

**Министерство науки и высшего образования РФ  
Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение высшего образования  
«Тверской государственный университет»**

Рассмотрено и рекомендовано  
на заседании Ученого совета  
физико-технического факультета  
протокол №4 от 15.11.2022 г.



**«УТВЕРЖДАЮ»:**

Руководитель ООП

Солнышкин А.В.

15 ноября 2022 г.

**Программа государственной итоговой аттестации  
Аттестационное испытание  
«Подготовка к сдаче и сдача государственного экзамена»**

направление подготовки

**03.04.02 Физика**

Профиль

**Физика конденсированного состояния вещества**

Тверь 2022 г.

Программа государственного экзамена (ГЭ) по направлению 03.04.02 Физика, профиль «Физика конденсированного состояния вещества» разработана в соответствии с требованиями ФГОС ВО 3++ по направлению 03.04.02 Физика и «Положением о проведении государственной итоговой аттестации обучающихся по основным образовательным программам бакалавриата, магистратуры, специалитета в ТвГУ».

Цель ГЭ – установление соответствия уровня и качества подготовки магистра требованиям ФГОС ВО 3++ направления 03.04.02 Физика и степени сформированности у выпускников необходимых компетенций.

1. На ГЭ вынесены следующие компетенции:

1. ОПК-1. Способен применять фундаментальные знания в области физики для решения научно-исследовательских задач:

- ОПК-1.1. Анализирует поставленную научно-исследовательскую задачу, формулирует конечную цель и составляет развернутый план ее решения используя фундаментальные знания физики;
- ОПК-1.2. Выбирает оптимальные и актуальные методы исследования для решения поставленных научно-исследовательских задач;
- ОПК-1.3. Планирует экспериментальную часть научно-исследовательской работы с учетом имеющейся базы измерительных приборов и устройств. и этическую ответственность за принятые решения (ОК-2);

2. ОПК-2. Способен в сфере своей профессиональной деятельности организовывать самостоятельную и коллективную научно-исследовательскую деятельность для поиска, выработки и принятия решений в области физики:

- ОПК-2.1. Планирует проведение научно-исследовательской работы по заданной теме;
- ОПК-2.2. Определяет порядок проведения научно-исследовательской работы по предложенной теме;

- ОПК-2.3. Организует коллективную научно-исследовательскую деятельность для поиска, выработки и принятия решений в рамках предложенного исследования.;

3. ПК-1. Осуществляет проектирование и разработку продукции в части, касающейся разработки объемных нанокерамик, соединений и композитов на их основе, а также выбора расходных и вспомогательных материалов:

- ПК-1.1. Реализует лабораторный технологический процесс на технологическом оборудовании материаловедческого подразделения в соответствии с разработанными рекомендациями и получает партии пробных образцов новых материалов;
- ПК-1.2. Организует процесс измерения и испытания полученных образцов на контрольном, измерительном и испытательном оборудовании;
- ПК-1.3. Разрабатывает рекомендации по изменению состава, структуры, режимов и способов обработки материалов.

4. ПК-2. Проводит работу по обработке и анализу научно-технической информации и результатов исследований:

- ПК-2.1. Осуществляет разработки планов и методических программ проведения исследований и разработок;
- ПК-2.2. Организует сбор и изучение научно-технической информации по теме исследований и разработок;
- ПК-2.3. Проводит анализ научных данных, результатов экспериментов и наблюдений;
- ПК-2.4. Осуществляет теоретическое обобщение научных данных, результатов экспериментов и наблюдений.

5. ПК-3. Способен выполнять проектирование и разработку продукции в части, касающейся разработки объемных нанометаллов, сплавов и композитов на их основе, а также выбора расходных и вспомогательных материалов:

- ПК-3.1. Формулирует рекомендаций по изменению состава, структуры материалов, а также режимов и способов их обработки на основе анализа моделей, характеризующих связь между эксплуатационными, технологическими и инженерными свойствами и параметрами состава и структуры материала;
- ПК-3.2. Организует процесс измерения и испытания полученных образцов на контрольном, измерительном и испытательном оборудовании;
- ПК-3.3. Анализирует результаты испытаний образцов материалов.

2. Форма проведения ГЭ – устная.

3. Возможно проведение ГЭ с применением ЭО и ДОТ.

4. Сроки проведения ГЭ, включающие подготовку и сдачу ГЭ – в течение двух недель согласно календарному учебному графику направления 03.04.02 Физика.

ГЭ включает:

- подготовка к ответу по билету - 2 часа;
- ответ обучающегося на вопросы билета;
- вопросы членов комиссии и ответы обучающегося.

