


МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
**«Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»
(НИЯУ МИФИ)**

УТВЕРЖДАЮ:

Ответственный секретарь
Приемной комиссии


«15» января 2026 г. Скритный В.И.

**Программа вступительного испытания
по специальной дисциплине**

**Физика полупроводников для высокотехнологических отраслей
экономики**

Научная специальность
1.3.11 «Физика полупроводников»

Производственная аспирантура

Форма обучения
очная

Москва, 2026

Оглавление

1. Общие положения..... 2
2. Вопросы для подготовки к первой части вступительного испытания..... 4
3. Материалы для подготовки ко второй части вступительного испытания..... 9

1. Общие положения

Форма проведения испытания:

Целью вступительного испытания является выявления у абитуриента объема научных знаний, научно-исследовательских компетенций, навыков системного и критического мышления, необходимых для подготовки диссертации по научной специальности 1.3.11 «Физика полупроводников». Абитуриент должен показать профессиональное владение теорией и практикой в предметной области, продемонстрировать умение вести научную дискуссию, умение планировать научную работу в рамках выбранной научной специальности. Вступительное испытание проводится в форме экзамена с элементами собеседования.

Вступительное испытание состоит из двух частей.

В первой части абитуриент отвечает на вопросы из билета. Билет включает в себя два вопроса. Абитуриент после получения билета подготавливает ответ, фиксируя основные тезисы на бланке для ответов, после чего отвечает на вопросы билета перед экзаменаторами. Экзаменаторы могут задавать дополнительные вопросы согласно программе вступительных испытаний.

Выявление факта пользования мобильным телефоном или шпаргалками ведет к безусловному удалению абитуриента с вступительного испытания и составлению соответствующего протокола. Абитуриент из конкурса выбывает.

Во второй части абитуриент представляет заранее подготовленные тему планируемого диссертационного исследования в соответствии с выбранной научной специальностью, обоснование актуальности темы, а также план выполнения диссертационного исследования. Представленные материалы оцениваются экзаменаторами. В процессе оценивания экзаменаторы могут уточнять различные аспекты, связанные с планируемым диссертационным исследованием. Тематика диссертации должна соответствовать научным задачам, актуальным для предприятия высокотехнологичной отрасли.

Оценка испытания:

Оценка за вступительное испытание выставляется по 100-балльной шкале как сумма за первую и вторую часть испытания.

Максимальное число баллов за первую часть – 50 баллов.

Максимальное число баллов за вторую часть – 50 баллов.

Минимальный суммарный балл, необходимый для успешного прохождения испытания и дальнейшего участия в конкурсе – 60 баллов.

Критерии оценки результатов испытания

<p>Вопрос № 1, 2</p>	<p>0-25 баллов за каждый вопрос</p>	<p>23-25 баллов – дан исчерпывающий и обоснованный ответ на вопрос, абитуриент демонстрирует глубокие теоретические знания, умение сравнивать и оценивать различные научные подходы, пользоваться современной научной терминологией.</p> <p>19-22 баллов – дан полный, достаточно глубокий и обоснованный ответ на вопрос, поставленный экзаменационной комиссией, абитуриент демонстрирует хорошие знания, умение пользоваться современной научной терминологией.</p> <p>15-18 баллов – даны обоснованные ответы на вопрос, поставленный экзаменационной комиссией, абитуриент демонстрирует хорошие знания.</p> <p>11-14 баллов - даны в целом правильные ответы на вопрос, поставленный экзаменационной комиссией, при этом абитуриент недостаточно аргументирует ответы.</p> <p>0-10 баллов – абитуриент демонстрирует непонимание основного содержания теоретического материала, поверхностность и слабую аргументацию суждений или допущены значительные ошибки.</p>
<p>Оценка планируемого диссертационного исследования</p>	<p>0-50 баллов</p>	<p>45-50 баллов – предполагаемая тематика соответствует паспорту научной специальности, является актуальной, план работы над диссертацией представлен на высоком уровне.</p> <p>35-44 баллов – предполагаемая тематика соответствует паспорту научной специальности, является актуальной, план работы над диссертацией требует доработки.</p> <p>25-34 баллов – предполагаемая тематика в целом соответствует паспорту научной специальности, но требует доработки в части актуальности, план работы над диссертацией требует доработки.</p> <p>15-24 баллов - предполагаемая тематика в целом соответствует паспорту научной специальности, но требует значительной доработки в части актуальности, и значительной переработки плана работы над диссертацией.</p> <p>0-14 баллов – предполагаемая тематика не соответствует паспорту научной специальности.</p>

2. Вопросы для подготовки к первой части вступительного испытания

Вопросы по общефизическим и математическим дисциплинам

I. Колебания, основы молекулярной физики и термодинамики

1. Свободные колебания системы без трения. Математический маятник. Физический маятник. Сложение гармонических колебаний одного направления. 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. Газокинетический вывод выражения для давления газа на стенку. Основное уравнение молекулярно-кинетической теории газов.

