Федеральное государственное автономное образовательное учреждениевысшего образования
«Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики»»

УТВЕРЖДАЮ

Проректор
_____С.Ю. Рощин

Одобрено на заседании Академического совета Аспирантской школы по физике

Согласовано
Академический директор Аспирантской школы по физике
_____В.С. Храпай

Программа вступительного испытания по специальности основной образовательной программы высшего образования – программы подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре
Физика полупроводников

научная специальность:
1.3.11 Физика полупроводников

Санкт-Петербург 2023

1. Область применения и нормативные ссылки

Программа вступительного испытания сформирована на основе федеральных государственных образовательных стандартов высшего образования по программам специалитета или магистратуры.

2. Структура вступительного экзамена

Вступительное испытание основной образовательной программы высшего образования – программы подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре по образовательной программе «Физика полупроводников» состоит из двух частей: оценки индивидуальных достижений (конкурс портфолио) и оценки знаний по направленностям (блокам), каждая из которых соответствует научной специальности будущей научно-исследовательской работы (диссертации) абитуриента.

2.1. Оценка индивидуальных достижений. Структура портфолио

Общая сумма баллов не может превышать 40 баллов. Баллы назначаются в соответствии с таблицей при предоставлении подтверждающих документов.

Для участия в конкурсе индивидуальных достижений (портфолио) абитуриент может предоставить следующие документы:

1. Резюме (CV), включающее список публикаций, сведения об участии в конференциях, школах, исследовательских проектах, научных грантах, опыте работы и т.д. Резюме может быть составлено на русском или английском языке по желанию абитуриента.
2. Копия документа об образовании с перечнем пройденных дисциплин и оценок по этим дисциплинам. Если абитуриент еще не получили диплом специалиста или магистра, необходимо приложить официальную копию полного списка уже пройденных дисциплин с оценками.
3. Рекомендательное письмо от потенциального научного руководителя планируемого диссертационного исследования, в котором отражено его согласие выступить научным руководителем абитуриента в аспирантуре.
4. Собственные научные публикации.
5. Опыт участия в российских и международных конференциях с указанием информации о конференции и темы доклада, если таковые имеются (список конференций в виде файла PDF со ссылками на сайты конференций).

2.2. Критерии оценки портфолио

Доклады на международных или внутренних конференциях	**не более 5 баллов**
устный доклад	5 баллов
стендовый доклад	3 балла
Рекомендательное письмо от потенциального научного руководителя с согласием на руководство в аспирантуре	**20 баллов**
Публикации в журналах по физике, индексируемых Web of Science или Scopus	**не более 15 баллов**
журнал 1-го квартиля по WoS или Scopus	15 баллов
журнал 2-го квартиля по WoS или Scopus	10 баллов
журнал 3-го квартиля по WoS или Scopus	3 балла

Минимальный балл (неудовлетворительная оценка) за портфолио – до 19 баллов включительно. Для участия в конкурсе по итогам оценки индивидуальных достижений необходимо набрать суммарно не менее 20 баллов.

2.3. Структура и процедура проведения оценки знаний по научнойспециальности

Для подготовки ко второй части вступительного испытания (оценке знаний по научной специальности) абитуриент выбирает один из пяти блоков вопросов из представленной ниже программы, соответствующий научной специальности будущей научно-исследовательской работы (диссертации).

Оценка знаний по научной специальности 1.3.11. Физика полупроводников проводится в форме устного ответа на вопросы экзаменационной комиссии**.**

В ходе обсуждения поступающему могут быть заданы вопросы из всех разделов блока программы по соответствующей направленности. Также абитуриента могут спросить о предшествующей исследовательской работе, например, магистерском исследовании, или о планируемом диссертационном исследовании.

Оценка уровня знаний (баллы):

Итоговая оценка выставляется по 60-балльной шкале.

Минимальное количество баллов, необходимое для участия в конкурсе по итогам оценки знаний по направленности, соответствующей научной специальности будущей научно-исследовательской работы (диссертации), – 10 баллов.

Критерии оценивания

Выставляется усреднённая оценка по ответам на все вопросы экзаменационной комиссии по направленности, указанной в заявлении о поступлении в аспирантуру и соответствующей научной специальности будущей научно-исследовательской работы (диссертации) абитуриента.