5. Материалы, необходимые обучающимся для подготовки и сдачи ГЭ:

- теоретические вопросы (см. п.7).

Перед ГЭ проводятся обзорные лекции по вопросам, включенным в программу экзамена. Расписание ГЭ и обзорных лекций утверждается проректором по учебно-воспитательной работе ТвГУ по представлению декана факультета и доводится до сведения обучающихся за месяц до сдачи экзамена.

6. Литературные источники и справочные материалы, необходимые для подготовки и сдачи ГЭ:

Основная:

1. Павлов П.В. Хохлов А.Ф. Физика твердого тела. М.: Изд-во USSR, 2015. 496с.
2. Богомолов А.А., Иванов В.В. Физика сегнетоэлектриков-полупроводников. Тверь: ТвГУ, 2010.
3. Богомолов А.А., Иванов В.В. Физика сегнетоэлектрических явлений. Тверь: ТвГУ, 2014. 160с.
4. Шмидт В.В. Введение в физику сверхпроводников. Изд. 2-е, испр. и доп. М.: МЦНМО, 2000. 402с.
5. Боровик Е.С., Еременко В.В., Мильнер А.С. Лекции по магнетизму. М.: Физматлит. 2005. 512с.
6. Пастушенков Ю.Г., Скоков К.П. Функциональные магнитные материалы. Тверь. 2014г. 108с.
7. Богомолов А.А., Солнышкин А.В. Динамика решетки и сегнетоэлектрические явления: Учеб. пособие. Тверь: Твер.гос. ун-т, 2008.144с.
8. Пастушенков Ю.Г., Пастушенков А.Г. Постоянные магниты. Часть 1. Природа коэрцитивности. Тверь. - 2015. 250с.
9. Кудреватых, Н. В. Магнетизм редкоземельных металлов и их интерметаллических соединений : учебное пособие / Н. В. Кудреватых, А. С. Волегов. — Екатеринбург : УрФУ, 2015. — 198 с. — ISBN 978-5-7996-1604-5. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/99048> (дата обращения: 01.11.2021). — Режим доступа: для авториз. пользователей.

Дополнительная:

- Физика сегнетоэлектриков: современный взгляд : учебное пособие / под редакцией К. М. Рабе [и др.] ; перевод с английского Б. А. Струкова, А. И. Лебедева. — 4-е изд. — Москва : Лаборатория знаний, 2020. — 443 с. — ISBN 978-5-00101-827-8. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/151471> (дата обращения: 01.11.2021). — Режим доступа: для авториз. пользователей.
- Физические основы, методы исследования и практическое применение пьезоматериалов / В.А. Головнин [и др.]. — Москва : Техносфера, 2016. — 272 с. — ISBN 978-5-94836-352-3. — Текст : электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS : [сайт]. — URL: <https://www.iprbookshop.ru/58893.html> (дата обращения: 01.11.2021). — Режим доступа: для авторизир. пользователей.
- Сидоркин, А. С. Доменная структура в сегнетоэлектриках и родственных материалах / А. С. Сидоркин. — Москва : ФИЗМАТЛИТ, 2000. — 240 с. — ISBN 5-9221-0095-5. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/59280> (дата обращения: 01.11.2021). — Режим доступа: для авториз. пользователей.
- Суворов, Э. В. Физические основы экспериментальных методов исследования реальной структуры кристаллов : учебное пособие / Э. В. Суворов ; составители «Металловедение и термическая. — Черноголовка : ИФТТ РАН!, 2021. — 209 с. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/181358> (дата обращения: 01.11.2021). — Режим доступа: для авториз. пользователей.
- Мушников, Н. В. Магнетизм и магнитные фазовые переходы : учебное пособие / Н. В. Мушников. — Екатеринбург : УрФУ, 2017. — 168 с. — ISBN 978-5-7996-2049-3. — Текст : электронный // Лань : электронно-

- библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/170011> (дата обращения: 01.11.2021). — Режим доступа: для авториз. пользователей.
- Лилеев, А. С. Механизмы перемагничивания магнитных материалов. Моделирование процессов перемагничивания : учебное пособие / А. С. Лилеев. — Москва : МИСИС, 2020. — 49 с. — ISBN 978-5-907226-94-4. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/156005> (дата обращения: 01.11.2021). — Режим доступа: для авториз. пользователей.
  - Гуфан Ю.М. Физика магнитных явлений: учебник / А.Ю. Гуфан, Ю.М. Гуфан – Южный федеральный университет. – Ростов на Дону, Таганрог : Издательство Южного федерального университета, 2020. – 372 с.
  - Физика и инженерия постоянных магнитов : учебное пособие / В. П. Пискорский, Д. В. Королев, Р. А. Валеев [и др.] ; под общей редакцией Е. Н. Каблова. — Москва : ВИАМ, 2018. — 396 с. — ISBN 978-5-905217-29-6. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/115008> (дата обращения : 01.11.2021). — Режим доступа: для авториз. пользователей.

