

ПЕНЗЕНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

УТВЕРЖДАЮ  
Председатель приемной  
комиссии, ректор ПГУ  
\_\_\_\_\_ А.Д. Гуляков  
"\_\_\_" \_\_\_\_\_ 2015

**Программа**  
вступительного испытания  
в магистратуру по направлению  
03.04.02 «Физика».  
Магистерская программа: «Физика конденсированного  
состояния вещества»

Пенза 2015

## **1. Общая характеристика направления 03.04.02 (011200.68, 510400) ФИЗИКА**

Настоящая программа разработана на основе требований государственного образовательного стандарта по направлению подготовки **бакалавра 03.03.02 «Физика»** дисциплины – Б1.ВО.10 «Физика твердого тела».

Программа предназначена для лиц, имеющих диплом бакалавра или диплом специалиста.

Подготовка магистров в ГОУ ВПО «Пензенский государственный университет» ведется на кафедре «Физика» по магистерской программе - **510403 – «Физика конденсированного состояния вещества»**.

**Содержание программы:** Строение и свойства кристаллических и неупорядоченных структур при различных физических условиях. Взаимодействия с электромагнитными полями и потоками частиц. Экспериментальное изучение строения вещества, его физических характеристик и фундаментальных эффектов и явлений в веществе. Технология получения веществ с заданными физическими свойствами. Современные теоретические представления и математические методы исследований в физике вещества. Практика научной работы.

**Область профессиональной деятельности** магистра по направлению 011200.68 «Физика» (код по ОКСО – 510400) направлена на исследование и изучение структуры и свойств природы на различных уровнях ее организации от элементарных частиц до Вселенной, полей и явлений, лежащих в основе физики, на освоение новых методов исследований основных закономерностей природы.

**Объектами профессиональной деятельности** магистра являются:

- учреждения системы высшего и среднего специального образования;
- лаборатории, научно-исследовательские институты;
- конструкторские и проектные бюро и фирмы;
- производственные предприятия и объединения.

**Виды профессиональной деятельности** – магистр физик может работать в должностях, предусмотренных законодательством Российской Федерации для лиц, имеющих высшее профессиональное образование:

- старшим лаборантом;
- младшим научным сотрудником;
- инженером НИИ: инженер-физик, инженер-технолог, инженер-конструктор;
- преподавателем средней школы;
- преподавателем среднего профессионального учреждения;
- преподавателем вуза.

**Магистр физики подготовлен к обучению в аспирантуре** преимущественно по научным специальностям в следующих научных областях: физико-математических наук, биологических наук, геолого-минералогических наук и по другим, близким по профилю, научным специальностям:

- 01.04.10 – «Физика полупроводников»;
- 01.04.07 – «Физика конденсированного состояния»;
- 01.04.05 – «Оптика»;
- 05.11.01 – «Приборы и методы измерения».

