

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Тамбовский государственный университет имени Г.Р.Державина»

«Утверждаю»

Директор института математики,  
физики и информационных  
технологий

\_\_\_\_\_ Н.Л. Королева

«28» марта 2023 г.

## **ПРОГРАММА**

**ВСТУПИТЕЛЬНОГО ИСПЫТАНИЯ  
ПО СПЕЦИАЛЬНОЙ ДИСЦИПЛИНЕ**

**«Физика конденсированного состояния»**

**ДЛЯ ПОСТУПЛЕНИЯ В АСПИРАНТУРУ**

Научная специальность:

1.3.8. Физика конденсированного состояния

Уровень высшего образования

подготовка кадров высшей квалификации  
по программам подготовки научных и  
научно-педагогических кадров в аспирантуре

Программа вступительного испытания разработана профессорско-преподавательским составом кафедры теоретической и экспериментальной физики, обсуждена и утверждена на заседании Ученого совета Института математики, физики и информационных технологий Тамбовского государственного университета имени Г.Р.Державина 28 марта 2023 г., протокол № 2.

## 1. Цели и задачи вступительного испытания

**Цель** вступительного испытания для поступающих – возможность продемонстрировать базовые знания в области физики конденсированного состояния вещества, умение применять фундаментальные законы и методы различных разделов теоретической физики, прежде всего квантовой теории, статистической физики, электродинамики, физической кинетики и квантовой теории поля к анализу свойств твердых тел.

### **Основные задачи испытания:**

- выяснить мотивы поступления и определить область научно-практических и личных интересов поступающего;
- оценить потенциальные возможности поступающего, обеспечивающие усвоение и развитие компетенций исследователя, преподавателя-исследователя;
- проверка базовых знаний, предъявляемых к поступающему данной программы.

## 2. Требования к знаниям и умениям поступающего:

Поступающий должен:

- обладать высокой эрудицией в области физики конденсированного состояния и культурой физико-математического мышления;
- знать теоретические основы физики конденсированного состояния, понимать их связи с другими разделами теоретической физики;
- понимать место физики конденсированного состояния в физической картине мира;
- знать основные экспериментальные методы и подходы к исследованию свойств конденсированного состояния вещества;
- иметь представление об основных тенденциях и направлениях развития физики конденсированного состояния в Российской Федерации и в мире;
- уметь квалифицировано анализировать современные проблемы в рамках одной из областей физики конденсированного состояния.

### **Умения и навыки:**

- владение навыками самостоятельной научно-исследовательской и научно-педагогической деятельности, требующими широкого образования в соответствующем направлении;
- умение определять проблему, формулировать гипотезы и решать задачи, возникающие в ходе научно-исследовательской и педагогической деятельности и требующие углубленных профессиональных знаний;
- умение формировать план исследования, выбирать необходимые методы исследования, модифицировать существующие и разрабатывать новые методы исходя из задач конкретного исследования;

- умение обрабатывать полученные результаты, анализировать и осмысливать их с учетом имеющихся литературных данных;
- умение вести библиографическую работу с привлечением современных информационных технологий;
- умение представлять итоги проделанной работы в виде отчетов, рефератов, статей, оформленных в соответствии с имеющимися требованиями, с привлечением современных средств редактирования и печати.

### **3. Содержание программы вступительного испытания (аннотации тем)**

#### **Тема 1. Конденсированное состояние**

- 1.1. Конденсированные среды, дальний и ближний порядок, критерии существования, способы получения, основные свойства.
- 1.2. Жидкости, переохлажденные жидкости, аморфные сплавы.
- 1.3. Кристаллические твердые тела (нано- и квазикристаллические).
- 1.4. Полимеры и макромолекулы. Получение и свойства.
- 1.5. Фуллериты и нанотрубки.
- 1.6. Методы описания и исследования конденсированного состояния вещества.

#### **Тема 2. Кристаллические решетки**

- 2.1. Классификация решеток Бравэ и кристаллических структур.
- 2.2. Обратная решетка, 1-я зона Бриллюэна, индекс Миллера.
- 2.3. Дифракция Лауэ, атомный форм-фактор.
- 2.4. Типы межатомных связей в кристаллах.

