

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

ПРОГРАММА КАНДИДАТСКОГО ЭКЗАМЕНА

по научной специальности 1.3.8 Физика конденсированного состояния

Ставрополь, 2024

Введение

Программа кандидатского экзамена по научной специальности «Физика конденсированного состояния» разработана для аспирантов и соискателей.

Изучение «Физики конденсированного состояния» и последующая сдача экзамена являются обязательными для каждого соискателя ученой степени кандидата наук, позволяя соблюсти единый минимум требований к уровню знаний в физики жидкостей и твердых тел.

Порядок сдачи кандидатского экзамена по физиологии человека и животных

Порядок организации приема кандидатских экзаменов определяется соответствующими нормативными документами.

Цель экзамена – установить глубину профессиональных и научных знаний аспиранта или соискателя ученой степени.

В экзаменационный билет включаются 2 вопроса.

Для подготовки по билету отводится 45 минут. При подготовке к ответу аспиранту или соискателю предоставляется право пользования программой кандидатского экзамена.

Критерии оценивания

Оценка «отлично» выставляется аспиранту, если он глубоко и прочно усвоил материал, исчерпывающе, последовательно, четко и логически стройно его излагает, умеет тесно увязывать теорию с практикой, свободно справляется с задачами, вопросами и другими видами применения знаний, причем не затрудняется с ответом при видоизменении заданий, использует в ответе материал монографической литературы, правильно обосновывает принятое решение.

Оценка «хорошо» выставляется аспиранту, если он твердо знает материал, грамотно и по существу излагает его, не допуская существенных неточностей в ответе на вопрос, правильно применяет теоретические положения при решении практических вопросов и задач, владеет необходимыми навыками и приемами их выполнения.

Оценка «удовлетворительно» выставляется аспиранту, если он имеет знания только основного материала, но не усвоил его деталей, допускает неточности, недостаточно правильные формулировки, нарушения логической последовательности в изложении программного материала, испытывает затруднения в применении теоретических положений на практике.

Оценка «неудовлетворительно» выставляется аспиранту, который не знает значительной части программного материала, допускает существенные ошибки, не может увязывать теорию с практикой.

СОДЕРЖАНИЕ КУРСА

1. **Статистический подход к описанию конденсированных сред.** Статистические закономерности и описание системы многих частиц. Молекулярная система как совокупность частиц и как сплошная среда. Каноническое распределение Гиббса для системы в термостате.
2. **Идеальный газ.** Модель идеального газа. Равновесное пространственное распределение частиц идеального газа. Биноминальное распределение (распределение Бернулли). Молекулярная теория давления идеального газа. Уравнение состояния идеального газа (уравнение Клапейрона-Менделеева).
3. **Статистика идеального газа.** Распределение молекул газа по скоростям. Распределение Максвелла. Распределение Больцмана. Барометрическая формула. Распределение Максвелла-Больцмана и его экспериментальная проверка.
4. **Броуновское движение.** Длина свободного пробега. Частота соударений. Теорема о равномерном распределении кинетической энергии по степеням свободы. Характер движения броуновских частиц. Стохастические дифференциальные уравнения. Уравнение Смолуховского.
5. **Термодинамический подход к описанию конденсированных сред.** Термодинамические параметры. Термодинамические системы. Задание

системы с помощью уравнений состояния. Нулевое начало термодинамики. Понятие термодинамического равновесия.

6. Теплоемкость системы. Теплоемкость идеального газа. Связь теплоемкости газа с числом степеней свободы молекул. Уравнение Майера. Политропический процесс. Уравнение политропы и его частные случаи. Классическая теория теплоемкости твердых тел. Закон Дюлонга и Пти. Квантовая теория теплоемкости с учетом внутренних движений. Закон Дебая.

7. Первое и второе начала термодинамики. Дифференциальная форма первого начала. Неравенство Клаузиуса. Формулировка Клаузиуса и Томсона (Кельвина) второго начала термодинамики. Понятие энтропии термодинамической системы. Закон возрастания энтропии в неравновесной изолированной системе. Термодинамическая вероятность. Статистическая интерпретация второго начала термодинамики.

8. Реальные газы и жидкости. Неидеальный классический одноатомный газ. Парная корреляционная функция и её связь с энергией. Реальные газы. Уравнение Ван-дер-Ваальса. Силы межмолекулярного взаимодействия. Потенциал Леннарда-Джонса.

9. Термодинамические потенциалы. Метод термодинамических потенциалов. Условия равновесия и устойчивости однородной системы. Термодинамические тождества. Термодинамическое описание газов, магнетиков, диэлектриков.