4. Распределение Максвелла. Наиболее вероятная скорость молекул, средняя арифметическая и средняя квадратичная скорости молекул. Распределение Больцмана.

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

II. Основы электромагнетизма

6. Уравнения Максвелла в электростатике. Потенциал. Линии напряженности электрического поля и эквипотенциальные поверхности. Связь между напряженностью и потенциалом. Работа силы электрического поля.

7. Дипольный электрический момент системы зарядов. Поле электрического диполя.

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

9. Емкость. Конденсаторы. Емкость плоского конденсатора. Энергия заряженного конденсатора. Энергия электрического поля. Плотность энергии.

10. Сила и плотность электрического тока. Закон Ома и закон Джоуля-Ленца в интегральной и дифференциальной формах. Мощность тока.

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

12. Закон Био-Савара-Лапласа. Теорема о циркуляции. Поле в центре и на оси кругового тока. Поле бесконечного прямого тока. Поле кольцевого витка.

13. Явление электромагнитной индукции. Правило Ленца. Э.Д.С. индукции. Индуктивность соленоида. Энергия магнитного поля

14. Ток смещения. Полный ток. Импеданс. Плотность потока энергии электромагнитного поля.

III. Основы оптики

15. Принцип Гюйгенса. Принцип Ферма. Законы отражения и преломления.
16. Явление интерференции. Сложение двух электромагнитных волн. Интенсивность суммарной волны.
17. Временная когерентность, длина когерентности на примере опыта Юнга с монохроматическим протяженным источником.
18. Интерференционные полосы равного наклона. Интерференционные полосы равной толщины. Простой клин.
19. Кольца Ньютона. Интерференция света на тонких пленках. Многолучевая интерференция. Просветление оптики.
20. Дифракционная решетка. Положение и угловая ширина главных дифракционных максимумов дифракционной решетки.
21. Дифракция рентгеновских лучей. Формула Брэгга-Вульфа.

IV. Основы квантовой физики, строения вещества, атомной и ядерной физики

22. Фотоэффект. Уравнение А.Эйнштейна для фотоэффекта.
23. Экспериментальные законы теплового излучения (Стефана-Больцмана, Вина).
24. Формула Планка. Вывод закона Стефана-Больцмана из формулы Планка.
25. Постулаты Бора. Опыт Франка и Герца.
26. Элементарная теория водородоподобного атома.
27. Гипотеза де-Бройля. Экспериментальные основания квантовой механики.
28. Соотношение неопределенностей Гейзенберга для энергии и для координаты квантовой частицы.
29. Уравнение Шредингера. Физический смысл и свойства волновой функции.
30. Частица в одномерной бесконечно глубокой потенциальной яме. Импульс и энергия одномерного гармонического осциллятора.
31. Квантовомеханическое решение задачи уровней энергии водородоподобного атома. Обритали.
32. Собственный механический и магнитный моменты электрона. Магнетон Бора.
33. Принцип Паули. Заполнение электронных оболочек атома.

V. Высшая математика

34. Понятие производной функции. Основные правила дифференцирования функций. Нахождение экстремумов функции.
35. Понятие матрицы. Операции над матрицами. Определитель матрицы и его вычисление.
36. Система линейных алгебраических уравнений (СЛАУ). Методы решения СЛАУ: метод Гаусса, метод Крамера.
37. Понятие первообразной функции. Вычисление неопределенных и определенных интегралов, в т.ч. несобственных.

38. Понятие числового ряда. Признаки сходимости числовых рядов. Разложение функции в ряд Тейлора.

39. Понятия градиента функции, дивергенции, ротора и циркуляции векторного поля. Теоремы Остроградского-Гаусса и Стокса.

40. Понятие обыкновенного дифференциального уравнения. Типы ОДУ первого порядка и методы их решения: уравнение с разделяющимися переменными, однородное ОДУ, уравнение в полных дифференциалах, линейное дифференциальное уравнение.

41. Линейное дифференциальное уравнение произвольного порядка с постоянными коэффициентами. Методы его решения.

42. Система линейных дифференциальных уравнений первого порядка. Методы её решения.

