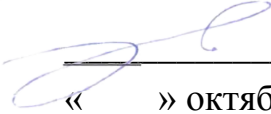


Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого»  
Институт физики, нанотехнологий и телекоммуникаций

УТВЕРЖДАЮ

И. о. директора ИФНиТ

 В.А. Сороцкий  
«\_\_\_» октября 2020 г.

## **ПРОГРАММА**

**вступительного испытания для поступающих в магистратуру по  
направлению подготовки / образовательной программе:  
16.04.01 Техническая физика / 16.04.01\_01 Физика и техника  
полупроводников**

---

Код и наименование направления подготовки / образовательной программы

Санкт-Петербург

2020

## АННОТАЦИЯ

Программа содержит перечень тем (вопросов) по дисциплинам базовой части профессионального цикла учебного плана подготовки бакалавров по направлению **16.03.01 «Техническая физика»**, вошедших в содержание билетов (тестовых заданий) вступительного испытания в магистратуру.

Вступительное испытание оценивается по стобалльной шкале и состоит из двух блоков:

- междисциплинарного экзамена в объеме требований, предъявляемых государственными образовательными стандартами высшего образования к уровню подготовки бакалавра по направлению, соответствующему направлению магистратуры, проводимого очно в письменной или устной форме и дистанционно (**максимальный балл – 60**);

- портфолио, требования к которому включают в программу вступительного испытания по соответствующей образовательной программе (**максимальный балл – 40**).

Минимальное количество баллов, подтверждающее успешное прохождение междисциплинарного экзамена, – **30 баллов (50%)**.


Составители:

Профессор ВИФШ



/Д.А. Фирсов/

Руководитель ОП, доцент ВИФШ



/М.Я. Винниченко/

Программа рассмотрена и рекомендована к изданию учебно-методическим советом **ИФНиТ** (протокол № 3 от «28» октября 2020 г.).

# 1. ДИСЦИПЛИНЫ, ВКЛЮЧЁННЫЕ В ПРОГРАММУ МЕЖДИСЦИПЛИНАРНОГО ЭКЗАМЕНА

1.1. Физика

1.2. Физика твердого тела и полупроводников

## 2. СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНЫХ ДИСЦИПЛИН

### 2.1. «Физика»

Темы (вопросы)

#### 1. *Физические основы механики.*

Скорость и ускорение материальной точки. Закон сохранения импульса для замкнутой системы. Второй закон Ньютона. Третий закон Ньютона. Работа и кинетическая энергия. Работа и потенциальная энергия. Закон сохранения энергии. Закон сохранения момента импульса. Задача двух тел. Движение в центральном поле.

#### 2. *Молекулярная физика и термодинамика.*

Основные понятия теории вероятностей. Закон возрастания энтропии. Внутренняя энергия макросистемы. Абсолютная температура. Первое начало термодинамики. Распределение Гиббса. Статистическая сумма. Распределение Максвелла. Теорема о равномерном распределении энергии по степеням свободы. Теплоемкость твердых тел. Уравнение состояния идеального газа. Фазовые превращения. Явления переноса. Соотношение Эйнштейна. Диффузия в твердых телах.

#### 3. *Электричество и магнетизм.*

Уравнения Максвелла для электромагнитного поля в вакууме. Закон сохранения заряда и уравнение непрерывности. Связь между напряженностью и потенциалом. Электрическое поле системы зарядов. Дипольный момент системы зарядов. Проводники в электрическом поле. Поляризация диэлектриков. Поляризуемость и диэлектрическая проницаемость. Граничные условия для векторов  $E$  и  $D$ . Электрическая емкость проводников и конденсаторов. Энергия электрического поля. Пьезо- и сегнетоэлектрики. Стационарный электрический ток. Законы Ома и Джоуля - Ленца. Векторный потенциал магнитного поля. Магнитное поле системы токов. Магнитный момент системы движущихся зарядов. Магнитная восприимчивость и магнитная проницаемость. Граничные

условия для векторов  $\mathbf{B}$  и  $\mathbf{H}$ . Самоиндукция и взаимная индукция. Диамагнетизм. Парамагнетизм. Ферромагнетизм. Сверхпроводящее состояние вещества.