10. Твердые тела. Кристаллические и аморфные состояния. Кристаллы. Симметрия кристаллов. Элементы точечной симметрии. Трансляция и трансляционная симметрия. Кристаллическая решетка. Элементарная ячейка. Фазы переменного состава. Дефекты в кристаллах. Дислокации. Понятие о жидких кристаллах.

11. Фазовые переходы первого и второго рода. Фаза. Классификация фазовых переходов по Эренфесту. Термодинамический потенциал Гиббса как функция состояния. Фазовые переходы первого рода. Уравнение Клапейрона-

Клаузиуса. Фазовые переходы второго рода. Теория фазовых переходов и критических явлений. Условия химического равновесия.

12. Электростатическое поле. Вектор напряженности электрического поля и его связь с потенциалом. Теорема Остроградского-Гаусса, её представление в дифференциальной форме. Поле диполя. Силы, действующие на диполь в электрическом поле. Энергия электрического диполя во внешнем поле.

13. Потенциальность электростатического поля. Потенциал. Связь потенциала с вектором напряженности электростатического поля. Теорема о циркуляции и её представление в дифференциальной форме. Уравнение Пуассона и математическая постановка задач электростатики.

14. Проводники в электрическом поле. Напряженность электрического поля у поверхности и внутри проводника. Распределение заряда по поверхности проводника. Емкость. Конденсаторы. Энергия заряженного конденсатора.

15. Диэлектрики в электрическом поле. Вектор поляризации. Свободные и связанные заряды. Вектор электрической индукции. Термодинамическое описание диэлектриков. Диэлектрическая проницаемость и диэлектрическая восприимчивость вещества. Понятие о тензоре диэлектрической проницаемости. Энергия диэлектрика во внешнем электрическом поле. Пондеромоторные силы в электрическом поле и методы их вычисления. Тензор натяжений Максвелла.

16. Постоянный электрический ток. Уравнение непрерывности. Условие стационарности тока. Электросопротивление. Удельная электропроводность вещества. Дифференциальная форма закона Ома. Закон Джоуля-Ленца и его дифференциальная форма. Сторонние силы. ЭДС.

17. Магнитное поле квазистационарных токов. Элементарный ток и его магнитный момент. Дипольный магнитный момент токов. Магнитное поле в дипольном приближении. Сила Лоренца. Эффект Холла.

18. Магнитное поле в сплошной среде. Вектор намагниченности и его связь с молекулярными токами. Вектор напряженности магнитного поля.

Магнитная проницаемость и магнитная восприимчивость вещества. Понятие о тензоре магнитной проницаемости. Граничные условия для векторов напряженности и индукции магнитного поля в кусочно-однородной среде.

19. Магнетики. Классификация магнетиков. Классическое описание диамагнетизма. Ларморова прецессия. Объяснение парамагнетизма по Ланжевену. Гиромагнитное отношение. Ферромагнетики. Доменная структура. Гистерезис намагничивания. Магнитная анизотропия. Ферромагнетизм - как следствие действия обменных сил. Температурная зависимость намагниченности. Точка Кюри.

20. Явление электромагнитной индукции. Закон электромагнитной индукции Фарадея и его формулировка в дифференциальной форме. Магнитная энергия контура с током. Энергия магнитного поля, её объемная плотность. Энергия магнитного поля в веществе.

21. Механизмы электропроводности твердых тел. Проводники. Основные положения классической электронной теории проводимости Друде-Лоренца. Понятие о зонной теории твердых тел. Энергетические уровни и формирование энергетических зон. Принцип Паули. Статистика Ферми-Дирака. Особенности зонной структуры диэлектриков, полупроводников и металлов.

22. Основы квантовой теории твердого тела. Модели твердого тела. Представление о квазичастицах. Фононы. Экситоны. Электрон-фононный гамильтониан. Сверхпроводимость. Модель БКШ. Основные свойства сверхпроводников. Эффект Мейснера, критическое магнитное поле. Взаимодействие частиц с кристаллической решеткой. Полярон.

23. Уравнения Максвелла. Электромагнитное поле. Уравнения Максвелла как обобщение экспериментальных данных. Электромагнитные волны в вакууме. Вектор Умова-Пойнтинга. Электрическое дипольное излучение.

24. Плоские электромагнитные волны в прозрачном веществе. Волновое уравнение. Скорость света в однородных изотропных диэлектриках.

Плотность энергии и импульса электромагнитных волн. Вектор Умова-Пойнтинга.

