

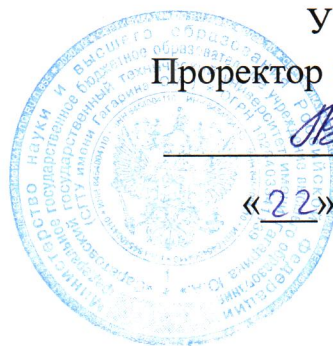
Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Саратовский государственный технический университет
имени Гагарина Ю.А.»

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по науке и инновациям

 А.И. Землянухин

«22» декабрь 2025 г.



ПРОГРАММА-МИНИМУМ
КАНДИДАТСКОГО ЭКЗАМЕНА ПО СПЕЦИАЛЬНОСТИ
1.3.8 «Физика конденсированного состояния»

Саратов 2025

ВВЕДЕНИЕ

В основу настоящей программы положены основные разделы физики конденсированного состояния, касающиеся основных физических проблем данной области. Программа разработана экспертным советом по физике Высшей аттестационной комиссии при участии Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова, Института физики металлов УрО РАН, ФИАН им. П.Н. Лебедева и Института металлургии им. Байкова РАН, и включает вопросы по силе связи и симметрии в твердых телах, дефектах, дифракции в кристаллах, колебаниях в решетке, тепловых, электронных, магнитных, оптических и магнитооптических свойствах твердых тел, а также явлению сверхпроводимости.

Кандидатский экзамен по специальности проводится в форме экзамена на основе билетов. В каждом экзаменационном билете 2 вопроса по основной программе и 1 вопрос по дополнительной программе. Дополнительная программа утверждается на заседании кафедры Физики Физико-технического института для каждого аспиранта персонально со списком вопросов по теме диссертационного исследования аспиранта. Подготовка к ответу составляет 2 академических часа (90 минут) без перерыва с момента раздачи билетов. Ответы аспиранта оцениваются членами комиссии по пятибалльной системе в зависимости от полноты и правильности изложения вопросов. Итоговая оценка выставляется соответственно следующим критериям оценивания:

Отлично (5 баллов). Сдающий кандидатский экзамен продемонстрировал всестороннее, систематическое и глубокое знание материала, умение свободно выполнять задания, усвоил основную литературу и знаком с дополнительной литературой, рекомендованной данной программой, усвоил взаимосвязь основных понятий физики в их значении для приобретаемой профессии, проявил творческие способности в понимании, изложении и использовании учебно-программного материала. При ответе на вопросы дополнительной программы показал глубокое знание материала и

умение искать и анализировать современную научную литературу по теме исследования.

Хорошо (4 балла). Сдающий кандидатский экзамен продемонстрировал полное знание вопросов физики, успешно выполнил предусмотренные тестовые задания, показал систематический характер знаний по физике и способен к их самостоятельному пополнению и обновлению в ходе дальнейшей профессиональной деятельности. При ответе на вопросы дополнительной программы показал хорошее знание материала и умение искать и анализировать современную научную литературу по теме исследования.

Удовлетворительно (3 балла). Сдающий кандидатский экзамен продемонстрировал знание основ физики в объеме, необходимом для дальнейшей учебы и предстоящей работы по профессии, справился с выполнением тестовых заданий, знаком с основной литературой, рекомендованной данной программой, допустил погрешности в ответе на экзамене и при выполнении экзаменационных заданий, но обладает необходимыми знаниями для их устранения под руководством преподавателя. При ответе на вопросы дополнительной программы показал поверхностное знание материала, неумение искать и анализировать современную научную литературу по теме исследования.

Неудовлетворительно (0-2 балла). Сдающий кандидатский экзамен выявил значительные пробелы в знаниях основ физики, допустил принципиальные ошибки и не способен продолжить обучение и профессиональную деятельность по физике.

ВОПРОСЫ

I. Силы связи в твердых телах

1. Электронная структура атомов. Химическая связь и валентность. Типы сил связи в конденсированном состоянии: Ван дер Ваальсовая 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, структура типа CsCl, типа NaCl, структура типа перовскита CaTiO_3 .

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.

II. Симметрия твердых тел

1. 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.

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

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

III. Дефекты в твердых телах

1. Точечные дефекты, их образование и диффузия. Вакансии и межузельные атомы. Дефекты Френкеля и Шоттки.

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

IV. Дифракция в кристаллах

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

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

V. Колебания решетки

1. Колебания кристаллической решетки. Уравнения движения атомов. Простая и сложная одномерные цепочки атомов. Закон дисперсии упругих волн. Акустические и оптические колебания. Квантование колебаний. Фононы. Электрон-фононное взаимодействие.

VI. Тепловые свойства твердых тел

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

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

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

4. Тепловое расширение твердых тел. Его физическое происхождение. Анггармонические колебания.

5. Теплопроводность решеточная и электронная. Закон Видемана – Франца для электронной теплоемкости и теплопроводности.

VII. Электронные свойства твердых тел

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

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

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

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

5. Приближение почти свободных электронов. Брэгговские отражения электронов.

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

VIII. Магнитные свойства твердых тел

1. Намагниченность и восприимчивость. Диамагнетики, парамагнетики и ферромагнетики. Законы Кюри и Кюри – Вейсса. Парамагнетизм и диамагнетизм электронов проводимости.

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

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

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

5. Спиновые волны, магноны.

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

IX. Оптические и магнитооптические свойства твердых тел

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

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

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

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

X. Сверхпроводимость

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

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

3. Эффект Джозефсона.

4. Куперовское спаривание. Длина когерентности. Энергетическая щель.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

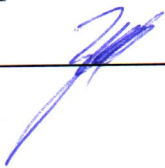
Основная

1. Киттель Ч. Введение в физику твердого тела. М.: Наука, 1978.
2. Павлов П.В., Хохлов А.Ф. Физика твердого тела. М.: Высшая школа, 2000.
3. Бонч-Бруевич В.Л., Калашников С.Г. Физика полупроводников. М.: Наука, 1979 г.
4. В. В.Шмидт «Введение в физику сверхпроводимости». МЦ НМО, Москва, 2000.

Дополнительная

1. Ашкрофт Н., Мермин Н. Физика твердого тела, тт. I и II. М.: Мир, 1979.
2. Уэрт Ч., Томсон Р. Физика твердого тела. М.: Мир, 1969.
3. Займан Дж. Принципы теории твердого тела. М.: Мир, 1974.
4. Вонсовский С.В. Магнетизм. М.: Наука, 1971.

Программа разработана д.ф.-м.н, профессором, заведующим кафедрой Физики


Зимняковым Д. А.