#### **Тема 3. Элементы зонной теории**

- 3.1. Теория металлов Зоммерфельда. Поверхность Ферми. Химический потенциал.
- 3.2. Приближенные методы вычисления одноэлектронных состояний в кристалле. Методы сильной и слабой связи.
- 3.3. Динамика электронов решетки. Метод эффективных масс.
- 3.4. Классификация твердых тел на основе энергетического спектра их одноэлектронных состояний.
- 3.5. Свободные и блоховские электроны в постоянном магнитном поле.
- 3.6. Локализованные состояния электронов в кристаллах. Примесные уровни. Уровни, локализованные на дислокации.
- 3.7. Элементарные возбуждения электронной подсистемы кристалла. Экситоны, магноны.
- 3.8. Рассеяние света и люминесценция кристаллов. Исследование дефектной структуры кристалла с помощью люминесценции.
- 3.9. Сверхпроводимость. Теория БКШ.
- 3.10. Высокотемпературная сверхпроводимость.

#### **Тема 4. Магнитные свойства вещества**

- 3.1. Магнетизм. Общий подход. Магнитная восприимчивость. Классификация магнитных свойств.
- 3.2. Атом в магнитном поле. Диа- и парамагнитные свойства. Эффект Зеемана.
- 3.3. Пара- и диамагнетизм электронного газа. Зависимость Ланде-фактора.
- 3.4. Ферро- и антиферромагнетизм. Температура Кюри. Роль обменного взаимодействия.
- 3.5. Ферро- и антиферромагнетизм. Размеры доменов. Энергия магнитной анизотропии.
- 3.6. Магнитные свойства ядерной подсистемы кристалла.
- 3.7. Квантование магнитного потока. Эффекты Джозефсона.

#### **Тема 5. Тепловые колебания кристаллической решетки**

- 5.1. Гармоническое приближение. Фононы. Удельная теплоемкость решетки (классический и квантовый подходы).
- 5.2. Взаимодействие фононов, закон дисперсии фононов.
- 5.3. Электрон-фононное взаимодействие. Температурная зависимость электросопротивления металлов и полупроводников.
- 5.4. Определение спектра колебаний решетки с помощью рассеяния нейтронов.
- 5.5. Тепловое расширение.
- 5.6. Теплопроводность и тепловое сопротивление кристаллов.

#### **Тема 6. Дефекты в кристаллах и их влияние на физические свойства**

- 6.1. Классификация дефектов. Способы их наблюдения и учета роли.
- 6.2. Точечные дефекты. Классификация. Равновесные и неравновесные дефекты.
- 6.3. Электронная структура точечных дефектов. Центры окраски.
- 6.4. Линейные дефекты решетки. Классификация. Упругая энергия, поле напряжений.
- 6.5. Источники дислокаций. Модель Франка-Рида. Рост кристаллов. Усы.
- 6.6. Структура дислокационного ядра. Кинки, ступени, примесная атмосфера, заряд дислокации.
- 6.7. Свободные и внутренние поверхности. Классификация. Роль в формировании свойств.
- 6.8. Объемные дефекты. Трещины. Энергия образования. Теория Гриффитса.
- 6.9. Радиационные повреждения.

#### **Тема 7. Механические свойства**

- 7.1. Теоретическая прочность. Краткий обзор роли дефектов решетки в формировании механических свойств.

- 7.2. Виды испытаний в исследованиях механических свойств и соответствующие характеристики.
- 7.3. Макропластические свойства материалов. Пределы текучести, пластичности, упругости, прочности. Диаграммы формирования кристаллов в разных условиях.
- 7.4. Динамика дислокаций в кристаллах. Влияние периодичности решетки. Модель Френкеля-Конторовой. Рельеф Пайерлса.
- 7.5. Динамика дислокаций в кристаллах с точечными дефектами. Режимы движения дислокации. Активационные параметры.
- 7.6. Кооперативные явления при движении дислокаций. Эволюция дислокационной структуры при пластическом деформировании.
- 7.7. Современные методы изучения дислокационной структуры кристалла.
- 7.8. Неустойчивая пластическая деформация. Явление Людерса и прерывистая деформация.