25. Явление интерференции. Интерференция монохроматических волн. Получение интерференционных картин делением волнового фронта (метод Юнга) и делением амплитуды (метод Френеля). Понятие о Фурье-спектроскопии. Пространственная когерентность.

26. Явление дифракции. Принцип Гюйгенса-Френеля, его интегральная запись и трактовка. Законы Френеля. Зонные пластинки. Спираль Корню. Понятие о теории дифракции Кирхгофа. Приближение Френеля и приближение Фраунгофера. Амплитудные и фазовые дифракционные решетки.

27. Дисперсия диэлектрической проницаемости. Физический смысл комплексной диэлектрической проницаемости. Формула Крамерса-Кронига. Пространственная дисперсия. Классическая электронная теория дисперсии. Фазовая и групповая скорости, их соотношение. Нормальная и аномальная дисперсия показателя преломления. Поглощение света. Закон Бугера-Ламберта-Бера. Особенности распространения света в металлах. Отражение света поверхностью металла.

28. Поляризация света. Поляризация естественного света. Оптические явления на границе раздела изотропных диэлектриков. Поляризация отраженной и преломленной волн. Угол Брюстера. Распространения световых волн в анизотропных средах. Одноосные и двухосные кристаллы. Двойное лучепреломление света. Анизотропия оптических свойств.

29. Оптическое излучение. Классическая модель затухающего дипольного осциллятора. Лоренцева форма и ширина линии излучения. Тепловое излучение. Излучательная и поглощательная способности вещества, их соотношение. Модель абсолютно черного тела. Закон Стефана-Больцмана, формула смещения Вина. Формула Рэлея - Джинса. Спектральная плотность энергии равновесного электромагнитного излучения. Формула Планка.

30. Излучение света атомами и молекулами. Модель двухуровневой системы. Взаимодействие двухуровневой системы с излучением: спонтанные и вынужденные переходы. Коэффициенты Эйнштейна. Многоуровневые системы. Резонансное усиление света при инверсной заселенности энергетических уровней. Лазеры - устройство и принцип работы. Продольные и поперечные моды.

31. Дуализм явлений микромира. Дискретные свойства волн, волновые свойства частиц. Равновесное электромагнитное излучение в полости. Кванты излучения. Формула Планка. Фотоэффект. Рассеяние электромагнитного излучения на свободных зарядах. Эффект Комптона. Тормозное рентгеновское излучение. Волновые свойства частиц. Опыты Девиссона-Джермера и Томсона. Волны де Бройля. Принцип неопределенности.

32. Основы квантовой механики. Квантовая система, ее состояние, измеряемые параметры. Линейные операторы и наблюдаемые. Волновая функция, ее свойства. Уравнение Шредингера. Стационарные и нестационарные состояния. Плотность вероятности и плотность потока вероятности.

33. Одноэлектронный атом. Уравнение Шредингера с центрально симметричным потенциалом. Радиальное уравнение. Уровни энергии. Квантовые числа. Атом водорода. Уровни энергии и волновые функции стационарных состояний. Вырождение уровней по орбитальному моменту. Орбитальный механический и магнитный моменты электрона. Экспериментальное определение магнитных моментов. Опыт Штерна и Герлаха. Спин электрона. Собственный магнитный момент электрона.

34. Многоэлектронные атомы. Общие принципы описания многоэлектронного атома. Одноэлектронное состояние. Атомные оболочки и подоболочки. Модель атома Томаса-Ферми и самосогласованное поле атома. Электронная конфигурация. Волновые функции конфигурации с определенным спином. Терм. Тонкая структура терма. Правило интервалов Ланде. Спин и магнитный момент нуклонов и ядра. Сверхтонкая структура

атомных спектров. Изотопические эффекты в атомах. Периодическая система элементов. Правило Хунда. Основные термы атомов.

35. Атом во внешнем поле. Атом в магнитном поле. Слабое и сильное поле. Фактор Ланде. Эффекты Зеемана и Пашена-Бака. Электронный парамагнитный резонанс (ЭПР). Атом в электрическом поле. Эффект Штарка.

36. Химическая связь, молекулы. Адиабатическое приближение. Молекула водорода. Теория Гайтлера-Лондона. Химическая связь. Ковалентная и ионная связи. Валентность. Насыщение химических связей. Молекулярная орбиталь. Общие представления о колебательном и вращательном движении ядер в молекулах. Спектры двухатомных молекул. Правило отбора для электромагнитных переходов в двухатомных молекулах. Принцип Франка-Кондона.

