



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И.
Носова»



УТВЕРЖДАЮ
Директор ИЕиС
Ю.В. Сомова

03.02.2025 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

***МЕТОДЫ И ПРИБОРЫ ИССЛЕДОВАНИЯ СВОЙСТВ
КОНДЕНСИРОВАННЫХ СРЕД***

Научная специальность

1.3.8. Физика конденсированного состояния

Уровень высшего образования - подготовка кадров высшей квалификации

Форма обучения
очная

| | |
|---------------------|--|
| Институт/ факультет | Институт естествознания и стандартизации |
| Кафедра | Физики |
| Курс | 2 |
| Семестр | 3 |

Магнитогорск
2025 год

Рабочая программа составлена на основе ФГТ (приказ Минобрнауки России от 20.10.2021 г. № 951)

Рабочая программа рассмотрена и одобрена на заседании кафедры Физики
28.01.2025, протокол № 4

Зав. кафедрой  Д.М. Долгушин

Рабочая программа одобрена методической комиссией ИЕиС
03.02.2025 г. протокол № 3

Председатель  Ю.В. Сомова

Рабочая программа составлена:

доцент кафедры Физики, канд. физ.-мат. наук  Г.А. Дубский

Рецензент:

зав. кафедрой ПМИИ, д-р техн. наук  Ю.А. Извеков

Лист актуализации рабочей программы

Рабочая программа пересмотрена, обсуждена и одобрена для реализации в 2026 - 2027 учебном году на заседании кафедры Физики

Протокол от _____ 20__ г. № ____
Зав. кафедрой _____ Д.М. Долгушин

Рабочая программа пересмотрена, обсуждена и одобрена для реализации в 2027 - 2028 учебном году на заседании кафедры Физики

Протокол от _____ 20__ г. № ____
Зав. кафедрой _____ Д.М. Долгушин

Рабочая программа пересмотрена, обсуждена и одобрена для реализации в 2028 - 2029 учебном году на заседании кафедры Физики

Протокол от _____ 20__ г. № ____
Зав. кафедрой _____ Д.М. Долгушин

Рабочая программа пересмотрена, обсуждена и одобрена для реализации в 2029 - 2030 учебном году на заседании кафедры Физики

Протокол от _____ 20__ г. № ____
Зав. кафедрой _____ Д.М. Долгушин

1 Цели освоения дисциплины (модуля)

Цель – формирование у аспирантов углубленных теоретических знаний и практических навыков в

области современных приборов и методов экспериментальной физики для направленности физика

конденсированного состояния.

Задачи:

- сформировать у аспирантов общие представления об основах математической обработки

экспериментальных данных, теории ошибок, общей методологии проведения эксперимента;

- сформировать у аспирантов представление о фундаментальных теоретических основах экспериментальных методов исследования в области физики конденсированного состояния, о принципах построения и работы современных приборов и исследовательского оборудования, способах

регистрации сигналов;

- подготовить аспирантов к применению полученных знаний при самостоятельном проведении научных исследований.

2 Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины (модуля) и планируемые результаты обучения

В результате освоения дисциплины (модуля) «Методы и приборы исследования свойств конденсированных сред» обучающийся должен обладать следующими компетенциями:

| | |
|-------|--|
| | |
| КНС-2 | Способен владеть экспериментальными методами исследования и методами математического моделирования с использованием прикладных математических пакетов и программ |
| КНС-4 | Способен применять на практике навыки составления научно-технической документации, научных отчетов, обзоров, докладов, написания статей по направлению физика конденсированного состояния и смежным направлениям |

3. Структура, объём и содержание дисциплины (модуля)

Общая трудоемкость дисциплины составляет 2 зачетных единиц 72 акад. часов, в том числе:

- контактная работа – 42 акад. часов;
- аудиторная – 42 акад. часов;
- внеаудиторная – 0 акад. часов;
- самостоятельная работа – 30 акад. часов;