#### **4. Вопросы к вступительному испытанию:**

1. Конденсированные среды, дальний и ближний порядок, критерии существования, способы получения, основные свойства.
2. Жидкости, переохлажденные жидкости, аморфные сплавы.
3. Кристаллические твердые тела (нано- и квазикристаллические).
4. Полимеры и макромолекулы. Получение и свойства.
5. Фуллериты и нанотрубки.
6. Методы описания и исследования конденсированного состояния вещества.
7. Классификация решеток Бравэ и кристаллических структур.
8. Обратная решетка, 1-я зона Бриллюэна, индекс Миллера.
9. Дифракция Лауэ, атомный форм-фактор.
10. Типы связей в кристаллах.
11. Теория металлов Зоммерфельда. Поверхность Ферми. Химический потенциал.
12. Приближенные методы вычисления одноэлектронных состояний в кристалле. Методы сильной и слабой связи.
13. Динамика электронов решетки. Метод эффективных масс.
14. Классификация твердых тел на основе энергетического спектра их одноэлектронных состояний.
15. Свободные и блоховские электроны в постоянном магнитном поле.
16. Локализованные состояния электронов в кристаллах. Примесные уровни. Уровни, локализованные на дислокации.
17. Элементарные возбуждения электронной подсистемы кристалла. Экситоны, магноны.
18. Рассеяние света и люминесценция кристаллов. Исследование дефектной структуры кристалла с помощью люминесценции.
19. Сверхпроводимость. Теория БКШ.
20. Высокотемпературная сверхпроводимость.

21. Магнетизм. Общий подход. Магнитная восприимчивость. Классификация магнитных свойств.
22. Атом в магнитном поле. Диа- и парамагнитные свойства. Эффект Зеемана.
23. Пара- и диамагнетизм электронного газа. Зависимость Ланжевена.
24. Ферро- и антиферромагнетизм. Температура Кюри. Роль обменного взаимодействия.
25. Ферро- и антиферромагнетизм. Размеры доменов. Энергия магнитной анизотропии.
26. Магнитные свойства ядерной подсистемы кристалла.
27. Квантование магнитного потока. Эффекты Джозефсона.
28. Гармоническое приближение. Фононы. Удельная теплоемкость решетки (классический и квантовый подходы).
29. Взаимодействие фононов, закон дисперсии фононов.
30. Электрон-фононное взаимодействие. Температурная зависимость электросопротивления металлов и полупроводников.
31. Определение спектра колебаний решетки с помощью рассеяния нейтронов.
32. Тепловое расширение.
33. Теплопроводность и тепловое сопротивление кристаллов.
34. Классификация дефектов. Способы их наблюдения и учета роли.
35. Точечные дефекты. Классификация. Равновесные и неравновесные дефекты.
36. Электронная структура точечных дефектов. Центры окраски.
37. Линейные дефекты решетки. Классификация. Упругая энергия, поле напряжений.
38. Источники дислокаций. Модель Франка-Рида. Рост кристаллов. Усы.
39. Структура дислокационного ядра. Кинки, ступени, примесная атмосфера, заряд дислокации.
40. Свободные и внутренние поверхности. Классификация. Роль в формировании свойств.
41. Объемные дефекты. Трещины. Энергия образования. Теория Гриффитса.
42. Радиационные повреждения.
43. Теоретическая прочность. Краткий обзор роли дефектов решетки в формировании механических свойств.
44. Виды испытаний в исследованиях механических свойств и соответствующие характеристики.
45. Макропластические свойства материалов. Пределы текучести, пластичности, упругости, прочности. Диаграммы формирования кристаллов в разных условиях.
46. Динамика дислокаций в кристаллах. Влияние периодичности решетки. Модель Френкеля-Конторовой. Рельеф Пайерлса.
47. Динамика дислокаций в кристаллах с точечными дефектами. Режимы движения дислокации. Активационные параметры.

48. Кооперативные явления при движении дислокаций. Эволюция дислокационной структуры при пластическом деформировании.
49. Современные методы изучения дислокационной структуры кристалла.
50. Неустойчивая пластическая деформация. Явление Людерса и прерывистая деформация.
51. Представление фрактальной геометрии в физике конденсированного состояния.

