

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

УТВЕРЖДАЮ
Проректор НИЯУ МИФИ
_____ В.В. Ужва

СОГЛАСОВАНО
Председатель Совета по подготовке
научно-педагогических кадров
_____ Н.А. Кудряшов

Ответственный секретарь
приемной комиссии
_____ В.И. Скрытный

Программа вступительного испытания
по направлению подготовки научно- педагогических
кадров в аспирантуре
11.06.01 «Электроника, радиотехника и системы связи»

Форма обучения
очная

Москва, 2016

1. Общие положения

Программа вступительного испытания сформирована на основе федеральных государственных образовательных стандартов высшего образования.

Форма проведения испытания:

Вступительное испытание по направлению подготовки аспирантов 11.06.01 «Электроника, радиотехника и системы связи» 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 вопрос по дисциплине специализации. 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.

Критерии оценки результатов испытания:

Оценка «отлично» ставится при следующем условии:

даны исчерпывающие и обоснованные ответы на вопросы, поставленные экзаменационной комиссией;

Оценка «хорошо» ставится при следующих условиях:

1. даны полные, достаточно глубокие и обоснованные ответы на вопросы, поставленные экзаменационной комиссией;
2. ответы на вопросы даются полно, но логическая последовательность не всегда соблюдается.

Оценка «удовлетворительно» ставится при следующих условиях:

1. даны в основном правильные ответы на вопросы, поставленные экзаменационной комиссией;
2. ответы на вопросы даются в основном полно, но при слабом логическом оформлении высказываний.

Оценка «неудовлетворительно» ставится в случае, когда не выполнены условия, позволяющие поставить оценку «удовлетворительно».

Решения экзаменационной комиссии принимаются большинством голосов.

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. Биения. 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. Распределение молекул по координатам. Барометрическая формула.

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. Токи замыкания и размыкания. Энергия магнитного поля

14. Ток смещения. Полный ток. 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. Графическое сложение амплитуд. Зоны Френеля.

21. Дифракционная решетка. Положение и угловая ширина главных дифракционных максимумов дифракционной решетки. Дисперсия и разрешающая способность дифракционной решетки.

22. Дифракция рентгеновских лучей. Формула Брэгга-Вульфа.

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

24. Фотоэффект. Уравнение А.Эйнштейна для фотоэффекта.

25. Экспериментальные законы теплового излучения (Стефана-Больцмана, Вина).

26. Формула Планка. Вывод закона Стефана-Больцмана из формулы Планка.

27. Постулаты Бора. Опыт Франка и Герца.

28. Элементарная теория водородоподобного атома.

29. Гипотеза де-Бройля. Экспериментальные основания квантовой механики.

30. Соотношение неопределенностей Гейзенберга для энергии и для координаты квантовой частицы.

31. Уравнение Шредингера. Физический смысл и свойства волновой функции.

32. Частица в одномерной бесконечно глубокой потенциальной яме. Импульс и энергия одномерного гармонического осциллятора.

33. Квантовомеханическое решение задачи уровней энергии водородоподобного атома. Орбитали.

34. Собственный механический и магнитный моменты электрона. Магнетон Бора.

35. Принцип Паули. Заполнение электронных оболочек атома. Электронные конфигурации.

36. Комбинационное рассеяние света. Эффект Рамана.

V. Высшая математика

37. Понятие производной функции. Основные правила дифференцирования функций. Нахождение экстремумов функции.

38. Понятие матрицы. Операции над матрицами. Определитель матрицы и его вычисление.

39. Система линейных алгебраических уравнений (СЛАУ). Методы решения СЛАУ: метод Гаусса, метод Крамера. Критерий Сильвестра существования нетривиального решения СЛАУ.

40. Понятие первообразной функции. Вычисление неопределенных и определенных интегралов, в т.ч. несобственных.

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

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

43. 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, уравнения, не разрешенные относительно производной.

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

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

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

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

48. Решение краевых задач для уравнений гиперболического и параболического типов методом Фурье.

49. Решение задачи Коши для волнового уравнения в одномерном случае.