#### *4. Колебания и волны.*

Гармонические колебания. Затухающие колебания. Вынужденные колебания. Резонанс. Сложение колебаний. Упругие волны. Дисперсия. Групповая скорость. Вектор Пойнтинга. Классическая теория дисперсии. Рассеяние света. Законы излучения абсолютно черного тела. Спонтанное и вынужденное излучение. Лазеры. Нелинейные оптические явления.

#### *5. Оптика.*

Соотношение между волновой и геометрической оптикой. Интерференция световых волн. Дифракция света. Дифракционная решетка. Просветление оптики. Линейная и круговая поляризация. Поляризация при отражении и преломлении света. Формулы Френеля. Двойное лучепреломление. Пластинка в четверть и половину волны. Призма Николя. Закон Кирхгоффа. Формула Планка. Кванты света.

#### *6. Атомная и ядерная физика.*

Волновые свойства микрочастиц. Соотношение неопределенностей Гейзенберга. Уравнение Шредингера. Принцип суперпозиции состояний. Квантование энергии на примере прямоугольной одномерной ямы. Среднее значение измеряемой физической величины. Водородоподобный атом в стационарном состоянии. Спин. Принцип неразличимости одинаковых частиц. Фермионы и бозоны. Запрет Паули. Периодическая система элементов. Ядерные силы. Энергия связи ядра. Общие понятия о ядерной и термоядерной реакциях.

#### *Литература для подготовки:*

1. Д.В. Сивухин. Курс общей физики (в пяти томах). М.: Физматлит, 2012.
2. А.А. Матышев Атомная физика. М: Юрайт, 2016.
3. Г.С. Ландсберг Оптика М.: ФИЗМАТЛИТ, 2003. - 848 с.

## 2.2. «Физика твердого тела и полупроводников»

Темы (вопросы):

### 1. Зонная теория твердых тел

Энергетический спектр, разрешенные и запрещенные зоны. Диэлектрики, металлы, полупроводники и полуметаллы с точки зрения их энергетического строения. Закон дисперсии, эффективная масса электронов и плотность состояний вблизи минимума энергии и вдали от него.

### 2. Статистика электронов и дырок в полупроводниках.

Собственные и примесные полупроводники. Мелкие примесные центры водородоподобного типа. Донорные и акцепторные примеси. Функции распределения электронов и дырок в полупроводниках и их особенности. Случаи сильного и слабого вырождения. Концентрация электронов и дырок в полупроводнике. Эффективная плотность состояний валентной зоны и зоны проводимости.

### 3. Явления переноса.

Феноменологический подход к описанию кинетических явлений. Коэффициенты удельного сопротивления, изотермической диффузии, Пельтье, Зеебека и теплопроводности. Время свободного пробега электрона. Кинетическое уравнение Больцмана и его решение в приближении времени релаксации. Основные механизмы рассеяния носителей заряда. Удельная электропроводимость и подвижность, их температурная и концентрационная зависимость. Эффекты Пельтье, Зеебека и электронной теплопроводности.

### 4. Оптические свойства полупроводников.

Прямые и непрямые межзонные оптические переходы. Экситоны в полупроводниках. Экситонное поглощение света при прямых и непрямых переходах в связанные и несвязанные состояния экситона.

Поглощение излучения нейтральными мелкими водородоподобными донорами (акцепторами).

Поглощение света свободными электронами, классическая и квантовая теория.

Поглощение света колебаниями решетки. Длинноволновая ИК-дисперсия. Соотношение Лиддена-Сакса-Теллера. Отражение и поглощение света в полосе остаточных лучей.

Край фундаментального поглощения в сильном электрическом поле. Теория эффекта Франца-Келдыша для идеального края. Влияние экситонного эффекта на электропоглощение.

Энергетический спектр электрона и плотность состояний в однородном

квантующем магнитном поле. Оптические переходы между подзонами Ландау. Циклотронный резонанс. Межзонные оптические переходы в магнитном поле: квантовая теория для простых параболических зон.

Влияние сильного легирования на поглощение света вблизи края фундаментальной полосы. Эффект Бурштейна-Мосса.

Энергетический спектр электронов, плотность состояний и межзонное поглощение света в сильнолегированных полупроводниках.

#### *5. Магнитоплазменные явления.*

Феноменологическая теория распространения света в кристалле, помещенном в магнитное поле. Волновое уравнение и уравнение Френеля. Нормальные волны в конфигурации Фарадея и в конфигурации Фойгта.