## 5. Шкала оценивания вступительного испытания

Баллы	Критерии оценивания ответа на вступительном испытании
5 баллов	<ul style="list-style-type: none"> <li>- знание и понимание основных проблем соответствующей отрасли науки и научной специальности;</li> <li>- свободное владение понятийным аппаратом, научным языком и терминологией;</li> <li>- основные вопросы раскрыты полно и глубоко, с использованием дополнительного материала;</li> <li>- материал изложен последовательно и логически;</li> <li>- выделены существенные и вариативные признаки раскрываемых понятий, теоретические знания соотнесены с примерами из практики;</li> <li>- высказана своя точка зрения при анализе конкретной проблемы в исторической ретроспективе;</li> <li>- отсутствуют фактические и логические ошибки;</li> <li>- выводы и обобщения достаточно аргументированы</li> </ul>
4 балла	<ul style="list-style-type: none"> <li>- знание базовых положений в области науки в пределах основной образовательной программы без использования дополнительного материала;</li> <li>- основные вопросы раскрыты недостаточно полно и глубоко;</li> <li>- при соотнесении теоретических знаний с практикой есть затруднения в приведении адекватных примеров;</li> <li>- логичность и доказательность изложения материала, но допущены отдельные неточности при использовании ключевых понятий;</li> <li>- в ответах на дополнительные вопросы допущены незначительные ошибки;</li> <li>- выводы и обобщения аргументированы, но содержат отдельные неточности.</li> </ul>
3 балла	<ul style="list-style-type: none"> <li>- фрагментарные, поверхностные знания, в изложении программного материала выявлены существенные пробелы;</li> <li>- основные положения раскрыты поверхностно, отсутствует знание специальной терминологии;</li> <li>- материал недостаточно систематизирован;</li> </ul>



	<ul style="list-style-type: none"> <li>- испытывает трудности с теоретическим обоснованием приводимых примеров;</li> <li>- отсутствует собственная критическая оценка возможностей использования наследия прошлого для решения современных проблем;</li> <li>- недостаточно аргументированы выводы, имеются смысловые и речевые ошибки.</li> </ul>
2 балла	<ul style="list-style-type: none"> <li>- отсутствует знание специальной терминологии, незнание ключевых понятий в области науки;</li> <li>-обсуждаемая проблема не проанализирована;</li> <li>- отсутствует логика и последовательность изложения;</li> <li>- имеются фактические, смысловые и речевые ошибки;</li> <li>- приводит примеры из личного опыта без теоретического обоснования;</li> <li>- не отвечает на дополнительные вопросы по темам курса;</li> <li>- не может сформулировать собственную точку зрения по обсуждаемому вопросу.</li> </ul>

## 6. Рекомендованная литература

### *Основная*

1. Байков Ю.А., Кузнецов В.М. Физика конденсированного состояния: учебное пособие. - 4-е изд. - М.: Лаборатория знаний, 2020. 296 с
2. Чуканов А.Н. Физика конденсированного состояния. Прочность и разрушение материалов: учебник. - Москва: Инфра-Инженерия, 2021. 260 с.
3. Чуканов А.Н. Физика конденсированного состояния. Дефекты строения в металлах: учебник. - Москва: Инфра-Инженерия, 2021. 300 с.
4. Зеликман М.А. Физика конденсированного состояния вещества основы физики сверхпроводников. Учебное пособие Санкт-Петербург Издательство СПбГПУ 2015, 102 с.
5. Ищенко А., Гиричев Г. Дифракция электронов. Структура и динамика свободных молекул и конденсированного состояния вещества. Издательство: ФИЗМАТЛИТ, 2013. 616 с.
6. Кульков В.Г. Физика конденсированного состояния в электротехническом материаловедении. Учебное пособие. Издательство Лань. 2017. 272 с.
7. Гулгезли А.С. Пластичность и ползучесть при повторном нагружении. Издательство LAP Lambert Academic Publishing. 2012. 176 с.
8. Андриевский Р.А. Наноматериалы на металлической основе в экстремальных условиях. Учебное пособие Издательство Бином. Лаборатория знаний. 2016. 104 с.
9. Кузнецов Н., Новоторцев В., Жабрев В., Марголин В. Основы нанотехнологии. Учебник Издательство Бином. Лаборатория знаний. 2014. 398 с.

10. Растровая электронная микроскопия для нанотехнологий. Методы и применения. Перевод С. Иванов, К. Домкин. Издательство Бином. Лаборатория знаний. 2013. 600 с.
11. Овчинников В.В., Гуреева М.А. Механические испытания. Металлы, сварные соединения, покрытия. Учебник. Издательство Форум, Инфра-М. 2015. 272 с.

