потенциале.
2. Электронная зонная структура в приближении почти свободных электронов.
3. Связь энергетической зонной структуры твердого тела с атомными уровнями энергии.
4. Особенности электронного спектра металлов, полупроводников и диэлектриков.
5. Метод эффективной массы в полупроводниках.
6. Температурная зависимость концентрации носителей заряда в полупроводниках.
7. Экситоны Ванье-Мотта.
8. Статистическое распределение равновесных электронов и дырок в полупроводниках.
9. Разогрев электронного газа в электрическом поле.
10. Механизм рассеяния носителей тока и электропроводность металлов и полупроводников.
11. Термо ЭДС.
12. Вклад электронного газа в теплопроводность.
13. Эффект Холла в полупроводниках.
14. Контакт металл-полупроводник.
15. Неравновесная электронная функция распределения и кинетическое уравнение, которому она подчиняется.

Вопрос для всех билетов.

Краткий доклад о поставленной задаче и основных результатах научно-исследовательской работы.

#### 4. Порядок сдачи государственного экзамена

К государственному экзамену по направлению (специальности) подготовки допускается обучающийся, в полном объеме выполнивший учебный план образовательной программы и не имеющий академических задолженностей.

Государственный экзамен проводится в устной форме по экзаменационным билетам.

В экзаменационном билете два теоретических вопроса из представленных в программе ГИА вопросов. Обучающемуся в качестве третьего вопроса также предлагается сделать краткий доклад о поставленной задаче и достигнутых результатах своей научно-исследовательской работы, выполняемой в рамках производственной практики.

После завершения устного ответа члены ГЭК могут задать дополнительные и уточняющие вопросы.

Продолжительность государственного экзамена составляет:

- время на подготовку по билету: 40 минут
- время опроса по билету не более 60 минут, включая время на доклад и обсуждение вопроса о результатах научно-исследовательской работы. Время, отводимое на доклад по результатам научно-исследовательской работы не должно превышать 10 минут.

Во время подготовки к теоретическим вопросам билетов не разрешается пользоваться конспектами, литературой, компьютерами и др. электронными устройствами с выходом в сеть "Интернет", телефоном. В процессе подготовки к ответу экзаменуемому разрешается пользоваться данной программой ГИА. Во время ответа на вопрос о результатах научно-исследовательской работы разрешается использовать заранее подготовленную презентацию на плакатах, в виде раздаточного материала или на компьютерах.

#### 5. Описание материально-технической базы, необходимой для проведения государственного экзамена

Аудитория для проведения консультаций и аттестационного испытания, оснащенная рабочими местами для обучающихся и государственной экзаменационной комиссии, доской, мультимедийным оборудованием.

#### 6. Перечень рекомендуемой литературы

##### Основная литература

1. Подготовка и защита бакалаврской работы, магистерской диссертации, дипломного проекта [Электронный ресурс], учеб. пособие / Ю. Н. Новиков. — СПб., Лань, 2019.— URL: <https://e.lanbook.com/book/122187> (дата обращения: 29.01.2021). - Полный текст (Режим доступа : из сети МФТИ / Удаленный доступ)
2. Электроника. В 4 частях. Часть 2, Микроэлектроника, учебник для вузов / А. А. Щука . — Москва, Юрайт , 2020.— URL: <https://urait.ru/bcode/451675> (дата обращения: 15.12.2020). - Полный текст (Режим доступа : из сети МФТИ / Удаленный доступ)
3. Электроника. В 4 частях. Часть 3, Квантовая и оптическая электроника, учебник для вузов / А. А. Щука . — Москва, Юрайт , 2020.— URL: <https://urait.ru/bcode/451676> (дата обраще

4. Электроника. В 4 частях. Часть 4, Функциональная электроника, учебник для вузов / А. А. Щука . — Москва, Юрайт , 2020.— URL: <https://urait.ru/bcode/451677> (дата обращения: 15.12.2020). - Полный текст (Режим досту
5. Электроника. В 4 частях. Часть 1, Вакуумная и плазменная электроника , учебник для вузов / А. А. Щука . — Москва, Юрайт , 2020.— URL: <https://urait.ru/viewer/elektronika-v-4-ch-chast-1-vakuumnaya-i-plazmennaya-e>

#### Дополнительная литература

1. Искусство писать научные статьи, научно-практическое руководство / Е. З. Мейлихов. — Долгопрудный, Интеллект, 2020.— URL: <http://books.mipt.ru/book/301312> (дата обращения: 18.12.2020). - Полный текст (Режим доступа : из сети МФТИ / Удаленный доступ)
2. Автоэлектронная эмиссия. Принципы и приборы [Текст] = [учеб. пособие для вузов] / Н. В. Егоров, Е. П. Шешин .— Долгопрудный : Интеллект, 2011 .— 704 с. - Библиогр. в конце глав. - 800 экз. - ISBN 978-5-91559-027-3 (в пер.).

### 7. Рекомендации обучающимся по подготовке к государственному экзамену

При подготовке к устной части государственного экзамена обучающимся рекомендуется вспомнить темы математических дисциплин, входящие в программу устной части государственного экзамена, используя при необходимости конспекты лекций и рекомендуемую литературу. После повторения каждой темы обучающемуся рекомендуется ключевые моменты (формулировки, определения, формулы) без использования литературы и вспомогательных средств. Если это не удастся, то рекомендуется повторить данную процедуру.