## 2. Содержание программы вступительного экзамена

### **Б1. Б. Базовая часть. Модуль «Профильные дисциплины». Профиль 1: «Физика конденсированного состояния вещества»**

#### **Б1.ВО.10 – «Физика твердого тела»**

##### **I. Атомная структура кристаллов**

- 1.1. Элементарная ячейка. Основные системы кристаллов (сингонии). Трансляционные решетки Бравэ. Период решетки. Координационное число. Коэффициент упаковки.
- 1.2. Кристаллографические индексы Миллера. Обратная решетка. Методы исследования атомной структуры твердых тел.
2. Основные типы связей в твердом теле.
  - 2.1. Строение атомов и периодическая система элементов. Электронная структура многоэлектронных атомов.
  - 2.2. Типы межатомной связи – гомополярные и гетерополярные. Энергия связи.
  - 2.3. Ионная связь.
  - 2.4. Ковалентная связь.
  - 2.5. Металлическая и водородная связь. Энергия кристаллической решетки.
  - 2.6. Классификация кристаллов по типам химической связи: ионные кристаллы, атомные кристаллы, металлические кристаллы, принцип плотной упаковки, молекулярные кристаллы, кристаллы с водородными связями.
3. Дефекты в кристаллах.
  - 3.1. Классификация дефектов.
  - 3.2. Точечные тепловые и радиационные дефекты.
  - 3.3. Дислокации. Контур и вектор Бюргерса. Движение дислокаций.
  - 3.4. Источники дислокаций.
4. Элементы физической статистики.
  - 4.1. Способы описания состояния макроскопической системы. Невырожденные и вырожденные коллективы.
  - 4.2. Число состояний для микрочастиц. Критерий невырожденности идеального газа. Энергия Ферми.
  - 4.3. Функция распределения для невырожденного и вырожденного газа – фермионов и бозонов. Правила статистического усреднения.
5. Колебания кристаллической решетки.
  - 5.1. Нормальные колебания решетки. Фононы. Плотность фононных состояний. Спектр нормальных колебаний решетки. Гармоническое и адиабатическое приближения. Упругие волны в кристаллах.
  - 5.2. Колебания одномерной линейной цепочки.
  - 5.3. Колебания двумерной цепочки. Дисперсионные соотношения.
  - 5.4. Колебания атомов трехмерной решетки. Акустическая и оптическая ветвь.
6. Структура расплавов и кристаллизация.
  - 6.1. Структура расплавленных металлов. Энергетические условия процесса кристаллизации. Гомогенная кристаллизация. Гетерогенное образование зародышей.
  - 6.2. Кинетика кристаллизации. Рост кристаллов при затвердевании чистых металлов.
  - 6.3. Методы выращивания монокристаллов из расплавов металлов: метод Чалмерса, Бриджмена и Чохральского. Стеклование. Аморфизация. Жидкие кристаллы.
  - 6.4. Понятие о металлических сплавах и твердых растворах, интерметаллических соединениях и металлических стеклах (стекловидные металлы, метглассы). Упорядоченные и неупорядоченные растворы (сверхструктуры). Ближний порядок в твердых растворах.

##### **II. Физические свойства твердых тел.**

7. Механические свойства кристаллических тел.

- 7.1. Виды деформации твердых тел. Механическое напряжение.
- 7.2. Закон Гука для изотропных твердых тел. Модули упругости и сжимаемости.
- 7.3. Закон Гука для анизотропных кристаллических тел.
- 7.4. Пластичность и хрупкое разрушение твердых тел.
- 7.5. Методы измерения упругих параметров твердых тел.
8. Тепловые свойства твердых тел.
  - 8.1. Теплоемкость твердого тела – закон Дюлонга-Пти.
  - 8.2. Теория теплоемкости Эйнштейна.
  - 8.3. Теория теплоемкости Дебая. Сравнение теории с экспериментом.
  - 8.4. Тепловое расширение твердых тел.
  - 8.5. Теплопроводность твердых тел. Средняя длина свободного пробега фононов.
  - 8.6. Методы измерения тепловых параметров твердых тел.
9. Основы электронной теории кристаллов.
  - 9.1. Классическая теория электронного газа. Уточнение электронной теории по данным опыта.

Квантовая электронная теория кристаллов. Энергетические уровни свободных атомов. Обобществление электронов в кристалле. Энергетический спектр электронов в кристалле.

    - 9.2. Модель газа свободных электронов – модель Зоммерфельда. Зонная модель – модель почти свободных электронов.

Заполнение энергетических зон электронами. Проводники, полупроводники и изоляторы. Собственные и примесные полупроводники. Понятие о дырках.

      - 9.3. Движение свободного электрона под действием внешнего поля. Эффективная масса электрона.