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.

Вопросы по дисциплинам специализации

Профиль (направленность): 05.27.01 «Твердотельная электроника, радиоэлектронные компоненты, микро- и наноэлектроника, приборы на квантовых эффектах»

Физика твердого тела и наноструктур

1. Кристаллические структуры. Кристаллическая решетка. Свойства симметрии кристаллических решеток. Обратная решетка. Зона Бриллюэна.
2. Методы анализа кристаллической структуры и поверхности твердых тел.
3. Модели линейных цепочек (одно- и двухатомных). Моды и ветви колебаний. Квантование колебаний. Фононы.
4. Теплоемкость. Модели Дебая и Эйнштейна.
5. Электронные состояния в кристаллах. Свободные электроны. Теорема Блоха. Зона Бриллюэна. Граничные условия и число состояний.
6. Распределение Ферми для электронов. Плотность состояний.
7. Статистика электронов и дырок в полупроводниках. Собственный и примесный полупроводник. Число носителей. Уровень Ферми. Доноры и акцепторы. Глубокие уровни.
8. Генерация и рекомбинация неравновесных носителей тока. Статистика на однозарядных центрах. Теория Шокли-Рида.
9. Приближение эффективной массы. Динамика электронов и дырок в полупроводниках.
10. Кинетическое уравнение. Электропроводность. Кинетические коэффициенты.
11. Эффективная масса носителей тока. Теория проводимости Друде-Лоренца.
12. Фотопроводимость, оптическое поглощение. Типы люминесценции.
13. Фотовольтаический эффект в p-n переходе.
14. Термоэлектрические явления.
15. Эффект Холла. Квантовый эффект Холла.
16. Сопротивление в магнитном поле. Сильные и слабые поля.
17. Вырожденные полупроводники в магнитном поле. Уровни Ландау.
18. Спин-орбитальное взаимодействие. LS-связь. Мультиплет основного состояния многоэлектронного атома.
19. Обменное взаимодействие. Гейзенберговский обменный гамильтониан.

20. Ферромагнетизм и антиферромагнетизм.
21. Квантование квазиимпульса и энергии носителей тока в потенциальной яме. Пример квантовой ямы. Условия наблюдения.
22. Квантовые точки. Уровни энергии. Зависимость от размера.
23. Гетероструктуры с высокой подвижностью электронов. Модулированное легирование.
24. Механизмы рассеяния двумерных электронов в НЕМТ гетероструктурах. Температурная зависимость подвижности электронов.
25. Электронное строение органических полупроводников. НОМО и LUMO молекулярные орбитали. Механизмы переноса зарядов в неупорядоченных полупроводниках.

Общая электротехника и электроника

26. Электрические цепи. Активные и пассивные элементы.
27. Основные законы электрических цепей. Линейные электрические цепи. Дифференциальное уравнение линейной цепи.
28. Векторная диаграмма токов и напряжений.
29. Комплексная функция цепи. Амплитудно-частотная и фазочастотная характеристики линейной цепи.
30. Четырёхполюсник, матрицы Y , S и Z параметров.
31. Принцип усиления электрических колебаний. Классификация усилителей.
32. Замкнутый колебательный контур. Дифференциальное уравнение колебательного контура. Свободные колебания. Явление резонанса.
33. Полупроводниковый диод. Прямое и обратное включение диода в электрическую цепь. Вольт-амперная характеристика (ВАХ) диода.
34. Эквивалентная схема биполярного транзистора. Входные и выходные статические характеристики. Схемы включения транзисторов.
35. Спектральное и временное представление сигналов, связь между ними.
36. Дискретное представление электрического сигнала. Аналогово-цифровые преобразователи. Типы АЦП.
37. Основные цифровые схемы. Триггер. Инвертор. Компаратор
38. Цифровые схемы- мультиплексор и демультимплексор. Регистры.

Приборы микро- и нанoeлектроники

39. Электронно-дырочные переходы. Характеристики потенциального барьера. Вольтамперные характеристики идеального и реального р-п переходов. Р-п переход на малом переменном сигнале. Переходные процессы в р-п переходе. Эквивалентные схемы.

