

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ
ИНСТИТУТ ФИЗИКИ ВЫСОКИХ ДАВЛЕНИЙ
им. Л.Ф. ВЕРЕЩАГИНА
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК
(ИФВД РАН)



УТВЕРЖДАЮ
Заместитель директора по
науке ИФВД РАН

В.И. Рыжов

2020 г.

ПРОГРАММА

**вступительного экзамена в аспирантуру
по специальной дисциплине**

по направлению подготовки
03.06.01 ФИЗИКА И АСТРОНОМИЯ

профиль программы
01.04.07 – Физика конденсированного состояния

Москва, 2020 г.

ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Программа вступительного испытания по профилю **01.04.07 – Физика конденсированного состояния** предназначена для поступающих в аспирантуру в качестве руководящего учебно-методического документа для целенаправленной подготовки к сдаче вступительного испытания.

Программа включает содержание профилирующих учебных дисциплин, входящих в основную образовательную программу высшего образования, по которой осуществляется подготовка студентов, в соответствии с требованиями федерального государственного стандарта.

Целью программы вступительных испытаний является определение уровня знаний, готовности и возможности поступающего к освоению программы подготовки в аспирантуре, к самостоятельному выполнению научной работы, подготовке и защите диссертации на соискание ученой степени кандидата наук по научной специальности **01.04.07 – Физика конденсированного состояния**.

Поступающий в аспирантуру должен продемонстрировать высокий уровень практического и теоретического владения материалом вузовского курса.

Программа содержит описание формы вступительного экзамена, содержание, перечень вопросов и список литературы, рекомендуемой для подготовки.

1. ФОРМА ПРОВЕДЕНИЯ ВСТУПИТЕЛЬНОГО ЭКЗАМЕНА

Вступительный экзамен проводится в устной форме в соответствии с установленным расписанием.

Поступающему предлагается ответить на **3** вопроса билета, содержанием которого являются разделы и темы программы соответствующего вступительного экзамена. Подготовка ответа поступающим на билет проводится в письменной форме, непосредственный ответ на билет проходит в устной форме.

Участники вступительного испытания могут иметь при себе и использовать справочные материалы и электронно-вычислительную технику.

Результаты экзамена оцениваются по **пятибалльной** шкале.

Результаты вступительного испытания объявляются на официальном сайте Института в день проведения вступительного испытания.

2. СОДЕРЖАНИЕ ПРОГРАММЫ ВСТУПИТЕЛЬНОГО ЭКЗАМЕНА

I. Структура твердых тел

1. Кристаллические и аморфные тела. Трансляционная симметрия. Элементарная ячейка. Решётка Браве. Точечные и пространственные группы. Особенности

распространения волн в периодических структурах. Закон Брэгга. Обратная решётка. Индексы Миллера. Зона Бриллюэна.

2. Дефекты в кристаллах. Точечные дефекты, их образование и диффузия. Вакансии. Атомы внедрения. Комбинации атомных дефектов. Краевые и винтовые дислокации. Вектор Бюргерса. Энергия дислокаций. Границы зерен. Источник Франка-Рида. Влияние радиационных, механических, термических воздействий на реальную структуру твердых тел.

3. Тип химической связи. Структурные и физические особенности ионных, ковалентных, металлических и молекулярных кристаллов. Плотнейшие упаковки.

II. Энергетический спектр кристаллов

1. Описание энергетического состояния кристаллов при помощи газа квазичастиц. Примеры квазичастиц: фононы, магноны, экситоны, плазмоны и другие. Электроны в металле как квазичастицы, квазиимпульс. Закон дисперсии. Теорема Блоха. Граничные условия. Плотность состояний. Статистика газа квазичастиц. Бозоны и фермионы. Взаимодействие квазичастиц.

2. Колебания решётки – фононы. Акустическая и оптическая ветви колебаний. Теплоёмкость решётки. Дебаевская частота. Фактор Дебая-Уоллера в рассеянии рентгеновских лучей. Ангармонизм и тепловое расширение.