Форма аттестации - зачет

| Раздел/ тема дисциплины | Семестр | Аудиторная контактная работа (в акад. часах) | | Самостоятельная работа студента | Форма текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации |
|--|---------|--|-------------|---------------------------------|---|
| | | Лек. | практ. зан. | | |
| 1. Измерения и методы измерений физических величин | | | | | |
| 1.1 Методы измерений | 3 | 2 | | 2,5 | устный опрос, тест, реферат |
| 1.2 Измерения | | 1 | | 2,5 | устный опрос, тест, реферат |
| Итого по разделу | | 3 | | 5 | |
| 2. Критерии точности измерений | | | | | |
| 2.1 Точность измерений | 3 | 2 | 2 | 5 | устный опрос, тест, реферат |
| Итого по разделу | | 2 | 2 | 5 | |
| 3. Методы анализа физических измерений | | | | | |
| 3.1 Методы анализа физических измерений | 3 | 2 | 2 | 5 | устный опрос, тест, реферат |
| Итого по разделу | | 2 | 2 | 5 | |
| 4. Моделирование физических процессов | | | | | |
| 4.1 Моделирование физических процессов | 3 | 2 | 2 | 5 | устный опрос, тест, реферат |
| Итого по разделу | | 2 | 2 | 5 | |
| 5. Экспериментальные методы физики конденсированного состояния | | | | | |
| 5.1 Рентгеноструктурный анализ | 3 | 1,5 | 2 | 1 | устный опрос, тест, реферат |
| 5.2 Методы оптической спектроскопии | | 1,5 | 2 | 1 | устный опрос, тест, реферат |
| 5.3 Зондовые методы исследования поверхности | | 1 | 2 | 1 | устный опрос, тест, реферат |
| 5.4 Методы измерения магнитных свойств | | 2 | 2 | 1 | устный опрос, тест, реферат |
| 5.5 Электромагнитноакустическое преобразование (ЭМАП) | | 1 | 2 | 1 | устный опрос, тест, реферат |
| 5.6 Оптическая микроскопия, металлография | | 1 | 2 | 1 | устный опрос, тест, реферат |
| 5.7 Методы исследования металлических расплавов | | 2 | 2 | 1 | устный опрос, тест, реферат |
| Итого по разделу | | 10 | 14 | 7 | |
| 6. Автоматизация физического эксперимента | | | | | |
| 6.1 Автоматизация физического эксперимента | 3 | 2 | 1 | 3 | устный опрос, тест, реферат |
| Итого по разделу | | 2 | 1 | 3 | |
| Итого за семестр | | 21 | 21 | 30 | зачёт |
| Итого по дисциплине | | 21 | 21 | 30 | зачет |

4 Оценочные средства для проведения текущей и промежуточной аттестации

Представлены в приложении 1.

5 Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины (модуля) а) Основная литература:

1. Шишмарёв, В. Ю. Технические измерения и приборы : учебник для вузов / В. Ю. Шишмарёв. — 3-е изд., перераб. и доп. — Москва : Издательство Юрайт, 2025. — 377 с. — (Высшее образование). — ISBN 978-5-534-12536-8. — Текст : электронный // Образовательная платформа Юрайт [сайт]. — URL: <https://urait.ru/bcode/566056> (дата обращения: 22.04.2025).

2. Старовиков, М. И. Введение в экспериментальную физику : учебное пособие для вузов / М. И. Старовиков. — 2-е изд., стер. — Санкт-Петербург : Лань, 2025. — 236 с. — ISBN 978-5-507-52606-2. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/455750> (дата обращения: 22.04.2025). — Режим доступа: для авториз. пользователей.

3. Рачков, М. Ю. Технические измерения и приборы : учебник и практикум для вузов / М. Ю. Рачков. — 3-е изд., испр. и доп. — Москва : Издательство Юрайт, 2025. — 151 с. — (Высшее образование). — ISBN 978-5-534-07525-0. — Текст : электронный // Образовательная платформа Юрайт [сайт]. — URL: <https://urait.ru/bcode/562425> (дата обращения: 22.04.2025).

4. Глуханов, А. А. Методы и средства измерений, испытаний и контроля : учебное пособие / А. А. Глуханов. — Архангельск : САФУ, 2020. — 188 с. — ISBN 978-5-261-01462-1. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/226832> (дата обращения: 22.04.2025). — Режим доступа: для авториз. пользователей.

б) Дополнительная литература:

1. Физика твердого тела : учебное пособие [для вузов] / Г. А. Дубский, А. А. Нефедьев, Д. М. Долгушин [и др.] ; Магнитогорский гос. технический ун-т им. Г. И. Носова. - Магнитогорск : МГТУ им. Г. И. Носова, 2019. - 1 CD-ROM. - Загл. с титул. экрана. - URL: <https://host.megaprolib.net/MP0109/Download/MObject/2398>. - ISBN 978-5-9967-1594-7. - Текст : электронный.

2. Холомина, Т. А. Свойства и применение металлов и сплавов : учебное пособие / Т. А. Холомина, М. В. Зубков. — Рязань : РГРТУ, 2023. — 92 с. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/439745> (дата обращения: 22.04.2025). — Режим доступа: для авториз. пользователей.

3. Кульков, В. Г. Физика конденсированного состояния в электротехническом материаловедении : учебное пособие / В. Г. Кульков. — Санкт-Петербург : Лань, 2017. — 272 с. — ISBN 978-5-8114-2379-8. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/90003> (дата обращения: 21.04.2025). — Режим доступа: для авториз. пользователей.