Электронные волны в кристалле. Квазичастицы и электронная теплоемкость.
    10. Электропроводность твердых тел.
      - 10.1. Классификация твердых тел по электрическим свойствам.
      - 10.2. Диэлектрическая проницаемость и поляризуемость. Диэлектрическая релаксация. Домены. Кристаллические электреты и пироэлектрики. Пьезоэлектрики. Сегнетоэлектрики.
      - 10.3. Электропроводность металлов. Классическая электронная теория электропроводности металлов. Закон Видемана – Франца – Лоренца. Квантовая теория электропроводности металлов. Закон Ома в квантовой теории.
      - 10.4. Проводимость полупроводников. Собственная и примесная проводимость. Эффект Холла.
      - 10.5. Термоэлектрические явления. Работа выхода электрона из металла. Контакт двух металлов. Контакт металла и полупроводника. Эффект Зеебека, Пельтье, Томсона. Гальваномагнитные явления. Термоэлектронная эмиссия.
    11. Сверхпроводимость.
      - 11.1. Основные свойства сверхпроводников. Эффект Мейснера. Сверхпроводники I и II рода.
      - 11.2. Вихри и вихревые структуры. Основы микроскопической теории. Куперовские пары. Энергетическая щель и квазичастицы в сверхпроводниках.
      - 11.3. Туннельный эффект. Эффекты Джозефсона. Высокотемпературная сверхпроводимость.
    12. Магнитные свойства твердых тел.
      - 12.1. Основные типы магнетиков. Магнитные свойства атомов. Природа диамагнетизма. Классическая и квантовая теория парамагнетизма.
      - 12.2. Природа ферромагнетизма. Обменное взаимодействие. Температурная зависимость намагниченности насыщения. Точка Кюри. Закон Кюри-Вейса. Доменная структура ферромагнетиков. Блоховская граница. Процесс намагничивания.
      - 12.3. Спиновые волны. Магноны. Антиферромагнетизм. Ферримагнетизм. Ферриты. Магнитный резонанс: ядерный, электронный парамагнитный.
      - 12.4. Методы измерения магнитных характеристик магнетиков.
    14. Оптические свойства кристаллов.
      - 14.1. Окраска кристаллов. Экситоны.

14.2. Основы твердотельной квантовой электроники. Мазеры и лазеры.

14.3. Фотопроводимость. Люминесценция.

### 3. Вопросы к вступительному экзамену в магистратуру по направлению 03.04.02 – «Физика»

1. Элементарная ячейка. Основные системы кристаллов (сингонии). Трансляционные решетки Бравэ. Элементы объема и плотности кристаллической ячейки.
2. Кристаллографические индексы Миллера. Обратная решетка.
3. Строение атомов: классическая теория.
4. Строение атомов: квантовая теория.
5. Электронная структура атомов. Периодическая система элементов.
6. Типы межатомной связи – гомополярные и гетерополярные.
7. Энергия связи: Ионная связь.
8. Энергия связи: Ковалентная связь.
9. Металлическая и водородная связь. Межмолекулярное взаимодействие.
10. Теория направленной валентности:  $\sigma$  и  $\pi$  - связь. Классификация кристаллов по типам связи.
11. Дефекты в кристаллах. Тепловые точечные дефекты. Дислокации.
12. Способы описания состояния макроскопической системы. Термодинамической и статистический методы. Функция состояния системы - коллектива частиц.
13. Невырожденные и вырожденные коллективы. Классическая и квантовая статистики. Функция распределения. Число состояний для микрочастиц. Фазовое пространство. Плотность состояний.
14. Функция распределения для невырожденного газа – фермионов и для вырожденного газа - бозонов. Правила статистического усреднения.
15. Энергия Ферми. Критерий невырожденности идеального газа.
16. Полная и средняя кинетическая энергия частиц. Максимальная и средняя квадратичная скорости. Температура вырождения.
17. Нормальные колебания решетки. Спектр нормальных колебаний решетки. Нормальные моды. Понятие о фононах. Плотность фононных состояний.
18. Стоячие волны в кристалле: одномерная линейная цепочка атомов; двумерная и трехмерная область кристалла.
19. Дисперсионные кривые. Фазовая и групповая скорость.
20. Колебания одномерной решетки с базисом. Колебания решетки трехмерного кристалла.
21. Механические свойства твердых тел. Виды деформации. Закон Гука. Диаграмма относительной деформации при одноосном растяжении. Коэффициент Пуассона.
22. Вывод закона Гука для упругого твердого тела. Коэффициент гармоничности.
23. Компоненты тензора упругой деформации твердого тела. Упругие модули – модуль Юнга, модуль сдвига, модуль объемной упругости. Показатель анизотропии.
24. Деформация сдвига и кручения.
25. Деформация изгиба однородной балки.
26. Методы определения модуля Юнга – статический, динамический: резонансный и импульсный. Метод поперечных колебаний – модулемер Панова.
27. Методы определения модуля сдвига – метод крутильного маятника.
28. Теплоемкость твердых тел. Закон Дюлонга-Пти.
29. Квантовая теория теплоемкости Эйнштейна.
30. Уточненная теория теплоемкости Дебая.
31. Тепловое расширение твердых тел.
32. Теплопроводность твердых тел.