43. Понятие аналитической функции. Разложение функции, аналитической в кольце, в ряд Лорана. Классификация изолированных особых точек. Вычеты. Основная теорема о вычетах и ее приложения.

44. Основные уравнения математической физики. Классификация линейных дифференциальных уравнений с частными производными второго порядка с двумя независимыми переменными.

Список литературы:

1. Савельев И.В. Курс общей физики, в 3х томах. М.: Наука, 1982.
2. Иродов И.Е. Основные законы электромагнетизма. М.: Высшая школа, 1991.
3. Иродов И.Е. Волновые процессы. М., СПб: Физматлит, 2002.
4. Бронштейн И.Н. Справочник по математике: Для инженеров и учащихся втузов. / И.Н. Бронштейн, К.А. Семендяев, 13-е изд., испр. - М.: Наука, 1986. - 544 с.
5. Выгодский М.Я. Справочник по высшей математике (12-е изд.). М.: Наука, 1977.
6. Беклемишев Д.В. Курс аналитической геометрии и линейной алгебры: Учеб. для спец. вузов / Беклемишев Д.В. - 6-е изд., стереотип. - М.: Наука, 1987. - 319 с.
7. Тихонов А.Н. Уравнения математической физики: Учеб. пособие для вузов / Тихонов А.Н., Самарский А.А. - 5-е изд., стереотип. - М.: Наука, 1977. - 735 с.

Специализированные вопросы

Физика твердого тела и наноструктур

1. Кристаллические структуры. Кристаллическая решетка. Свойства симметрии кристаллических решеток. Обратная решетка. Зона Бриллюэна.
2. Модели линейных цепочек (одно- и двухатомных). Моды и ветви колебаний. Квантование колебаний. Фононы.

3. Электронные состояния в кристаллах. Свободные электроны. Теорема Блоха. Зона Бриллюэна. Граничные условия и число состояний.
4. Распределение Ферми для электронов. Плотность состояний.
5. Статистика электронов и дырок в полупроводниках. Собственный и примесный полупроводник. Число носителей. Уровень Ферми. Доноры и акцепторы.
6. Генерация и рекомбинация неравновесных носителей тока. Теория Шокли-Рида.
7. Приближение эффективной массы. Динамика электронов и дырок в полупроводниках.
8. Эффективная масса носителей тока. Теория проводимости Друде-Лоренца.
9. Оптические переходы в полупроводниках. Экситоны.
10. Фотопроводимость, оптическое поглощение. Люминесценция.
11. Эффект Холла.
12. Квантовые точки. Уровни энергии. Зависимость от размера.
13. Гетероструктуры с высокой подвижностью электронов.

Общая электротехника и электроника

14. Электрические цепи. Активные и пассивные элементы.
15. Основные законы электрических цепей. Линейные электрические цепи.
16. Комплексная функция цепи. Амплитудно-частотная и фазочастотная характеристики линейной цепи.
17. Четырёхполюсник, матрицы Y , S и Z параметров.
18. Принцип усиления электрических колебаний. Классификация усилителей.
19. Полупроводниковый диод. Прямое и обратное включение диода в электрическую цепь. Вольт-амперная характеристика (ВАХ) диода.
20. Дискретное представление электрического сигнала. Аналогово-цифровые преобразователи. Типы АЦП.

Приборы микро- и нанoeлектроники

21. Электронно-дырочные переходы. Характеристики потенциального барьера. Вольтамперные характеристики идеального и реального p-n переходов.
22. Полупроводниковые диоды, принцип работы.
23. Гетеропереходы. Гетеросистемы. Анизотипные и изотипные гетеропереходы: энергетические диаграммы. Структуры с высокой подвижностью электронов в квантовых ямах.
24. Биполярные транзисторы (БТ). Структура (геометрия) БТ. Планарный транзистор. Принцип действия БТ. Токи в транзисторе. Коэффициент усиления тока БТ.
25. Полевые транзисторы (ПТ) с p-n переходом и барьером Шоттки в качестве затвора. Принцип действия и конструкция ПТ. Статические

характеристики ПТ. Основные характеристики и параметры ПТ в усиленном режиме. Пути повышения крутизны ПТ.

26. Свойства структуры металл-диэлектрик-полупроводник: режимы аккумуляции, истощения и инверсии; эффект поля.

27. Гетероструктурные транзисторы с высокой подвижностью электронов. Граничная частота усиления по току и по мощности.

28. Светодиод и инжекционный лазер. Принцип работы. Пороговый ток. Лазеры с отдельным ограничением моды и области локализации носителей.