## 7. Оценочные материалы:

Перечень вопросов, заданий и литературные источники, необходимые для подготовки и сдачи ГЭ:

- 1.1. Индуцированные светом изменение показателя преломления в сегнетоэлектрических кристаллах.
- 1.2. Физические модели фоторефрактивного эффекта.
- 1.3. Аномальный фотовольтаический эффект в сегнетоэлектриках.
- 1.4. Феноменологическая теория фотовольтаического эффекта.

- 1.5. Понятие о вибронной теории сегнетоэлектриков-полупроводников.
- 1.6. Динамика решетки и фазовые переходы в сегнетоэлектриках типа смещения.
- 1.7. Мягкие моды и восприимчивость. Квазигармоническое приближение. Затухание сегнетоэлектрической моды.
- 1.8. Мягкие моды в рамках псевдоспинового формализма. Модель Изинга.
- 1.9. Динамика параметра порядка в сегнетоэлектриках типа порядок-беспорядок.
- 1.10. Эффекты туннелирования в водородосодержащих сегнетоэлектриках.
- 1.11. Экспериментальные методы исследования мягких мод в сегнетоэлектриках. Рассеяние нейтронов в твердых телах.
- 1.12. Методики исследования мод колебаний методами рассеяния света: рамановская, бриллюэновская, рэлеевская спектроскопии отражения.
- 1.13. Затухание мягкого фонона и центральная мода в кристаллах  $\text{LiNbO}_3$  и  $\text{LiTaO}_3$ . Проблема центрального пика.
- 1.14. Основные понятия о низкотемпературных сверхпроводниках, нулевое сопротивление. Температура перехода в сверхпроводящее состояние.
- 1.15. Идеальный диамагнетизм (эффект Мейсснера-Оксенфельда). Разрушение сверхпроводимости электрическим током.
- 1.16. Критическое магнитное поле, его зависимость от температуры. Сверхпроводники 1-ого и 2-ого рода.
- 1.17. Изотопический эффект. Теплоемкость сверхпроводников. Поглощение электромагнитного излучения. Квантование магнитного потока.



1.18. Термодинамика перехода в сверхпроводящее состояние: энтропия сверхпроводников, скачок теплоемкости.

1.19. Теория сверхпроводимости Лондонов.

1.20. Основные сведения о теории сверхпроводимости Гинзбурга-Ландау.

1.21. Притяжение между электронами. Модель Фрелиха.

1.22. Образование куперовской пары электронов.

1.23. Основные представления теории Бардина-Купера-Шриффера.

1.24. Слабые связи. Стационарный эффект Джозефсона. Нестационарный эффект Джозефсона.

1.25. Высокотемпературная сверхпроводимость: основные понятия и свойства ВТСП.

2.1. Понятие магнитной цепи. Типы магнитных цепей. Определение типов магнитных цепей. Условия перехода одного типа магнитной цепи в другой. Примеры.

2.2. Температурная стабильность магнитных свойств МТМ. Структурное и магнитное старение. Коэффициенты обратимых и необратимых изменений магнитных свойств.

2.3. Получение статических магнитных полей с помощью соленоидов. Конструкции соленоидов. Основная формула соленоида (для расчета величины индукции магнитного поля в центре и на оси соленоида). Параметры соленоида, используемые для расчета величины магнитной индукции.

2.4. Получение сильных статических магнитных полей с помощью электромагнитов. Намагничивающие обмотки. Магнитопровод (ярмо

электромагнита). Концентрация магнитного потока. Основные типы и параметры электромагнитов.

2.5. Измерение статических магнитных полей. Измерители магнитной индукции с использованием эффекта Холла и ядерного магнитного резонанса. Флюксометры.

2.6. Индукционно-непрерывный метод в магнитных измерениях. Вибрационный магнитометр. Устройство и принцип действия.

2.7. Расчет основных параметров магнитотвердых материалов. Измерение индукции на поверхности постоянного магнита. Соотношение между остаточной индукцией и индукцией на поверхности постоянного магнита. Собственное поле размагничивания и размагничивающий фактор постоянного магнита. Индукция в рабочей точке (магнитного материала и объекта конечной формы).