в) Программное обеспечение и Интернет-ресурсы:

Программное обеспечение

| Наименование ПО | № договора | Срок действия лицензии |
|-----------------------------|------------------------------|------------------------|
| 7Zip | свободно распространяемое | бессрочно |
| MS Office 2007 Professional | № 135 от 17.09.2007 | бессрочно |
| Scilab Computation Engine | свободно распространяемое ПО | бессрочно |

| | | |
|------------------------------------|------------------------------|-----------|
| Maple 14 Classroom | К-113-11 от 11.04.2011 | бессрочно |
| MathWorks MathLab v.2014 Classroom | К-89-14 от 08.12.2014 | бессрочно |
| MathCAD v.15 Education University | Д-1662-13 от 22.11.2013 | бессрочно |
| LibreOffice | свободно распространяемое | бессрочно |
| Texmaker | свободно распространяемое | бессрочно |
| Браузер Mozilla Firefox | свободно распространяемое ПО | бессрочно |
| Браузер Yandex | свободно распространяемое | бессрочно |

Профессиональные базы данных и информационные справочные системы

| Название курса | Ссылка |
|--|---|
| Международная реферативная и полнотекстовая справочная база данных научных изданий «Springer Nature» | https://www.nature.com/siteindex |
| Электронные ресурсы библиотеки МГТУ им. Г.И. Носова | https://host.megaprolib.net/MP0109/Web |
| Российская Государственная библиотека. Каталоги | https://www.rsl.ru/ru/4readers/catalogues/ |
| Национальная информационно-аналитическая система – Российский индекс научного цитирования (РИНЦ) | URL: https://elibrary.ru/project_risc.asp |

Приложение 1

4 Оценочные средства для проведения текущей и промежуточной аттестации

КНС-2 Способен владеть экспериментальными методами исследования и методами математического моделирования с использованием прикладных математических пакетов и программ

Основные вопросы для подготовки к зачету:

1. Методы измерения основных физических величин.
2. Системы единиц. Единая система единиц (СИ). Универсальные постоянные и естественные системы единиц. Производные единицы и стандарты.
3. Прямые, косвенные, статистические и динамические измерения. Оценки погрешностей косвенных измерений. Условные измерения. Проблема корреляций и уравнивание условных измерений. Принципиальные ограничения на точность измерений (физические пределы).
4. Методы измерений физических величин в исследуемой области физики. Основные принципы построения приборов для измерений физических величин в исследуемой области физики.
5. Фундаментальные шумы в измерительных устройствах. Тепловой шум. Формула Найквиста. Теорема Каллена-Вельтона. Дробовой шум в электронных и оптических приборах. Квантовые эффекты в физических измерениях.
6. Случайные события. Понятие вероятности. Условные вероятности. Распределение вероятности. Плотность вероятности. Моменты. Специальные распределения вероятностей и их использование в физике.
7. Биномиальное распределение, распределение Пуассона (дробовой шум), экспоненциальное распределение. Нормальное распределение и центральная предельная теорема. Многомерные распределения вероятностей. Корреляции случайных величин.
8. Случайные процессы. Эргодичность. Корреляционная функция случайного процесса. Стационарные случайные процессы. Спектральная плотность. Теорема Винера-Хинчина.
9. Оценка параметров случайных величин. Выборочные средние и дисперсии. Выборочные распределения. Распределение Стьюдента, χ^2 - распределение.
10. Определение средних значений измеряемых параметров и их погрешностей в прямых и косвенных измерениях.
11. Техника оценки параметров при разных распределениях погрешностей измерений. Средние и вероятные значения переменных. Техника оценки параметров при асимметричных распределениях погрешностей. Суммирование результатов различных измерений. Робастные оценки. Параметрические и непараметрические оценки.
12. Методы анализа физических измерений. Аналитическая аппроксимация результатов и измерений. Интерполяция (линейная, квадратичная, кубическая и т.д.).
13. Фурье-анализ. Дискретное преобразование Фурье. Быстрое преобразование Фурье. Вэйвлетный анализ.
14. Статистическая проверка гипотез. Критерии согласия и методы их использования. Критерий χ^2 , Смирнова-Колмогорова, Колмогорова.
15. Прямые и обратные задачи. Некорректные задачи. Обратные задачи при анализе результатов измерений и методы их решения.
16. Метод максимального правдоподобия и его применение. Метод наименьших квадратов.
17. Моделирование физических процессов. Аналитическое описание физических процессов. Планирование эксперимента, выбор метода и технических средств, методы

оценки ожидаемых результатов и их погрешностей.

18. Использование моделей физических процессов. Учет влияния прибора на результаты измерений. Моделирование с учетом особенностей используемых детекторов.