Эффект Фарадея на свободных электронах.

Магнитоплазменное отражение в конфигурациях Фарадея и Фойгта.

#### *6. Основы теории полупроводниковых приборов*

Расчет потенциала в p-n гомо- и гетеропереходе. Энергетическая диаграмма контакта металл-полупроводник.

Слой Шоттки, диффузионный потенциал. Время диэлектрической релаксации, радиус экранирования. Квазинейтральность и э.д.с. Дембера. Биполярная диффузия и дрейф. Встроенное поле неоднородного полупроводника. Термализация электронов, квазиуровни Ферми. Длина диффузионного смещения, инжекция и экстракция носителей.

Соотношение Эйнштейна, уравнение плотности тока. Статистическая оценка силы тока. Уравнение непрерывности для электронов и для дырок. Ток смещения, квазистационарный ток.

Вольтамперная характеристика идеального диода на p-n переходе. Квазиуровни Ферми в тонком переходе. Тонкий переход при высоком уровне инжекции. Пробой перехода. Емкость и переходная характеристика p-n перехода. Ток надбарьерной эмиссии и барьерная емкость идеального гетероперехода.

Распределение носителей заряда и токов в биполярном транзисторе. Параметры транзистора на низкой частоте. Схемы включения и максимальное усиление. Режимы работы транзистора. Тиристор.

Энергетические спектры электронов на поверхности. Потенциал и заряд поверхности. Проводимость приповерхностного слоя. Эффект поля. Вольт-фарадная характеристика структуры металл-диэлектрик-полупроводник (МДП). Приборы с зарядовой связью (ПЗС). Семейство характеристик МДП-транзисторов.

Туннельный диод. Длинный диод. Двухбазовый диод. Лавинно-пролетный диод. Варикап.

Основное уравнение фотодиода. Инерционность фотодиода. Фотоэлемент. Светодиод. Полупроводниковый лазерный инжекционный диод.

*Литература для подготовки:*

1. Ю Питер, Кардона Мануэль. Основы физики полупроводников. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2002. 560 с.
2. К.Зеегер Физика полупроводников. М.: Мир, 1977. 615 с.
3. С. Зи Физика полупроводниковых приборов. - М.: Мир, 1984, кн.1 - 456 с., кн.2 - 456 с.

### 3. ПРИМЕР ТЕСТОВОГО ЗАДАНИЯ

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого  
Институт физики, нанотехнологий и телекоммуникаций

УТВЕРЖДАЮ

Руководитель ОП

\_\_\_\_\_ М.Я. Винниченко

«20» июня 2021 г.

### ВСТУПИТЕЛЬНОЕ ИСПЫТАНИЕ

по направлению подготовки / образовательной программе:

**16.04.01 Техническая физика / 16.04.01\_01 Физика и техника**

**полупроводников**

---

*Код и наименование направления подготовки / образовательной программы*

#### Примеры тестовых заданий (2 балла)

**1. Третий закон Ньютона выполняется в системах отсчета:**

- Движущихся с ускорением
- Вращающихся
- Движущихся прямолинейно и равномерно
- Нет верного ответа

**2. Возникновение поляризации диэлектрика под действием механических напряжений называется...**

- Сегнетоэлектричеством
- Пьезоэлектричеством
- Парамагнетизмом
- Ферромагнетизмом

**3. Какая из перечисленных химических связей является наиболее слабой?**

- Ван-дер-Ваальсово притяжение
- Металлическая связь
- Ионная связь

**4. Волновая функция частицы позволяет найти:**

- траекторию движения
- импульс частицы в различных точках пространства
- вероятность обнаружения частицы в различных точках пространства
- энергию частицы в различных точках пространства



**5. Какое свойство кремния делает его основным материалом электроники и микроэлектроники**

- ширина запрещенной зоны
- наличие сплошной и прочной пленки окисла
- значения подвижности носителей тока
- нет правильного ответа

**Примеры открытого вопроса (20 баллов)**

1. Эффект Холла в полупроводниках
2. Эффект Бурштейна-Мосса в полупроводниках

#### **4. ТРЕБОВАНИЯ К ПОРТФОЛИО ПОСТУПАЮЩЕГО**

**Портфолио** предоставляется в полном объеме **не позднее, чем за три рабочих дня** до междисциплинарного экзамена.

В портфолио указываются достижения поступающего в научной и образовательной областях, в интеллектуальных и (или) творческих конкурсах, соответствующие образовательной (ым) программе (ам) направления подготовки **16.04.01 «Техническая физика»**.

