

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ НАУЧНОЕ  
УЧРЕЖДЕНИЕ УФИМСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ЦЕНТР РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК

РЕКОМЕНДОВАНО

УТВЕРЖДАЮ



И.о. директора института ИФМК УФИЦ РАН И.о. руководителя УФИЦ РАН

С.А. Пшеничнюк

20\_\_ г.



В.Б. Мартыненко

мая 2022 г.

**ПРОГРАММА**

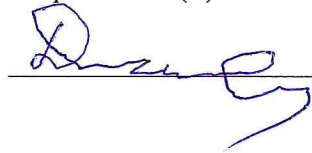
кандидатского экзамена по научной специальности

**1.3.8 – Физика конденсированного состояния**

Программа составлена в соответствии с научной специальностью и отраслью науки, предусмотренными номенклатурой научных специальностей, по которым присуждаются учёные степени (утверждена Приказом Минобрнауки России от 24.02.2021 г. № 118).

Уфа – 2022

Разработчик(и)



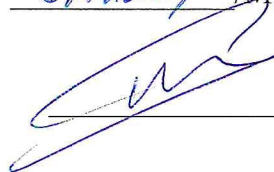
д-р физ.-мат. наук, проф. С.В. Дмитриев

Согласовано:

Заведующий отделом аспирантуры УФИЦ РАН

 /М.Ю. Тимофеева

Ученый секретарь ИФМК УФИЦ РАН

 /А.А. Бунаков

## **1. Общие положения**

Кандидатские экзамены являются основной частью аттестации научных и научно-педагогических кадров. Цель экзамена - установить глубину профессиональных знаний прикрепленного лица (далее - соискатель ученой степени кандидата наук, соискатель), уровень подготовленности к самостоятельной научно-исследовательской работе.

Программа включает вопросы по разделам: силы связи в твердых телах, симметрия твердых тел, дефекты в твердых телах, дифракция в кристаллах, колебания решетки, тепловые свойства твердых тел, электронные свойства твердых тел, магнитные свойства твердых тел, оптические и магнитооптические свойства твердых тел, сверхпроводимость.

На экзамене кандидатского минимума по специальности 1.3.8. Физика конденсированного состояния соискатель ученой степени кандидата наук должен продемонстрировать владение методами решения задач физики, включая знание основных теорий и концепций всех разделов дисциплины. Он также должен показать умение использовать теории и методы физики для анализа современных проблем физики и избранной области предметной специализации.

От соискателя требуется четко, емко и кратко изложить теоретический материал, владеть соответствующей терминологией и проявить это в ответах. В реферате должны быть освещены проблемные аспекты темы, даны ссылки на работы известных специалистов, свой взгляд на проблему и возможные пути ее решения. Изложение проблемы в реферате рекомендуется связать с темой диссертационного исследования.

При подготовке к кандидатскому экзамену и его сдаче в исключительных случаях (форс-мажор и т.п.) могут применяться электронное обучение, дистанционные образовательные технологии.

### **2. В результате освоения соискатель должен:**

- знать: основные понятия и методы физики конденсированного состояния;
- уметь: формулировать задачи физики конденсированного состояния, применять математический аппарат физики конденсированного состояния, трактовать полученные результаты;
- владеть: представлениями об основных применениях физики конденсированного состояния, навыками решения конкретных физических задач;
- иметь опыт деятельности: постановке задач исследования в области физики конденсированного состояния.

### **3. Процедура кандидатского экзамена**

Экзамен программы проводится по билетам, каждый из которых содержит 3 вопроса. Кроме того, на экзамене могут быть заданы дополнительные вопросы. Экзамен подразумевает также собеседование по содержанию полностью или частично подготовленного кандидатского исследования. На экзамене соискатель представляет реферат и защищает его. За экзамен выставляется единая оценка.

### **4. Разделы, темы**

Силы связи в твердых телах, симметрия твердых тел, дефекты в твердых телах, дифракция в кристаллах, колебания решетки, тепловые свойства твердых тел, электронные свойства твердых тел, магнитные свойства твердых тел, оптические и магнитооптические свойства твердых тел, сверхпроводимость.