37. Основы квантовой теории твердого тела. Модели твердого тела. Состояние электронов в кристаллической решетке. Зоны Бриллюэна, энергетические зоны. Примеси и примесные уровни. Дефекты. Статистика носителей заряда. Неравновесные электроны и дырки. Проводимости и кинетические свойства диэлектриков, металлов и полупроводников.

38. Представление о квазичастицах. Акустические и оптические фононы, плазмоны, экситоны Френкеля и Ванье. Конденсация бозонов. Электрон-фононный гамильтониан. Сверхпроводимость, модель БКШ. Сверхтекучесть. Взаимодействие света с кристаллической решеткой.

39. Идеальные системы в статистической механике. Статистика Бозе-Эйнштейна и статистика Ферми-Дирака. Переход к классической статистике Больцмана. Ферми-газ при низких температурах. Электронный газ в металлах. Релятивистский вырожденный ферми-газ. Фотонный газ. Бозе-конденсация. Квантовая теория теплоемкости многоатомного идеального газа с учетом внутренних молекулярных движений.

40. Физическая кинетика. Микроскопическое состояние системы многих частиц в квантовой и классической теориях. Теорема Лиувилля и уравнение Лиувилля для классической функции распределения. Цепочка уравнений

Боголюбова для неравновесных функций распределения. Приближение самосогласованного поля, уравнение Власова.

Вопросы для подготовки к кандидатскому экзамену

1. Статистический подход к описанию молекулярных явлений.
Статистические закономерности и описание системы многих частиц.
2. Модель идеального газа. Молекулярная теория давления идеального газа. Уравнение состояния идеального газа.
3. Статистика идеального газа. Распределение молекул газа по скоростям.
4. Броуновское движение. Длина свободного пробега. Характер движения броуновских частиц. Стохастические дифференциальные уравнения.
5. Термодинамический подход к описанию молекулярных явлений. Термодинамические параметры. Термодинамические системы. Понятие термодинамического равновесия.
6. Теплоемкость системы. Теплоемкость идеального газа. Классическая теория теплоемкости твердых тел. Закон Дюлонга и Пти. Квантовая теория теплоемкости с учетом внутренних движений.
7. Первое и второе начала термодинамики. Дифференциальная форма первого начала. Формулировка Клаузиуса и Томсона (Кельвина) второго начала термодинамики.
8. Реальные газы и жидкости. Неидеальный классический одноатомный газ. Реальные газы. Уравнение Ван-дер-Ваальса. Потенциал Леннарда-Джонса.
9. Термодинамические потенциалы. Метод термодинамических потенциалов.
10. Твердые тела. Кристаллические и аморфные состояния. Кристаллы.
11. Фазовые переходы первого и второго рода. Теория фазовых переходов и критических явлений. Условия химического равновесия.
12. Электростатическое поле. Вектор напряженности электрического поля и его связь с потенциалом.
13. Потенциальность электростатического поля. Потенциал. Уравнение Пуассона и математическая постановка задач электростатики.

14. Проводники в электрическом поле. Емкость. Энергия заряженного конденсатора.
15. Диэлектрики в электрическом поле. Вектор электрической индукции. Диэлектрическая проницаемость и диэлектрическая восприимчивость вещества. Пондеромоторные силы в электрическом поле и методы их вычисления.
16. Постоянный электрический ток. Условие стационарности тока. Дифференциальная форма закона Ома.
17. Магнитное поле квазистационарных токов. Элементарный ток и его магнитный момент. Дипольный магнитный момент токов. Магнитное поле в дипольном приближении.
18. Магнитное поле в сплошной среде. Вектор намагниченности и его связь с молекулярными токами. Граничные условия для векторов напряженности и индукции магнитного поля в кусочно-однородной среде.
19. Магнетики. Классификация магнетиков. Классическое описание диамагнетизма. Объяснение парамагнетизма по Ланжевону. Ферромагнетизм - как следствие действия обменных сил.
20. Явление электромагнитной индукции. Закон электромагнитной индукции Фарадея и его формулировка в дифференциальной форме. Энергия магнитного поля, её объемная плотность.
21. Механизмы электропроводности твердых тел. Основные положения классической электронной теории проводимости Друде-Лоренца. Особенности зонной структуры диэлектриков, полупроводников и металлов.
22. Основы квантовой теории твердого тела. Модели твердого тела. Представление о квазичастицах. Взаимодействие частиц с кристаллической решеткой.
23. Уравнения Максвелла. Электромагнитное поле.
24. Плоские электромагнитные волны в прозрачном веществе. Волновое уравнение. Плотность энергии и импульса электромагнитных волн. Вектор Умова-Пойнтинга..