2.8. Редкоземельные металлы. Электронная структура редкоземельных элементов (положение в периодической системе, квантовые числа и правила Хунда).

2.9. Кристаллическая структура редкоземельных металлов. Лантаноидное сжатие.

2.10. Магнитная структура редкоземельных металлов. Феноменологическая и физическая природа возникновения неколлинеарных магнитных структур в редкоземельных металлах. Теория РККИ.

2.11. Магнитокристаллическая анизотропия и магнитострикция в редкоземельных металлах. Механизм кристаллического поля и анизотропного обменного взаимодействия.

2.12. Интерметаллические соединения. Причины образования интерметаллидов в сплавах РЗМ с 3d-металлами. Наиболее часто

встречающиеся стехиометрические соотношения интерметаллидов РЗМ с 3d-металлами.

2.13. Спонтанная намагниченность соединений редкоземельных элементов на основе железа и кобальта. Причина уменьшения магнитного момента 3d – элемента в сплавах с РЗЭ.

2.14. Магнитокристаллическая анизотропия и магнитострикция соединений редкоземельных элементов на основе железа и кобальта.

2.15. Редкоземельные магнитотвердые материалы. Методы получения экстремально высокого энергетического произведения.

2.16. Спиновый и орбитальный магнитные и механические моменты электронов в атоме. Спиновый и орбитальный g-факторы, гиромангнитная аномалия спина. Магнетон Бора.

2.17. Полный магнитный момент электронной оболочки атома. Принцип Паули. Правила Хунда. Фактор Ланде.

2.18. Векторная модель атома для случаев L-S и j-j связи. Принцип заполнения электронных оболочек атомов в периодической системе. Строение электронных оболочек атомов 3d-переходных и редкоземельных металлов.

2.19. Полуклассическое описание обменного взаимодействия. Обменная энергия. Обменный параметр.

2.20. Механизм прямого обменного взаимодействия. Обменная энергия. Модель ферромагнетизма Гайтлера-Лондона.

2.21. Обобщение модели молекулы водорода на систему N водородоподобных атомов. Модель ферромагнетизма Френкеля-Гейзенберга. Детерминанты Слэтера.

2.22. Косвенное обменное взаимодействие через электроны проводимости. Модель Шубина-Вонсовского (s-d обменное взаимодействие) и Кондорского (s-f взаимодействие), критерий ферромагнетизма.

2.23. Косвенное обменное взаимодействие в магнитных диэлектриках. Модель Крамерса-Андерсона.

2.24. Закон Блоха для спонтанной намагниченности ферромагнетиков и границы его применимости.

2.25. Зонная теория ферромагнетизма. Критерий ферромагнетизма 3d-металлов в зонной теории.

3.1. Подготовить сообщение об исследовании свойств материалов методом диэлектрической спектроскопии.

3.2. Подготовить сообщение об исследовании структуры материалов методом рентгеноструктурного анализа.

3.3. Подготовить сообщение об исследовании структуры материалов методом сканирующей электронной микроскопии.

3.4. Подготовить сообщение об исследовании структуры материалов методом сканирующей зондовой микроскопии.

3.5. Подготовить сообщение о передовых прикладных исследованиях в области магнетизма/сегнетоэлектричества.

3.6. Сформулировать актуальные задачи, которыми занимаются в последние годы специалисты в области физики сегнетоэлектрических явлений / физики магнитных явлений.

3.7. Привести структуру статьи в научно-техническом журнале.

### **Критерии оценивания:**

Оценка 5 (отлично) – обучающийся демонстрирует высокий уровень сформированности компетенций: свободно владеет теоретическим материалом, видит межпредметные связи, способен иллюстрировать теоретические проблемы практическими примерами, обосновывать свои суждения, ответ отличается профессиональной культурой.

Оценка 4 (хорошо) – обучающийся демонстрирует достаточный уровень сформированности компетенций: владеет теоретическим материалом, осознанно применяет знания для решения практических задач, ответ логичен, но содержание ответа имеет отдельные неточности.

Оценка 3 (удовлетворительно) – обучающийся демонстрирует минимальный уровень сформированности компетенций: владеет теоретическим материалом, но излагает его неполно, непоследовательно, допускает неточности в определении понятий, в применении знаний для решения практических задач, не умеет доказательно обосновывать свои суждения.

Оценка 2 (неудовлетворительно) – обучающийся демонстрирует уровень сформированности компетенций ниже минимального: имеет разрозненные бессистемные знания, не умеет выделять главное и второстепенное, допускает ошибки в определении понятий, искажающие их смысл, беспорядочно и неуверенно излагает материал, не может применить знания для решения практических задач.