Для подготовки ответа на вопрос по теме научно-исследовательской работы рекомендуется подготовить презентацию на 4-6 слайдов.

### 8. Методика и критерии оценки государственного экзамена

Результаты сдачи государственного экзамена определяются оценками «отлично», «хорошо», «удовлетворительно», «неудовлетворительно». Оценки «отлично», «хорошо», «удовлетворительно» означают успешную сдачу государственного экзамена.

Критерии оценок государственного экзамена:

отлично (10) – правильный, четкий и уверенный ответ на три вопроса билета и дополнительные вопросы;

отлично (9) – даны правильные ответы на три вопроса билета и дополнительные вопросы с незначительными неточностями;

отлично (8) – даны ответы на три вопроса билета и дополнительные вопросы после небольших исправлений и наводящих вопросов экзаменаторов;

хорошо (7) – даны ответы на три вопроса билета, но нет верного ответа на один из дополнительных вопросов;

хорошо (6) – есть недочеты в ответе на один из вопросов билета и нет верного ответа на один из дополнительных вопросов;

хорошо (5) – есть недочеты в ответах на три вопроса билета и нет верного ответа на один из дополнительных вопросов;

удовлетворительно (4) – есть недочеты в ответах на три вопроса билета или нет ответа ни на один из дополнительных вопросов;

удовлетворительно (3) – нет ответа на один из вопросов билета, но есть ответы на дополнительные вопросы (возможно с недочетами);

неудовлетворительно (2) – нет ответа на один или два из вопросов билета и на дополнительные вопросы;

неудовлетворительно (1) – нет ответа ни на один из вопросов билета.

## **9. Особенности проведения государственной итоговой аттестации для инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья**

Для обучающихся из числа инвалидов государственная итоговая аттестация проводится с учетом особенностей их психофизического развития, их индивидуальных возможностей и состояния здоровья (далее – индивидуальные особенности).

10.1. При проведении ГИА обеспечивается соблюдение следующих общих требований:

- проведение государственной итоговой аттестации для инвалидов в одной аудитории совместно с обучающимися, не имеющими ограниченных возможностей здоровья, если это не создает трудностей для обучающихся при прохождении ГИА;
- присутствие в аудитории ассистента (ассистентов), оказывающего обучающимся инвалидам необходимую техническую помощь с учетом их индивидуальных особенностей (занять рабочее место, передвигаться, прочитать и оформить задание, общаться с членами ГЭК);
- пользование необходимыми обучающимся инвалидам техническими средствами при прохождении ГИА с учетом их индивидуальных особенностей;
- обеспечение возможности беспрепятственного доступа обучающихся инвалидов в аудитории, туалетные и другие помещения, а также их пребывания в указанных помещениях.

10.2. По письменному заявлению обучающегося инвалида продолжительность выступления обучающегося при защите выпускной квалификационной работы – не более чем на 15 минут.

10.3. Обучающийся инвалид не позднее, чем за 3 месяца до начала проведения ГИА подает письменное заявление о необходимости создания для него специальных условий при проведении государственных аттестационных испытаний с указанием особенностей его психофизического развития, индивидуальных возможностей и состояния здоровья. К заявлению прилагаются документы, подтверждающие наличие у обучающегося индивидуальных особенностей (при отсутствии указанных документов в дирекции института).

В заявлении обучающийся указывает на необходимость (отсутствие необходимости) присутствия ассистента на государственном аттестационном испытании, необходимость (отсутствие необходимости) увеличения продолжительности выступления при защите выпускной квалификационной работы по отношению к установленной продолжительности.

## **10. Примеры контрольных заданий, билетов**

Примеры заданий приведены в приложении

Примеры экзаменационных билетов

Пример 1.

1. Термоэлектронная эмиссия в вакуум. Формула Ричардсона–Дэшмана. Методы измерения работы выхода электронов.
2. Электронно-дырочный переход (р-п). Инжекция и экстракция неосновных носителей заряда. Вольт-амперная характеристика р-п перехода. Генерация и рекомбинация носителей в р-п переходе. Пробой р-п перехода: тепловой, лавинный, туннельный.
3. Краткий доклад о поставленной задаче и основных результатах научно-исследовательской работы.

Пример 2.

1. Потенциальный барьер на границе раздела: проводник–вакуум. Внешняя контактная разность потенциалов (КРП) и методы ее экспериментального определения. Влияние КРП на характеристики электронных приборов.
2. Биполярные транзисторы. Структура и принцип действия. Основные параметры и характеристики транзисторов, их зависимость от температуры и режима.
3. Краткий доклад о поставленной задаче и основных результатах научно-исследовательской работы.

Пример 3.

1. Структуры металл-диэлектрик-полупроводник (МДП). Характеристики идеальной МДП-структуры. Явления переноса носителей заряда в диэлектрических пленках.
2. Распространение плоских электромагнитных волн в среде. Законы дисперсии для поперечных и продольных волн. Плазмоны и поляритоны.
3. Краткий доклад о поставленной задаче и основных результатах научно-исследовательской работы.