Документы, подтверждающие достижения поступающего, предоставляются в виде электронного образа документа в формате PDF (Portable Document Files). Электронный образ документа должен обеспечивать визуальную идентичность его бумажному оригиналу в масштабе 1:1.

Качество представленных электронных образов документов должно позволить в полном объеме прочитать текст документа. Если бумажный документ состоит из двух или более листов, электронный образ такого бумажного документа формируется в виде одного файла.

Для сканирования документов необходимо использовать режим сканирования с разрешением 300 точек на дюйм. Не допускается представление нечитаемых отсканированных изображений документов, а также изображений, содержащих потери значимых частей документа (текстовые области, подписи, оттиски печатей и т.д.).

**Сумма баллов, начисленных поступающему за портфолио, не может быть более 40 баллов.**

В случае предоставления недостоверной информации и/или работы, содержащей неправомерные заимствования (плагиат), либо работы, выполненные иным лицом, поступающий несет ответственность в соответствии с законодательством Российской Федерации. При этом в случае установления данных фактов, приемная комиссия вправе выставить поступающему низший балл за портфолио – 0 (ноль) баллов.

Баллы, начисленные за портфолио, включаются в сумму баллов вступительного испытания.

После проведения междисциплинарного экзамена абитуриента информируют о результатах междисциплинарного экзамена и баллах, набранных за портфолио. Итоговая сумма вступительного испытания не может превышать 100 баллов.

В случае несогласия с результатом вступительного испытания абитуриент вправе подать апелляцию на вступительное испытание, в т.ч. на результат междисциплинарного экзамена и/или оценку баллов за портфолио.

Электронные образы документов, подтверждающие достижения поступающего, располагаются в строгом соответствии с порядковым номером данного достижения в таблице.

№	Наименование достижения	Подтверждающий документ	Количество баллов
1	Мотивационное письмо, включая резюме об учебной, научной, профессиональной деятельности, описывает в т.ч. все предоставленные в качестве портфолио достижения, отражает причины выбора университета и образовательной программы	Мотивационное письмо (печатный текст, А4, не менее 1000 и не более 3000 символов)	0-20
2	Статьи, индексируемые в Scopus или Web of Science (количество статей суммируется, баллы делятся на количество авторов)	ссылка на публикацию на сайте <a href="https://www.scopus.com">https://www.scopus.com</a> или <a href="https://www.publons.com">https://www.publons.com</a>	8
3	Статьи, индексируемые в РИНЦ, за исключением учтенных в п.2 (количество статей суммируется, баллы делятся на количество авторов)	ссылка на публикацию на сайте <a href="https://elibrary.ru/">https://elibrary.ru/</a>	4
4	Патент на изобретение / Патент на полезную модель / Свидетельство о регистрации базы данных, программы для ЭВМ или топологии ИС (количество РИД суммируется, баллы делятся на количество авторов)	ссылка на публикацию на сайте <a href="https://fips.ru">https://fips.ru</a> или ином патентном сайте	8 / 4 / 4
5	Наличие именного сертификата ФИЭБ	сертификат ФИЭБ по направлению подготовки, по которому поступающий участвует в конкурсе	3
6	Наличие статуса победителя Школы магистров СПбПУ	диплом победителя	3
7	Наличие статуса победителя или призера профильных международных, всероссийских, региональных студенческих олимпиад	диплом победителя или призера (в случае командного первенства в дипломе должны быть перечислены все участники команды)	8
8	Наличие международных стажировок, включая международные научные школы	документ о прохождении стажировки	3
9	Представление доклада на научных международных, всероссийских конференциях, за исключением указанных в пп. 2-3	документ, подтверждающий факт доклада	4

10	Диплом победителя научной конференции / выставки	диплом победителя	3
11	Реализация проекта по программам «УМНИК», «СТАРТ» и др. Фонда содействия инновациям (руководство)	скан-копия договора / сертификата победителя / выписки и нормативных документов	5
12	Получение повышенной стипендии (Президента, Правительства РФ, Ученого совета университета, за учебную, научную и др. виды деятельности) при обучении по образовательным программам бакалавриата, учитывается каждый семестр	приказы о назначении на стипендию	3