19. Автоматизация эксперимента. Создание комплексных установок. Общие требования.

20. Обработка информации «on-line». Контроль процессов измерений в реальном времени. Способы вывода информации в реальном времени. Накопление экспериментальных данных, создание банков данных.

21. Основные понятия кристаллографии. Физическая природа дифракции рентгеновских лучей на решетке. Устройство рентгеновского дифрактометра.

22. Качественный и количественный структурно-фазовый анализ в рентгенографии. Аппаратурное уширение рентгеновских рефлексов. Анализ субструктуры (размера кристаллитов, микроискажений решетки, дефектов упаковки) по уширению и сдвигу дифракционных рефлексов. Применение рентгеновской дифракции для исследования нанокристаллов и аморфных материалов.

23. Электронная дифракция. Устройство просвечивающего электронного микроскопа, его характеристики, увеличение и разрешение.

24. Формирование изображения структуры и картины дифракции в просвечивающем электронном микроскопе. Светлопольный и темнопольный режим просвечивающего электронного микроскопа.

25. Устройство сканирующего электронного микроскопа. Формирование изображения в поглощенных и обратно рассеянных электронах. Методы работы с непроводящими объектами.

26. Рентгеновский спектральный микроанализ. Типы рентгеновских спектрометров: принцип энергетических и волновых дисперсий. Анализ элементного состава в точке, по линии и поверхности (карты распределения элементов).

27. Физические основы рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии. Структура РФЭС-спектров. Химический сдвиг в спектрах и его интерпретация. Межатомная химическая связь. Анализ спектров валентных электронов. Количественный анализ. Разрешающая способность метода РФЭС и его возможности.

28. Устройство рентгеноэлектронного спектрометра. Типы и характеристики энергоанализаторов. Детекторы фотоэлектронов.

29. Протяженная тонкая структура рентгеновских спектров поглощения (EXAFS-спектры). Получение информации о локальной атомной структуре из рентгеновских спектров поглощения.

30. Общие сведения об оптической спектроскопии. Спектры испускания, диффузного и зеркального отражения, спектры поглощения. Задачи физики конденсированного состояния, решаемые с помощью методов оптической спектроскопии. Применение оптических спектров поглощения в качественном, структурном и количественном анализе. Техника оптической спектроскопии в ИК, видимой и УФ областях..

31. Основные характеристики магнитного поля, методы его получения и измерения. Поведение вещества во внешнем магнитном поле. Намагниченность, зависимость намагниченности от температуры и внешнего магнитного поля. Магнитные гистерезисные свойства. Магнитные фазовые переходы. Магнетизм малых (нано-) частиц.

32. Основные магнитные характеристики ферромагнетиков: намагниченность насыщения, остаточная намагниченность, коэрцитивная сила, петля магнитного гистерезиса. Установки для измерения магнитных характеристик: баллистическая установка, вибрационный магнитометр, СКВИД-магнитометр, коэрцитиметры. Магнитные методы

фазового анализа: метод температурной зависимости начальной магнитной восприимчивости и метод измерения намагниченности насыщения ферромагнитных материалов.

33. Физическая природа электромагнитно-акустического преобразования (ЭМАП), принципы регистрации, возбуждение, взаимодействие и распространение в проводящих средах электромагнитных, акустических и спиновых колебаний. Характеристики ЭМАП. Применение в исследованиях твердого тела и ультразвуковом неразрушающем контроле.

34. Теоретические основы методов термического анализа и дифференциальной сканирующей калориметрии и решаемые задачи в физике конденсированного состояния.

35. Измерение тепловых эффектов, теплоемкости, расчет температурного вклада в энтальпию, оценка энтропии в методах термического анализа и ДСК, построение фазовых диаграмм.

36. Методы исследования свойств металлических расплавов. Вязкость расплавов. Основы метода крутильных колебаний. Смачиваемость и ее измерение.

КНС-4 Способен применять на практике навыки составления научно-технической документации, научных отчетов, обзоров, докладов, написания статей по направлению физика конденсированного состояния и смежным направлениям

Примерные темы рефератов:

1. Критерии точности физических измерений.
2. Методы анализа физических измерений.
3. Рентгеноструктурный анализ.
4. Мессбауэровская (гамма-резонансная) спектроскопия
5. Метод протяженных тонких структур спектров рентгеновского поглощения.
6. Оже-электронная спектроскопия
7. Рентгеновская фотоэлектронная спектроскопия.
8. Зондовые методы исследования поверхности.
9. Методы электронной микроскопии.
10. Методы термического анализа и дифференциальной сканирующей калориметрии.
11. Методы измерения магнитных свойств.
12. Электромагнитно-акустическое преобразование.
13. Автоматизация физического эксперимента.