Критерии оценивания	Баллы
Ответ полный, без замечаний, продемонстрированы полные знания	46-60
Ответ полный, с незначительными замечаниями	31-45
Ответ неполный, существенные замечания	11-30
Ответ на поставленный вопрос не дан	0-10

3. Содержание

Научная специальность 1.3.11. Физика полупроводников

Раздел 1. Кристаллическая структура полупроводников

1. Точечная симметрия. Элементы симметрии кристаллов.
2. Прямая и обратная решетки. Зоны Бриллюэна.
3. Полупроводниковые кристаллы со структурой алмаза, сфалерита и вюрцита.
4. Основные типы дефектов кристаллической структуры
5. Примеси. Доноры и акцепторы. Глубокие уровни. Водородоподобные примеси.

Раздел 2. Зонная структура полупроводников

6. Дисперсия электронов. Эффективная масса.
7. Прямозонные и непрямозонные многодолинные полупроводники.
8. Структура валентной зоны.
9. Зонная структура полупроводников Ge, Si
10. Зонная структура полупроводников GaAs и AlAs
11. Плотность состояний в зонах.

Раздел 3. Статистика электронов в полупроводнике

12. Статистика Ферми для электронов и дырок.
13. Собственная концентрация, зависимость от температуры, положение уровня Ферми
14. Фактор вырождения и степень заполнения примесного уровня. Уравнение электронейтральности
15. Связь положения уровня Ферми и концентрации свободных носителей заряда в легированном полупроводнике.

Раздел 4. Кинетические явления в полупроводниках

16. Теория электропроводности Друде. Время релаксации. Удельная проводимость.
17. Зависимость скорости электронов от напряженности электрического поля в слабых и сильных полях. Эффект Ганна.
18. Механизмы рассеяния носителей заряда. Зависимость подвижности от температуры и степени легирования.
19. Эффект Холла.
20. Термоэлектрические эффекты в полупроводниках: эффект Зеебека и Пельтье.

Раздел 5. Неравновесные носители заряда в полупроводниках

21. Неравновесные носители заряда в полупроводниках. Квазиуровни Ферми.
22. Механизмы рекомбинации. Время жизни неравновесных носителей.
23. Диффузия. Соотношение Эйнштейна для невырожденных полупроводников.
24. Способы создания неравновесных носителе заряда в полупроводнике, p-i-n диод

Раздел 6. Оптические свойства полупроводников

25. Механизмы люминесценции. Фото- и электролюминесценция полупроводников.
26. Приведенная плотность состояний, темп и спектр спонтанной рекомбинации
27. Вынужденное излучение. Усиление света в полупроводнике.
28. Край собственного поглощения полупроводников. Зависимость коэффициента поглощения от энергии фотонов
29. Экситон. Оптические переходы с учетом экситонных эффектов.

Раздел 7. Основные полупроводниковые приборы

30. Принцип работы светодиода и полупроводникового лазера

31. Принцип работы фотодиода и фотоэлектрического преобразователя
32. Принцип работы диода Шоттки и полевого транзистора с затвором Шоттки

Раздел 8. Квантово-размерные структуры.

33. Приближении эффективной массы. Уровни размерного квантования в двумерно квантовой яме.
34. Туннелирование через потенциальный барьер. Сверхрешетка. Резонансное туннелирование через двойной барьер.
35. Модификация плотности состояний размерным квантованием. 2D случай.
36. Квантовые проволоки и квантовые точки.

Рекомендуемая литература

1. Ансельм А.И. Введение в теорию полупроводников. 2008. СПб. Лань.
2. Зи С. Физика полупроводниковых приборов, в 2-х тт. 1984. М. Мир.
3. Бонч-Бруевич В. Л., Калашников С. Г. Физика полупроводников. 1977. М.: Наука.
4. Шур М.С. Физика полупроводниковых приборов. В 2-х тт.. 1992. М., Мир.
5. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Теоретическая физика. В 10 томах. Том 3. Квантовая механика. Нерелятивистская теория. – 2016. М.: Физматлит.
6. Х. Кейси, М. Паниш. Лазеры на гетероструктурах М.: Мир, 1981

ПРИМЕР ЭКЗАМЕНАЦИОННОГО БИЛЕТА (ЗАДАНИЙ УСТНОГО ЭКЗАМЕНА)

Вопрос 1. Неравновесные носители заряда в полупроводниках. Квазиуровни Ферми.

Вопрос 2. Принцип работы диода Шоттки и полевого транзистора с затвором Шоттки.