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

41. Гетеропереходы. Развитие представлений о гетеропереходах. Анизотипные и изотипные гетеропереходы: энергетические диаграммы и механизмы токопрохождения. Инжекционные свойства анизотипных гетеропереходов.

42. Биполярные транзисторы. Структура (геометрия) БТ. Планарный транзистор. Принцип действия БТ. Токи в транзисторе. Коэффициент усиления тока БТ, реальные факторы, влияющие на коэффициент усиления. БТ с эмиттерным гетеропереходом. Статические (входные и выходные) характеристики БТ в различных схемах включения. Системы параметров транзистора (у- α - h -системы). БТ на переменном сигнале. Эквивалентная схема транзистора. Частотные свойства БТ, способы (пути) повышения предельной частоты БТ. Дрейфовый транзистор.

43. Полевые транзисторы с р-п переходом и барьером Шоттки в качестве затвора. Принцип действия и конструкция ПТ. Основные особенности и достоинства в сравнении с БТ. Статические характеристики ПТ. Основные характеристики и параметры ПТ в усиленном режиме. Пути повышения крутизны ПТ. Работа ПТ в режиме ключа. Частотные свойства ПТ (эквивалентная схема).

44. Полевые транзисторы с барьером Шоттки в качестве затвора. Принцип действия и конструкция ПТ. Основные особенности и достоинства в сравнении с БТ. Статические характеристики ПТ. Основные характеристики и параметры ПТ в усиленном режиме. Пути повышения крутизны ПТ. Частотные свойства ПТ (эквивалентная схема).

45. Свойства структуры металл-диэлектрик-полупроводник: режимы аккумуляции, истощения и инверсии; эффект поля. Энергетическая диаграмма и вольтфарадная характеристика МДП-структуры. Пороговое напряжение и потенциал инверсии. Подвижный заряд в инверсионном слое. Конструкция и принцип работы МДП-ПТ. Статические характеристики МДП-ПТ. Работа ПТ в режиме ключа и усилительном режиме.

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

47. Туннельный диод. Эффект Ганна.
48. Резонансно-туннельный диод. Вольтамперная характеристика. Температурная зависимость.
49. Инжекционный лазер на основе гетероструктурной квантовой ямы.
50. Каскадные солнечные фотовольтаические элементы.
51. Полупроводниковые интегральные схемы. Транзисторы, диоды и другие элементы в интегральном исполнении. Межэлементная изоляция. ИС, БИС, СБИС. Классификация микросхем по конструктивно-технологическому принципу: МОП- и КМОП-ИС, биполярные (ТТЛ-, ЭСЛ-, И2Л-ИС); Би-КМОП; «кремний-на-изоляторе» («кремний-на-сапфире»)-ИС; GaAs-ИС на полевых транзисторах с барьером Шоттки (ПТШ).

Технологии микро- и нанoeлектроники

52. Метод Чохральского для роста монокристаллов. Технологии эпитаксиального выращивания полупроводников. Химическое травление и химическая полировка кремния и арсенида галлия.
53. Планарная технология формирования монолитно-интегрированных элементов микросхем.
54. Степень интеграции ИС. Закон Мура. Закон Рока.
55. Понятие технологического маршрута полупроводниковых приборов.
56. Критический размер топологии и методы его контроля. Фотолитография и ограничение предельного размера элементов.
57. Проекционная фотолитография, и эксимерная и рентгеновская литография.
58. Электронно-лучевая нанолитография. Импринт – литография. Ограничения и способы получения суб-100 нм размеров топологии.
59. Плазмохимические процессы осаждения диэлектриков и травления диэлектриков, металлов и полупроводников.
60. Диффузионные процессы. Профиль диффузии примеси в зависимости от режимов процесса. Термическое окисление кремния.
61. Ионная имплантация.
62. Вакуумная металлизация. Создание омических и барьерных контактов.

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.

Согласовано:

Председатель
экзаменационной
комиссии

Каргин Николай Иванович,
д.т.н., профессор