### **5. Вопросы кандидатского экзамена**

1. Электронная структура атомов. Химическая связь и валентность. Типы сил связи в конденсированном состоянии: Ван дер Ваальсова связь, ионная связь, ковалентная связь, металлическая связь.

2. Химическая связь и ближний порядок. Структура вещества с ненаправленным взаимодействием. Примеры кристаллических структур, отвечающих плотным упаковкам шаров: простая кубическая, ОЦК, ГЦК, ГПУ.

3. Основные свойства ковалентной связи. Структура веществ с ковалентными связями. Структура веществ типа селена. Гибридизация атомных орбиталей в молекулах и кристаллах. Структура типа алмаза и графита.

4. Кристаллические и аморфные твердые тела. Трансляционная инвариантность. Базис и кристаллическая структура. Элементарная ячейка. Ячейка Вигнера - Зейтца. Решетка Браве. Обозначения узлов, направлений и плоскостей в кристалле. Обратная решетка, ее свойства. Зона Бриллюэна.

5. Элементы симметрии кристаллов: повороты, отражения, инверсия, инверсионные повороты, трансляции. Операции (преобразования) симметрии.

6. Элементы теории групп, группы симметрии. Возможные порядки поворотных осей в кристалле. Пространственные и точечные группы (кристаллические классы). Классификация решеток Браве.

7. Точечные дефекты, их образование и диффузия. Вакансии и межузельные атомы. Дефекты Френкеля и Шоттки. Дозвуковые и сверхзвуковые краудионы.

8. Линейные дефекты. Краевые и винтовые дислокации. Роль дислокаций в пластической деформации.

9. Распространение волн в кристаллах. Дифракция рентгеновских лучей, нейтронов и электронов в кристалле. Упругое и неупругое рассеяние, их особенности.

10. Брэгговские отражения. Атомный и структурный факторы. Дифракция в аморфных веществах.

11. Колебания кристаллической решетки. Уравнения движения атомов. Простая и сложная одномерные цепочки атомов. Фононы. Закон дисперсии упругих волн. Акустические и оптические колебания. Нелинейные колебания кристаллической решетки. Пространственно локализованные и делокализованные нелинейные колебания. Дискретные бризеры. Квантование колебаний. Электрон-фононное взаимодействие.

12. Теплоемкость твердых тел. Решеточная теплоемкость. Электронная теплоемкость. Температурная зависимость решеточной и электронной теплоемкости.

13. Классическая теория теплоемкости. Закон равномерного распределения энергии по степеням свободы в классической физике. Границы справедливости классической теории.

14. Квантовая теория теплоемкости по Эйнштейну и Дебаю. Предельные случаи высоких и низких температур. Температура Дебая.

15. Тепловое расширение твердых тел. Его физическое происхождение. Ангармонические колебания.

16. Теплопроводность решеточная и электронная. Закон Видемана - Франца для электронной теплоемкости и теплопроводности.

17. Электронные свойства твердых тел: основные экспериментальные факты. Проводимость, эффект Холла, термоэдс, фотопроводимость, оптическое поглощение. Трудности объяснения этих фактов на основе классической теории Друде.

18. Основные приближения зонной теории. Граничные условия Борна - Кармана. Теорема Блоха. Блоховские функции. Квазиимпульс. Зоны Бриллюэна. Энергетические зоны.

19. Брэгговское отражение электронов при движении по кристаллу. Полосатый спектр энергии.

20. Приближение сильно связанных электронов. Связь ширины разрешенной зоны с перекрытием волновых функций атомов. Закон дисперсии. Тензор обратных эффективных масс.

21. Приближение почти свободных электронов. Брэгговские отражения электронов.

22. Заполнение энергетических зон электронами. Поверхность Ферми. Плотность состояний. Металлы, диэлектрики и полупроводники. Полуметаллы.

23. Намагниченность и восприимчивость. Диамагнетики, парамагнетики и ферромагнетики. Законы Кюри и Кюри - Вейсса. Парамагнетизм и диамагнетизм электронов проводимости.

24. Природа ферромагнетизма. Фазовый переход в ферромагнитное состояние. Роль обменного взаимодействия. Точка Кюри и восприимчивость ферромагнетика.

25. Ферромагнитные домены. Причины появления доменов. Доменные границы (Блоха, Нееля).

