

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

**Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»
(НИЯУ МИФИ)**

Программа вступительного испытания

по научным специальностям

**2.2.2 «Электронная компонентная база микро- и
наноэлектроники, квантовых устройств»**

**2.2.3 «Технология и оборудование для производства материалов
и приборов электронной техники»**

Форма обучения
очная

Москва, 2023

1. Общие положения

Форма проведения испытания:

Вступительное испытание по научным специальностям 2.2.2 «Электронная компонентная база микро- и нанoeлектроники, квантовых устройств», 2.2.3 «Технология и оборудование для производства материалов и приборов электронной техники» проводится в виде собеседования с обязательным оформлением ответов на вопросы билета в письменном виде. Собеседование проводится с целью выявления у абитуриента объёма научных знаний, научно-исследовательских компетенций, навыков системного и критического мышления, необходимых для обучения в аспирантуре. Абитуриент должен показать профессиональное владение теорией и практикой в предметной области, продемонстрировать умение вести научную дискуссию.

Билет для собеседования включает в себя два вопроса по общефизическим и математическим дисциплинам и один специализированный вопрос. Вопросы по общей физике охватывают следующие темы: колебания и волны, основы молекулярной физики, термодинамики, оптики, а также квантовой и ядерной физики. Вопросы по высшей математике призваны определить на основе решения конкретных математических примеров уровень владения поступающим в аспирантуру математическими навыками, необходимыми при решении физических задач.

Структура испытания:

Испытание состоит из ответов на вопросы билета и дополнительные вопросы в рамках программы вступительного испытания.

Оценка испытания:

Оценка за собеседование выставляется по 100-балльной шкале. Минимальный балл, необходимый для успешного прохождения собеседования и дальнейшего участия в конкурсе – 60 баллов.

Критерии оценки результатов испытания:

100-90 баллов - даны исчерпывающие и обоснованные ответы на вопросы, поставленные экзаменационной комиссией, абитуриент демонстрирует глубокие теоретические знания, умение сравнивать и оценивать различные научные подходы, пользоваться современной научной терминологией.

89-80 баллов - даны полные, достаточно глубокие и обоснованные ответы на вопросы, поставленные экзаменационной комиссией, абитуриент демонстрирует хорошие знания, умение пользоваться современной научной терминологией.

79-70 баллов - даны обоснованные ответы на вопросы, поставленные экзаменационной комиссией, абитуриент демонстрирует хорошие знания.

69-60 баллов - даны в целом правильные ответы на вопросы, поставленные экзаменационной комиссией, при этом абитуриент недостаточно аргументирует ответы.

59-0 баллов – абитуриент демонстрирует непонимание основного содержания теоретического материала, поверхностность и слабую аргументацию суждений или допущены значительные ошибки.

2. Вопросы для подготовки к вступительному испытанию

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. Орбитали.

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. Фотопроводимость, оптическое поглощение. Люминесценция.
10. Эффект Холла.
11. Квантовые точки. Уровни энергии. Зависимость от размера.

12. Гетероструктуры с высокой подвижностью электронов.

Общая электротехника и электроника

13. Электрические цепи. Активные и пассивные элементы.

14. Основные законы электрических цепей. Линейные электрические цепи. Дифференциальное уравнение линейной цепи.

15. Векторная диаграмма токов и напряжений.

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.

21. Основные цифровые схемы. Триггер. Инвертор. Компаратор

Приборы микро- и нанoeлектроники

22. Электронно-дырочные переходы. Характеристики потенциального барьера. Вольтамперные характеристики идеального и реального p-n переходов. P-n переход на малом переменном сигнале.

23. Полупроводниковые диоды: импульсные и выпрямительные диоды, стабилитроны, варикапы.

24. Гетеропереходы. Развитие представлений о гетеропереходах. Анизотипные и изотипные гетеропереходы: энергетические диаграммы и механизмы токопрохождения.

25. Биполярные транзисторы (БТ). Структура (геометрия) БТ. Планарный транзистор. Принцип действия БТ. Токи в транзисторе. Коэффициент усиления тока БТ. БТ с эмиттерным гетеропереходом. Статические (входные и выходные) характеристики БТ в различных схемах включения.

26. 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.

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

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

29. Туннельный диод. Эффект Ганна.

30. Резонансно-туннельный диод. Вольтамперная характеристика.

31. Полупроводниковые интегральные схемы. Транзисторы, диоды и другие элементы в интегральном исполнении. Межэлементная изоляция. ИС, БИС, СБИС.

Технологии микро- и нанoeлектроники

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

33. Планарная технология формирования монолитно-интегрированных элементов микросхем.

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

35. Понятие технологического маршрута полупроводниковых приборов.

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. Н.Б.Брандт, В.А.Кульбачинский. Квазичастицы в физике конденсированного состояния. М. Физматлит, 2007.
4. Е.С. Боровик, В.В. Еременко, А.С. Мильнер Лекции по магнетизму. М.:Физматлит, 2005.
5. В.А. Боков Физика магнетиков. Санкт-Петербург. Невский диалект, 2002.
6. А.А. Абрикосов Основы теории металлов. М.: Физматлит, 2005.

7. А.И. Лебедев. Физика полупроводниковых приборов. М.: Физматлит, 2008.
8. Гуревич А.Л. Физика твердого тела. С.-Петербург, Невский диалект, 2004.
9. Дж. Блейкмор. Физика твердого тела. М.: Мир, 1988.
10. Д. Уайт. Квантовая теория магнетизма, М.: Мир, 1985.
11. М. Ашкрофт, Н. Мермин, Физика твердого тела, в 2-х томах, М., Мир, 1977
12. А.И. Ансельм. Введение в теорию полупроводников. М. 1978.
13. К. Зеегер. Физика полупроводников. М.: Мир, 1977.
14. Дж. Займан. Принципы теории твердого тела. М.: Мир, 1974.
15. С. Зи. Физика полупроводниковых приборов. В 2-х книгах. Перев. с англ. 2-ое перераб. и доп. издание – М.: Мир, 1984
16. Зегря Г.Г., В.И. Перель. Основы физики полупроводников. М.: Физматлит, 2009.
17. И.М. Викулин, В.И. Стафеев. Физика полупроводниковых приборов. – М.: «Сов. Радио», 1980 – 289 с.
18. Пасынков В.В., Чиркин Л.К. Полупроводниковые приборы: Учебник для вузов. - 8-е изд., стер. - СПб.: Лань, 2009. - 480 с.
19. Драгунов В.П., Неизвестный И.Г., Гридчин В.А. Основы наноэлектроники. Новосибирск: НГТУ, 2000.
20. Демиховский В.Я., Вугальтер Г А. Физика квантовых низкоразмерных структур. М.: Логос, 2000. 248 с.
21. Физика низкоразмерных систем: учеб. пособие для студентов вузов / ред. Ильина В И., Шика А. Я. - СПб. : Наука, 2001. - 154 с.
22. Степаненко И.П. Основы микроэлектроники. М.: Радио и связь, 1998
23. Щука А.А. Наноэлектроника. М.: Физматкнига, 2007. 464 с.
24. Валиев К.А. Физические основы субмикронной фотолитографии. М.: Наука, 1990.
25. 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.
26. Киреев В.Ю. Нанотехнологии в микроэлектронике. Нанолитография - процессы и оборудование. М.: Интеллект, 2016. - 320 с.