29. Полупроводниковый фотодетектор. Принцип работы. Ограничения частотной полосы.

30. Принцип построения волоконнооптических систем связи. Модуляция. Ограничения на плотность потока информации.

Технологии микро- и нанoeлектроники

31. Метод Чохральского для роста монокристаллов. Технологии эпитаксиального выращивания полупроводников.

32. Планарная технология формирования монолитно-интегрированных элементов микросхем.

33. Степень интеграции ИС. Закон Мура. Ограничения на уменьшение длины затвора.

34. Понятие технологического маршрута полупроводниковых приборов.

35. Понятие о технологии эпитаксии гетероструктур. Методы реализации эпитаксии. Условия проведения процессов.

36. Критический размер топологии и методы его контроля. Фотолитография и ограничение предельного размера элементов.

37. Электронно-лучевая нанолитография. Импринт – литография. Ограничения и способы получения суб-100 нм размеров топологии.

38. Плазмохимические процессы осаждения диэлектриков и травления диэлектриков, металлов и полупроводников.

39. Ионная имплантация.

Список литературы

1. Ч. Киттель. Введение в физику твердого тела. М. Физматлит: 2006
2. К. Шалимова. Физика полупроводников. М.: Лань, 2010.
3. Е.С. Боровик, В.В. Еременко, А.С. Мильнер Лекции по магнетизму. М.:Физматлит, 2005.
4. А.А. Абрикосов Основы теории металлов. М.: Физматлит, 2005.
5. А.И. Лебедев. Физика полупроводниковых приборов. М.: Физматлит, 2008.
6. Гуревич А.Л. Физика твердого тела. С.-Петербург, Невский диалект, 2004.
7. Дж. Блейкмор. Физика твердого тела. М.: Мир, 1988.
8. М. Ашкрофт, Н. Мермин, Физика твердого тела, в 2-х томах, М., Мир, 1977

9. А.И. Ансельм. Введение в теорию полупроводников. М. 1978.
10. К. Зеегер. Физика полупроводников. М.: Мир, 1977.
11. С. Зи. Физика полупроводниковых приборов. В 2-х книгах. Перев. с англ. 2-ое перераб. и доп. издание – М.: Мир, 1984
12. Зегря Г.Г., В.И. Перель. Основы физики полупроводников. М.: Физматлит, 2009.
13. И.М. Викулин, В.И. Стафеев. Физика полупроводниковых приборов. – М.: «Сов. Радио», 1980 – 289 с.
14. Пасынков В.В., Чиркин Л.К. Полупроводниковые приборы: Учебник для вузов. - 8-е изд., стер. - СПб.: Лань, 2009. - 480 с.
15. Драгунов В.П., Неизвестный И.Г., Гридчин В.А. Основы наноэлектроники. Новосибирск: НГТУ, 2000.
16. Демиховский В.Я., Вугальтер Г А. Физика квантовых низкоразмерных структур. М.: Логос, 2000. 248 с.
17. Физика низкоразмерных систем: учеб. пособие для студентов вузов / ред. Ильина В И., Шика А. Я. - СПб. : Наука, 2001. - 154 с.
18. Степаненко И.П. Основы микроэлектроники. М.: Радио и связь, 1998
19. Щука А.А. Наноэлектроника. М.: Физматкнига, 2007. 464 с.
20. Валиев К.А. Физические основы субмикронной фотолитографии. М.: Наука, 1990.
21. Введение в процессы интегральных микро- и нанотехнологий Т. 1 : Физико-химические основы технологии микроэлектроники / Ю. Д. Чистяков, Ю. П. Райнова. - М. : БИНОМ. Лаб. знаний, 2010. - 392 с.
22. Киреев В.Ю. Нанотехнологии в микроэлектронике. Нанолитография - процессы и оборудование. М.: Интеллект, 2016. - 320 с.
23. Трещиков В.Н., Листвин В.Н. DWDM-системы. М: Техносфера, Изд. 5 2024. -476 с.
24. Акчурин Р. Х., Мармалюк А. А. МОС-гидридная эпитаксия в технологии материалов фотоники и электроники. Мир материалов и технологий (Техносфера) М.: Техносфера. 2020. - 488 с.
25. Урик-мл., МакКинни, Вилльямс (ред. Сигов А.С.). Основы микроволновой фотоники. Техносфера: Мир фотоники. М.: Техносфера. 2022. – 376 с.