3. Электронные состояния в кристаллах. Приближение сильной и слабой связи. Зонная схема и типы твердых тел. Вырожденный электронный газ. Электронная теплоёмкость, поверхности Ферми. Тензор эффективных масс. Электроны и дырки. Циклотронная масса. Положение Ферми-уровня в невырожденных полупроводниках.

III. Кинетические явления

1. Кинетическое уравнение. Электро- и теплопроводность. Время релаксации. Механизмы рассеяния электронов. Рассеяние на примесях и дефектах. Электрон-фононные взаимодействия. Нормальные процессы и процессы переброса. Магнитосопротивление и эффект Холла.

2. Металлы с большой длиной свободного пробега электронов. Аномальный скин-эффект. Циклотронный резонанс и размерные эффекты. Проникновение электромагнитного поля в металл. Квантование орбит в магнитном поле. Эффект де-Гааза-ван-Альфена.

3. Полупроводники. Электронная структура типичных полупроводников. Германий. Узкозонные полупроводники. Примесные уровни. Доноры и акцепторы. Температурная зависимость проводимости. p-n переходы. Фотопроводимость. Рекомбинация и релаксация неравновесных носителей. Горячие носители.

IV. Механические, оптические и магнитные свойства твердых тел

1. Тензор упругих постоянных и упругая деформация. Пластичность кристаллов. Предел текучести. Упрочнение. Внутреннее трение.

2. Механизм поглощения фотонов. Поглощение свободными носителями. Решеточное поглощение. Многофотонные процессы. Комбинационное рассеяние света в кристаллах. Поглощение связанными носителями. Правила отбора. Междузонные прямые и не прямые переходы. Экситоны. Времена жизни возбуждений, флюоресценция. Безызлучательные переходы. Квантовый выход люминесценции.

3. Диамагнетизм свободного электронного газа. Спиновый парамагнетизм. Закон Кюри. Ферромагнетизм. Молекулярное поле Вейса. Обменное взаимодействие. Ферромагнитные домены. Энергия анизотропии. Доменная стенка. Антиферромагнетики. Ферриты.

V. Диэлектрики

Эффективное поле. Электронная, ионная и дипольная поляризация. Электрострикция и пьезоэлектричество. Сегнетоэлектрики. Электрический гистерезис. Молекулярные кристаллы.

VI. Термодинамика и фазовые переходы

Равновесие фаз. Фазовые переходы I и II рода. Теория фазовых переходов Ландау. Флуктуации, твердые растворы и промежуточные фазы. Равновесие в многокомпонентных системах и правило фаз. Диаграммы равновесия. Кинетика фазовых превращений. Диффузионные и бездиффузионные превращения.

VII. Сверхпроводимость

Основные свойства сверхпроводников. Эффект Мейснера. Сверхпроводники I и II рода. Вихри и вихревые структуры. Основы микроскопической теории. Куперовские пары. Энергетическая щель и квазичастицы в сверхпроводниках. Туннельный эффект. Эффекты Джозефсона.

VIII. Экспериментальные методы физики твердого тела

Рентгенография: методы исследования идеальной и реальной структуры. Электронография и электронная микроскопия. Нейтронография: упругое и неупругое когерентное рассеяние, исследование магнитных структур и фононных спектров. Эффект Мессбауэра. ЭПР. ЯМР. Спектроскопия твердых тел (Раман, ИК, Бриллюэновское

рассеяние и др.) Электрические и гальваномагнитные измерения как методы изучения электронной структуры кристаллов и состава примесей в полупроводниках.

IX. Физика наноструктур

Определение наноструктур, особенности их физических характеристик. Размерное квантование, электронные и колебательные спектры наноструктур. Металлические кластеры. Фуллерены и нанотрубки. Графен. Полупроводниковые низкоразмерные структуры. Гетеропереходы и квантовые ямы.

X. Физика жидкостей и стекол

Структура жидкостей и стекол. Жидкие кристаллы. Статический и динамический структурный фактор. Вязкость жидкостей. Стеклование. Электронные и решеточные возбуждения в неупорядоченных средах. Локализация.

XI. Геофизика высоких давлений

Геофизика и геохимия высоких давлений. Давление, температура, состав внутри Земли и планет Солнечной системы. Петрология и физические свойства мантии Земли. Внешнее и внутреннее ядро. Мантийные плюмы, конвекция, миграция вещества в недрах Земли и планет. Уравнения состояния геоматериалов и сейсмические волны.