#### *Дополнительная*

1. Зуев Л.Б. Физика прочности и экспериментальная механика: учебное пособие. Нац. исслед. Томский гос. ун-т ; Ин-т физики прочности и материаловедения СО РАН. - Новосибирск: Наука. 2011. 350 с.
2. Мерер Х. Диффузия в твердых телах. Долгопрудный : Интеллект. 2011. 535 с.
3. Шалимова К.В. Физика полупроводников: учебник. СПб.: Лань. 2010. 391 с.
4. Паршаков А.Н. Введение в квантовую физику: учеб. пособие для вузов. СПб.: Лань. 2010. 351 с.
5. Пергамент М.И. Методы исследований в экспериментальной физике: учеб. пособ.: Издат. дом "Интеллект". 2010. 300 с.
6. Головин Ю.И. Основы нанотехнологий. М.: Машиностроение, 2012. 653 с.
7. Пелюхова Е.Б. Синергетика в физических процессах: самоорганизация физических систем: учеб. пособие СПб.: Лань. 2011. 320 с.
8. Усыченко В.Г. Электронная синергетика. Физические основы самоорганизации и эволюции материи: курс лекций. СПб.: Лань. 2010. 235 с.
9. Шибков А.А. Нелинейная механика и разрушение промышленных сплавов системы Al-Mg. Тамбов: Издательский дом ТГУ им. Г.Р. Державина. 2010. 143 с.
10. Шибков А.А., Золотов А.Е. Актуальные проблемы механики деформируемых твердых тел. Нелинейная динамика неустойчивой пластической деформации металлов. Тамбов: Издательский дом ТГУ им. Г.Р. Державина. 2010. 187 с.
11. Шибков А.А., Золотов А.Е., Шуклинов А.В. Структурно-чувствительные эффекты прерывистой деформации промышленных сплавов Al-Mg. Тамбов: Издательский дом ТГУ им. Г.Р. Державина. 2011. 173 с.
12. Шибков А.А., Желтов М.А., Михлик Д.В., Золотов А.Е. Физика и геометрия фракталов (учебное пособие). Тамбов: Издательский дом ТГУ им. Г. Р. Державина, 2011. 135 с.
13. Шибков А.А., Золотов А.Е., Желтов М.А., Шуклинов А.В. Нелинейная динамика неравновесных систем. Часть 1. Динамика пластических неустойчивостей в деформируемых твердых телах. Тамбов: Издательский дом ТГУ им. Г. Р. Державина, 2012. 184 с.
14. Шибков А.А., Золотов А.Е., Желтов М.А., Шуклинов А.В. Нелинейная динамика неравновесных систем. Часть 2. Мониторинг мезо- и

макродефектов в деформируемых твердых телах. Тамбов: Издательский дом ТГУ им. Г. Р. Державина, 2013. 259 с.

## 7. Интернет-ресурсы

1. Единое окно доступа к образовательным интернет-ресурсам Федерального портала «Российское образование» - [http://window.edu.ru/catalog/?p\\_rubr=2.1.21%2F](http://window.edu.ru/catalog/?p_rubr=2.1.21%2F)
2. <http://www.biblioclub.ru> - <http://www.biblioclub.ru>
3. Консультант студента. Электронно-библиотечная система - [studentlibrary.ru/ru/pages/catalogue.html](http://studentlibrary.ru/ru/pages/catalogue.html)
4. Российская национальная библиотека - [www.nlr.ru](http://www.nlr.ru)
5. Научная электронная библиотека Российской академии естествознания - [www.monographies.ru](http://www.monographies.ru)
6. Научная электронная библиотека eLIBRARY.ru. – URL: <https://elibrary.ru>
7. Web of Science: политематическая реферативно-библиографическая и наукометрическая база данных . – URL: <https://apps.webofknowledge.com>
8. Scopus: база данных . – URL: <https://www.scopus.com>
9. Электронный каталог Фундаментальной библиотеки ТГУ. – URL: <http://biblio.tsutmb.ru/elektronnyij-katalog>
10. Электронная библиотека ТГУ. – URL: <https://elibrary.tsutmb.ru/>
11. Российская государственная библиотека. – URL: <https://www.rsl.ru>
12. Федеральный портал «Российское образование». – URL: <https://www.edu.ru>
13. Президентская библиотека имени Б.Н. Ельцина. – URL: <https://www.prlib.ru>
14. Электронная библиотека РФФИ. – URL: <https://www.rfbr.ru/rffi/ru/library>