25. Явление интерференции. Интерференция монохроматических волн. Понятие о Фурье- спектроскопии.
26. Явление дифракции. Принцип Гюйгенса-Френеля. Приближение Френеля и приближение Фраунгофера. Амплитудные и фазовые дифракционные решетки.
27. Дисперсия диэлектрической проницаемости. Физический смысл комплексной диэлектрической проницаемости. Классическая электронная теория дисперсии.
28. Поляризация света. Поляризация естественного света. Оптические явления на границе раздела изотропных диэлектриков. Анизотропия оптических свойств.
29. Оптическое излучение. Классическая модель затухающего дипольного осциллятора. Тепловое излучение. Модель абсолютно черного тела. Закон Стефана-Больцмана, формула смещения Вина. Формула Планка.
30. Излучение света атомами и молекулами. Модель двухуровневой системы. Взаимодействие двухуровневой системы с излучением: спонтанные и вынужденные переходы. Многоуровневые системы.
31. Дуализм явлений микромира. Дискретные свойства волн, волновые свойства частиц.
32. Основы квантовой механики. Квантовая система, ее состояние, измеряемые параметры. Волновая функция, ее свойства. Уравнение Шредингера.
33. Одноэлектронный атом. Уравнение Шредингера с центрально симметричным потенциалом. Орбитальный механический и магнитный моменты электрона. Собственный магнитный момент электрона.
34. Многоэлектронные атомы. Общие принципы описания многоэлектронного атома. Одноэлектронное состояние. Атомные оболочки и подоболочки.. Основные термы атомов.

35. Атом во внешнем поле. Атом в магнитном поле. Эффекты Зеемана и Пашена-Бака. Электронный парамагнитный резонанс (ЭПР). Атом в электрическом поле.

36. Химическая связь, молекулы. Теория Гайтлера-Лондона. Ковалентная и ионная связи. Спектры двухатомных молекул. Правило отбора для электромагнитных переходов в двухатомных молекулах.

37. Основы квантовой теории твердого тела. Модели твердого тела. Состояние электронов в кристаллической решетке.

38. Представление о квазичастицах. Акустические и оптические фононы, плазмоны, экситоны Френкеля и Ванье.

39. Идеальные системы в статистической механике. Статистика Бозе-Эйнштейна и статистика Ферми-Дирака.

40. Физическая кинетика. Микроскопическое состояние системы многих частиц в квантовой и классической теориях.

Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины **Основная литература:**

1. Павлов П.В., Хохлов А.Ф. Физика твердого тела. М: Высшая школа, 2000.
2. Петров Ю.В. Основы физики конденсированного состояния. Долгопрудный: Интеллект, 2013.
3. Жданов Г.С. Физика твердого тела. М: Едиториал УРСС, 2021.
4. Иродов И.Е. Физика макросистем. Основные законы. М: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2010.
5. Иродов И.Е. Электромагнетизм. Основные законы. М: БИНОМ, 2010.
6. Ландсберг Г.С. Оптика. М: Физматлит, 2017.
7. Калашников С.Г. Электричество. М: Физматлит, 2008.
8. Парселл Э. Электричество и магнетизм. Учебное пособие. 3-е изд. СПб.: Лань, 2005.

Дополнительная литература:

1. Делоне Н.Б. Основы физики конденсированного вещества. М.: Физматлит, 2011.
2. Епифанов Г.И. Физика твердого тела. М.: Лань, 2010.
3. Воронов В.К. , Подоплелов А.В. Современная физика: Конденсированное состояние. М.: изд. ЛКИ, 2008.
4. Ландау Л.Д. , Лифшиц Е.М. . Курс теоретической физики. В 10 т. – Т.9, ч.2: **Теория конденсированного состояния**. М.: Физматлит, 2004.
5. Боровик Е.С., Мильнер А.С., Еременко В.В. Лекции по магнетизму. М.: Физматлит, 2005.

Интернет-ресурсы

1. Сайт Научной библиотеки им. Н. И. Лобачевского <http://kpfu.ru/library>
2. Информационный бюллетень ПерсТ - <http://www.issp.ac.ru/journal/perst/>
3. Элементы большой науки <https://elementy.ru/>
4. Российская государственная библиотека <https://www.rsl.ru/>
5. Электронный каталог научно-технической литературы ВИНТИ <http://catalog.viniti.ru/>
6. Электронная библиотека «Наука и техника» <http://n-t.ru>
7. Журнал Успехи физических наук <http://ufn.ru/>
8. Сайт НИЯФ МГУ <http://nuclphys.sinp.msu.ru/solidst/index.html#%D1%81>