ПЕРЕЧЕНЬ ВОПРОСОВ

1. Экспериментальные свидетельства и следствия существования кристаллической решетки. Связь физических свойств с составом, атомной структурой и симметрией кристаллов.
2. Трансляционная симметрия. Элементарная ячейка. Решётка Браве. Точечные и пространственные группы.
3. Особенности распространения волн в периодических структурах. Закон Брэгга. Обратная решётка. Зона Бриллюэна.
4. Точечные дефекты, их образование и диффузия. Вакансии. Атомы внедрения. Комбинации атомных дефектов.
5. Краевые и винтовые дислокации. Вектор Бюргерса. Энергия дислокаций. Переползание и скольжение. Размножение дислокаций.
6. Энергетический спектр кристаллов. Закон дисперсии. Теорема Блоха. Граничные условия. Плотность состояний.
7. Колебания решётки – фононы. Акустическая и оптическая ветви колебаний. Теплоёмкость решётки. Дебаевская и эйнштейновская частоты.

8. Кинетическое уравнение. Электро- и теплопроводность. Время релаксации. Механизмы рассеяния электронов. Рассеяние на примесях и дефектах.
9. Электрон-фононные взаимодействия. Нормальные процессы и процессы переброса. Магнитосопротивление и эффект Холла.
10. Аномальный скин-эффект. Циклотронный резонанс и размерные эффекты.
11. Тензор эффективных масс. Электроны и дырки. Циклотронная масса. Положение Ферми-уровня в невырожденных полупроводниках. Электронная структура типичных полупроводников. Узкозонные полупроводники. Примесные уровни. Доноры и акцепторы. Температурная зависимость проводимости.
12. *p-n* переходы. Фотопроводимость. Рекомбинация и релаксация неравновесных носителей.
13. Тензор упругих постоянных и упругая деформация. Пластичность кристаллов. Предел текучести. Упрочнение. Внутреннее трение.
14. Многофотонные процессы. Комбинационное рассеяние света в кристаллах. Поглощение связанными носителями. Правила отбора.
15. Экситоны. Времена жизни возбуждений, флюоресценция. Безизлучательные переходы. Квантовый выход люминесценции.
16. Диамагнетизм свободного электронного газа. Спиновый парамагнетизм. Закон Кюри. Ферромагнетизм. Молекулярное поле Вейса. Обменное взаимодействие.
17. Основные свойства сверхпроводников. Эффект Мейснера. Сверхпроводники I и II рода. Вихри и вихревые структуры.
18. Основы микроскопической теории. Куперовские пары. Энергетическая щель и квазичастицы в сверхпроводниках. Туннельный эффект. Эффекты Джозефсона.
19. Электрострикция и пьезоэлектричество. Сегнетоэлектрики. Электрический гистерезис.
20. Фазовые переходы I и II рода. Теория фазовых переходов Ландау. Флуктуации, твердые растворы и промежуточные фазы. Равновесие в многокомпонентных системах и правило фаз. Диаграммы равновесия.
21. Рентгенография, электронография и электронная микроскопия. Нейтронография: упругое и неупругое когерентное рассеяние, исследование магнитных структур и фононных спектров.
22. Эффект Мессбауэра. ЭПР. ЯМР. Электрические и гальваномагнитные методы изучения электронной структуры кристаллов и состава примесей в полупроводниках.
23. Тип химической связи. Структурные и физические особенности ионных, ковалентных, металлических и молекулярных кристаллов.
24. Определение наноструктур, особенности их физических характеристик. Размерное квантование, электронные и колебательные спектры наноструктур.
25. Металлические кластеры. Фуллерены и нанотрубки. Графен.
26. Полупроводниковые низкоразмерные структуры. Гетеропереходы и квантовые ямы. Сверхрешётки, квантовые нити, точки.

27. Структура жидкостей и стекол. Ближний и промежуточный порядок. Методы исследования структуры неупорядоченных сред.
28. Квазичастицы в неупорядоченных средах. Локализация возбуждений.
29. Физические свойства мантии Земли. Внешнее и внутреннее ядро.
30. Мантийные плюмы, конвекция, миграция вещества в недрах Земли и планет.