33. Электронная теория твердых тел. Модель газа свободных электронов – модель Зоммерфельда.
34. Зонная модель – модель почти свободных электронов.
35. Движение электрона в периодическом поле кристалла под действием электрического поля. Эффективная масса электрона.
36. Заполнение энергетических зон электронами. Проводники, диэлектрики и полупроводники.
37. Собственная проводимость полупроводников. Понятие о дырках. Примесные полупроводники. Донорные и акцепторные уровни.
38. Классификация твердых тел по электрическим свойствам. Удельное сопротивление и проводимость проводников.
39. Классическая теория электропроводности металлов.
40. Дрейф электронов под действием внешнего поля. Время релаксации. Подвижность электронов.
41. Зависимость подвижности заряженных частиц от температуры.
42. Термоэлектрические свойства: эффект Зеебека, эффект Пельтье и Томсона.
43. Диэлектрические свойства твердых тел: основные свойства диэлектриков, типы поляризации.
44. Электронная упругая поляризация.
45. Ионная упругая поляризация.
46. Дипольная упругая поляризация.
47. Электронная тепловая (релаксационная) поляризация.
48. Ионная тепловая (релаксационная) поляризация.
49. Дипольная тепловая (релаксационная) поляризация.
50. Электрострикция, пьезоэффект, пирозэффект – основные понятия.
51. Основные типы и классификация магнетиков. Магнитные свойства твердых тел – намагниченность, восприимчивость, магнитная проницаемость.
52. Магнитные свойства атомов. Гиромагнитное отношение. Прецессия Лармора. Орбитальный ток.
53. Физическая природа диамагнетизма.
54. Классическая теория парамагнетизма Ланжевена.
55. Природа ферромагнетизма. Температурная зависимость намагниченности насыщения. Точка Кюри. Закон Кюри-Вейса.
56. Обменное взаимодействие – теория Френкеля-Гейзенберга.
57. Доменная структура ферромагнетиков. Эффект Баркгаузена. Петля гистерезиса.
58. Явление сверхпроводимости. Основные свойства сверхпроводников. Эффект Мейснера. Сверхпроводники I и II рода.
59. Основы микроскопической теории. Куперовские пары. Энергетическая щель и квазичастицы в сверхпроводниках. Туннельный эффект. Эффект Джозефсона.
60. Оптические свойства кристаллов – отражение, пропускание, поглощение. Основы твердотельной квантовой электроники. Мазеры и лазеры. Фотопроводимость. Люминесценция.

#### 4. Рекомендуемая литература.

1. Гуртов В.А., Осауленко Р.Н. Физика твердого тела для инженеров: Учеб. пособие. М.: Техносфера, 2007 г.
2. Зиненко В.И., Сорокин Б.П., Турчин П.П. Основы физики твердого тела: Учеб. пособие для вузов. М.: Издательство физ.-мат. лит., 2001 г. – 336 с.
3. Шалимова К.В. Физика полупроводников: Учебник для вузов. – 4-е изд., стер. – С.-П.: Лань, 2009. – 400 с.
4. Пасынков В.В., Чиркин Л.К. Полупроводниковые приборы. 9-е изд., стер. – С.-П.: Лань, 2009. – 480 с.

5. Ансельм А.И. Введение в теорию полупроводников. 3-е изд., стер. – С.-П.: Лань, 2008. – 624 с.
6. Таиров Ю.М., Цветков В.Ф. Технология полупроводниковых приборов и диэлектрических материалов. 3-е изд., стер. – С.-П.: Лань, 2008. – 424 с.
7. Гуртов В.А. Твердотельная электроника: Учеб. пособие. – 2-е изд., доп. М.: Техносфера, 2005 г. - 408 с.
8. Гаман В.И. Физика полупроводниковых приборов: Учебн. Пособ. // В.И. Гаман. Томск: Издат. НТЛ, 2000 г. – 426 с.
9. Шишкин Г.Г. Приборы квантовой электроники.: Учеб. пос. для вузов. – М.: Сайнс-Пресс, 2004 г. – 80 с.
10. Протасов Ю.С. Твердотельная электроника // Ю.С. Протасов, С.В. Чувашев, МГТУ им. Баумана, 2003 г. – 480 с.

Руководитель магистерской  
программы, д.ф.-м.н., профессор



В.Д. Кревчик