3. Материалы для подготовки ко второй части вступительного испытания

При представлении плана научного исследования необходимо представить следующую информацию:

- Тема диссертации
- Предполагаемый научный руководитель (при наличии)
- Актуальность темы
- Цели и задачи исследования

- Развернутые формулировки теоретических и практических задач, которые необходимо решить для достижения поставленной цели с распределением их по семестрам обучения.
- Теоретическая значимость работы. Практическая значимость работы.
- Имеющийся задел по предполагаемому исследованию

Абитуриент готовит план будущего научного исследования заранее, до вступительного испытания, и на испытании представляет уже готовый план. При составлении плана необходимо помнить, что в рамках диссертационного исследования аспирант решает научную задачу, имеющую значение для развития соответствующей отрасли науки, либо разрабатывает новые научно-обоснованные технические, технологические или иные решения и разработки, имеющие существенное значение для развития страны.

Цель диссертации вытекает из формулировки научной проблемы, связанной с теоретической или практической нерешенностью темы или ее аспекта. Цель формулируется коротко и однозначно, она должна быть достигнута к концу работы. Исходя из единственной цели работы, определяется несколько задач. Разрешение каждой задачи является последовательным шагом на пути достижения цели.

Паспорт научной специальности 1.3.11 «Физика полупроводников» (отрасль наук – технические науки)

Направления исследований:

1. Физические основы технологических методов получения полупроводниковых материалов, композитных структур, структур пониженной размерности и полупроводниковых приборов и интегральных устройств на их основе.
2. Структурные и морфологические свойства полупроводниковых материалов, композитных структур и полупроводниковых приборов и интегральных устройств на их основе.
3. Примеси и дефекты в полупроводниках, композитных структур и полупроводниковых приборов и интегральных устройств на их основе.
4. Электронный транспорт в полупроводниках, композитных структур и полупроводниковых приборах и интегральных устройствах на их основе.
5. Оптические и фотоэлектрические явления в полупроводниках, в композиционных полупроводниковых структурах, и полупроводниковых приборах и интегральных устройствах на их основе.
6. Спонтанная и стимулированная люминесценция в полупроводниковых материалах и композитных структурах, полупроводниковые лазеры и светоизлучающие устройства.

7. Акустические и механические свойства полупроводников, композиционных полупроводниковых структур и полупроводниковых приборов и интегральных устройств на их основе.
8. Спонтанная и стимулированная люминесценция в полупроводниковых материалах и композитных структурах, полупроводниковые лазеры и светоизлучающие устройства.
9. Моделирование свойств и физических явлений в полупроводниках и композитных структурах на их основе, технологических процессов и полупроводниковых приборов.
10. Разработка физических принципов работы и создание приборов на базе полупроводниковых материалов и композиционных полупроводниковых структур.
11. Разработка методов исследования полупроводников и композитных полупроводниковых структур.

Паспорт научной специальности 1.3.11 «Физика полупроводников» (отрасль наук – физико-математические науки)

Направления исследований:

1. Физические основы методов получения полупроводниковых материалов, композитных структур, структур пониженной размерности.
2. Структурные и морфологические свойства полупроводниковых материалов и композитных структур на их основе.
3. Примеси и дефекты в полупроводниках и композитных структурах.
4. Поверхность и граница раздела полупроводников, полупроводниковые гетероструктуры, контактные явления.
5. Электронные спектры полупроводниковых материалов и композиционных соединений на их основе.
6. Электронный транспорт в полупроводниках и композиционных полупроводниковых структурах.
7. Оптические и фотоэлектрические явления в полупроводниках и в композиционных полупроводниковых структурах.
8. Спонтанная и стимулированная люминесценция в полупроводниковых материалах и композитных структурах, полупроводниковые лазеры и светоизлучающие устройства.
9. Неравновесные явления в полупроводниках и структурах. Электронная плазма.

10. Акустические и механические свойства полупроводников и композиционных полупроводниковых структур.
11. Динамика кристаллической решетки. Электрон-фононное взаимодействие. Квантоворазмерные структуры.
12. Многочастичные взаимодействия в полупроводниках и композитных структурах.
13. Транспортные и оптические явления в структурах пониженной размерности.
14. Мезоскопические явления в полупроводниках и композитных структурах.
15. Некристаллические полупроводники. Органические полупроводники.
16. Магнитные полупроводники.
17. Моделирование свойств и физических явлений в полупроводниках и структурах.
18. Разработка физических принципов работы приборов на базе полупроводниковых материалов и композиционных полупроводниковых структур.
19. Разработка методов исследования полупроводников и композитных полупроводниковых структур.