3. УЧЕБНАЯ ЛИТЕРАТУРА

Основная литература

1. Ашкрофт Н. Мермин Н. Физика твердого тела, т. 1,2 // М., Наука, 1979. 458 и 486 с.
2. Киттель Ч. Введение в физику твердого тела // М., Наука, 1978, 792 с.
3. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Статистическая физика. Часть 1 // М., Наука, 1995, 583 с.
4. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Теория упругости // М., Наука, 1987, 246 с.
5. Киттель Ч. Квантовая теория твердых тел // М., Наука, 1967, 492 с.
6. Суровцев Н.В. Спектроскопия конденсированных сред, Учебное пособие // Новосибирск, 2010, 237 с
7. Займан Дж. Принципы теории твердого тела // М., Мир, 1974, 472 с.
8. Займан Дж. Модели беспорядка // М., Мир, 1982, 591 с.
9. Anderson D.L. New theory of the Earth // Cambridge University Press, 2007, 400 p.
10. Tinkham M. Introduction to superconductivity (2nd Edition) // McGraw Hill, 1996, 472 p.

Дополнительная литература

1. Абрикосов А.А. Основы теории металлов // М., Наука, 1987.
2. Ансельм А.И. Введение в теорию полупроводников // М., Наука, 1987.
3. Гантмахер В.Ф. Электроны в неупорядоченных средах // М., ФИЗМАТЛИТ, 2003.
4. Мануэль Кардона Ю.П. Основы физики полупроводников // М. ФИЗМАТЛИТ, 2002.
5. Жарков В.Н., Калинин В.А. Уравнения состояния твердых тел при высоких давлениях и температурах // М., Наука, 1968.
6. Твердые тела под высоким давлением, под ред. В. Пола и Д. Варшауэра // М., Мир, 1966.
7. Задачи по физике твердого тела, под ред. Г.Дж. Голдсмида // М., Наука, 1982.
8. Stanley H.E. Introduction to phase transitions and critical phenomena // Clarendon Press, Oxford, 1971.
9. Chaikin P.M., Lubensky T.C. Principles of condensed matter physics // Cambridge Univ. Press, 1995.
10. Балеску Р. Равновесная и неравновесная статистическая механика, т.1 // М., Мир, 1978.
11. Паташинский А.З., Покровский В.Л. Флуктуационная теория фазовых переходов // М. Наука, 1982.
12. Любарский Г.Я. Теория групп и ее применение в физике // М., ГИФМЛ, 1958.
13. Циклис Д.С. Техника физико-химических исследований при высоких и сверхвысоких давлениях // М., Химия, 1976.
14. Eremets M.I. High Pressure experimental methods // Oxford University Press, 1996.
15. Свенсон К. Физика высоких давлений // М., ИЛЛ, 1963.
16. Мендельсон К. На пути к абсолютному нулю // М., Атомиздат, 1971.

17. Роуз-Инс А. Техника низкотемпературного эксперимента // М., Мир, 1966.
18. Лоуназмаа О.В. Принципы и методы получения температур ниже 1 К // М., Мир, 1977.
19. Буккель В. Сверхпроводимость // М., Мир, 1975.
20. Тябликов С.В. Методы квантовой теории магнетизма // М., Наука, 1975.
21. Зубарев Д.Н. Неравновесная статистическая термодинамика // М., Наука, 1971.
22. Нокс Р., Голд А. Симметрия в твердом теле // М., Наука, 1980.
23. Вонсовский С.В., Кацнельсон М.И. Квантовая физика твердого тела // М., Наука, ФМЛ, 1983.
24. Маделунг О. Физика твердого тела // М., Наука, ФМЛ, 1985.
25. Жарков В.Н. Внутреннее строение Земли и планет. Элементарное введение в планетную и спутниковую геофизику // М., ООО "Наука и Образование". 2013.
26. Dupas C., Houdy P., Lahmani M. (Eds.) Nanoscience: Nanotechnologies and Nanophysics // Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2007.