26. Антиферромагнетики. Магнитная структура. Точка Нееля. Восприимчивость антиферромагнетиков. Ферримагнетики. Магнитная структура ферримагнетиков.

27. Спиновые волны, магноны.

28. Движение магнитного момента в постоянном и переменном магнитных полях. Электронный парамагнитный резонанс. Ядерный магнитный резонанс.

29. Комплексная диэлектрическая проницаемость и оптические постоянные. Коэффициенты поглощения и отражения. Соотношения Крамерса-Кронига.

30. Поглощения света в полупроводниках (межзонное, примесное поглощение, поглощение свободными носителями, решеткой). Определение основных характеристик полупроводника из оптических исследований.

31. Магнитооптические эффекты (эффекты Фарадея, Фохта, и Керра).

32. Проникновение высокочастотного поля в проводник. Нормальный и аномальный скин-эффекты. Толщина скин-слоя.

33. Сверхпроводимость. Критическая температура. Высокотемпературные сверхпроводники. Эффект Мейсснера. Критическое поле и критический ток.

34. Сверхпроводники первого и второго рода. Их магнитные свойства. Вихри Абрикосова. Глубина проникновения магнитного поля в образец.

35. Эффект Джозефсона.

36. Куперовское спаривание. Длина когерентности. Энергетическая щель.

### **Список рекомендуемой литературы**

#### **Основная литература**

1. Киттель, Ч. Введение в физику твердого тела [Текст] : [учебное руководство] / Ч. Киттель ; [пер. под общ. ред. А. А. Гусева]. — Изд. 2-е, стер. — Москва : [Альянс], 2013. — 791 с. : ил. — Библиогр.: с. 769-791. 2.
2. Ашкрофт Н., Мермин Н. Физика твердого тела, тт. I и II. М., Мир, 1979.
3. Уэрт Ч., Томсон Р. Физика твердого тела. М., Мир, 1969.
4. Займан Дж. Принципы теории твердого тела. М: Мир, 1974.
5. Павлов П.В., Хохлов А.Ф. Физика твердого тела. М.: Высшая школа, 2000.
6. Вонсовский С.В. Магнетизм. М., Наука, 1971.
7. Бонч-Бруевич В.Л., Калашников С.Г. Физика полупроводников. М.: Наука, 1979 г.
8. В.В.Шмидт «Введение в физику сверхпроводимости». МЦ НМО, Москва, 2000.

#### **Дополнительная литература**

1. Ю.И.Сиротин, М.П. Шаскольская. Основы кристаллофизики. М., Наука, 1973.
2. У. Харрисон. Теория твердого тела. М., Мир, 1972.
3. С.В. Вонсовский, М.И. Кацнельсон. Квантовая физика твердого тела. М., Наука, 1983.
4. Г.С.Жданов. Физика твердого тела. Изд. МГУ, 1962.
5. Ядерный магнитный резонанс: Учеб. пособие. //Под ред. П. М. Бородина. Л., Изд-во Ленингр. ун-та, 1982. 344 с.

### **Критерии оценки результатов кандидатского экзамена**

Оценка «отлично» ставится при соблюдении следующих условий:

- грамотное и правильное использование в ответах научной терминологии;
- безошибочное владение категориальным аппаратом;

- умение обозначить основные проблемы сформулированных в билетах вопросов;
- умение связать ответ на вопрос с темой диссертационного исследования;
- логичность, связность ответа.

Оценка «хорошо» ставится при соблюдении следующих условий:

- грамотное и правильное использование в ответах научной терминологии;
- проблемное изложение сформулированных в билетах вопросов;
- умение связать ответ на вопрос с темой диссертационного исследования;
- логичность, связность ответа.

Оценка «удовлетворительно» ставится за:

- недостаточное использование в ответах научной терминологии;
- недостаточное владение категориальным аппаратом;
- умение обозначить только одну из проблем сформулированных в билетах вопросов;

Оценка «неудовлетворительно» ставится за:

- отсутствие в ответах необходимой научной терминологии;
- описательное изложение сформулированных в билетах вопросов, неумение обозначить и изложить проблемы;
- грубые ошибки при изложении фактологического материала;
- неумение связать ответ на вопрос с темой диссертационного исследования;
- нарушение логичности, связности ответа.