

Документ подписан простой электронной подписью
Информация о владельце:
ФИО: Романчук Иван Сергеевич
Должность: Ректор
Дата подписания: 29.12.2023 11:46:08
Уникальный программный ключ:
6319edc2b582ffdacea443f01d5779368d0957ac34f5e6074d8c18b530452479

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«ТЮМЕНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

УТВЕРЖДАЮ
Заместитель директора
Физико-технического института по
учебной работе

 С.А. Креков
23.06.2021

МЕТРОЛОГИЯ И ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ

Рабочая программа
для обучающихся по направлению подготовки
03.03.02 Физика
Профиль: Фундаментальная физика
очная форма обучения

Никулин С.Г. Метрология и физико-технические измерения. Рабочая программа для обучающихся по направлению 03.03.02 Физика, профиль: Фундаментальная физика, форма обучения очная. Тюмень, 2021.

Рабочая программа дисциплины опубликована на сайте ТюмГУ: Метрология и физико-технические измерения [электронный ресурс] / Режим доступа: <http://www.utmn.ru/sveden/education/#.>

Рабочая программа дисциплины включает следующие разделы:

1. Пояснительная записка

Актуальность дисциплины заключается в предоставлении обучающимся информации о необходимых требованиях к метрологии и физико-техническим измерениям, предъявляемых в настоящее время во всех отраслях промышленности, промышленной безопасности и экологии, обороне и безопасности государства.

Данная дисциплина **предназначена** для углубленного изучения физических свойств объектов, явлений и, как следствие, применения знаний в исследовательской, инженерно-проектной и производственной деятельности.

Целью изучения дисциплины «Метрология и физико-технические измерения» является формирование у обучающихся знаний по основам метрологии. Знание дисциплины позволит выпускникам квалифицированно решать вопросы методически правильного измерения различных физических величин и обработки результатов измерений, метрологической подготовки производства, метрологической экспертизы конструкторской и технологической документации.

Основные **задачи** изучения дисциплины состоят в освоении обучающимися предмета, основ и задач метрологии, в получении обучающимися основных научно-практических знаний в области метрологии, необходимых для решения задач обеспечения единства измерений, в изучении результатов и погрешностей измерений, а также в знакомстве с техническими средствами и освоении методов физико-технических измерений.

1.1. Место дисциплины в структуре образовательной программы

Дисциплина «Метрология и физико-технические измерения» входит в вариативную часть блока Б1 Дисциплины, является дисциплиной по выбору.

Для ее успешного изучения необходимы знания и умения, приобретенные (или приобретаемые параллельно) в результате изучения дисциплин блока «Общая физика» и «Общая математика».

Освоение дисциплины необходимо для выполнения курсовой работы, а также для подготовки и написания выпускной квалификационной работы.

1.2. Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения данной дисциплины

Код и наименование компетенции (из ФГОС ВО)	Компонент (знаниевый/функциональный)
Способен осуществлять выполнение экспериментов и оформление результатов исследований и разработок (ПК-1)	Знает – избранные области экспериментальных и теоретических физических исследований; – методы измерений и исследований, основанные на различных физических эффектах.
	Умеет – создавать новые или работать с готовыми физическими моделями изучаемых объектов; – учитывать влияние внешних параметров, начальных и граничных условий на поведение моделей.

2. Структура и объем дисциплины

Таблица 1

Вид учебной работы		Всего часов	Часов в семестре
			7
Общая трудоемкость	зач. ед.	4	4
	час	144	144
Из них:			
Часы аудиторной работы (всего):		86	86
Лекции		34	34
Практические занятия		0	0
Лабораторные / практические занятия по подгруппам		52	52
Часы внеаудиторной работы, включая самостоятельную работу обучающегося		58	58
Вид промежуточной аттестации (зачет, диф. зачет, экзамен)			Экзамен

3. Система оценивания

Текущий контроль осуществляется в следующих формах:

- посещение встреч;
- выполнение творческого задания;
- работа на учебной встрече;
- защита проекта.

При условии соблюдения требований текущего контроля, обучающийся набирает n-ое количество баллов (в соответствии с нормами МУП).

Посещение и работа на учебной встрече - 3 балла;

Выполнение творческого задания – 3 балла;

Защита проекта – 6 баллов.

В соответствии с Положением о рейтинговой системе оценки успеваемости студентов в ФГАОУ ВО «Тюменский государственный университет», во время последней контрольной недели семестра преподаватель подводит итоги работы каждого студента и объявляет результаты студентам. Однако, если студент желает улучшить свой рейтинг по дисциплине, ему предоставляется право набрать дополнительные баллы – подготовить реферат на одну из предложенных преподавателем тем, либо на самостоятельно обозначенную тему, выполнить дополнительные задания и т.п.

Преподаватель может использовать систему штрафов, уменьшая набранные баллы за пропуски занятий без уважительных причин, за нарушение сроков выполнения учебных заданий, за систематический отказ отвечать на занятиях и т. д. Возможно также начисление дополнительных баллов за работы, выполненные студентом на высоком уровне.

Экзамен проводится в устной форме по билетам к зачету. Билет содержит два вопроса.

Критерием освоения дисциплины также является выполнение и защита индивидуального проекта, либо творческого задания. Защита проекта проводится в формате презентаций. Защита творческого задания может проходить в написании реферата на выбранную тему и докладе его на учебной встрече.

Результаты работы студента над проектом оформляются в виде отчета, который должен содержать следующие разделы:

- титульный лист;
- оглавление;

- введение;
- основная часть;
- заключение;
- библиография (список использованных источников информации);
- приложения (при наличии).

4. Содержание дисциплины

4.1. Тематический план дисциплины

Таблица 2

№ п/п	Наименование тем и/или разделов	Объем дисциплины, час.				
		Все- го	Виды аудиторной работы (академические часы)			Иные виды контактной работы
			Лек- ции	Практи- ческие занятия	Лаборатор- ные/прак- тические занятия по подгруппам	
1	2	3	4	5	6	7
1	Введение в метрологию, стандартизацию и сертификацию	2	2	0	0	0
2	Линейно-угловые измерения	2	4	0	0	0
3	Метрологическое обеспечение производства	2	2	0	0	0
4	Расходомерия газа	2	4	0	0	0
5	Расходомерия жидкости	2	4	0	0	0
6	Работа с СИ влагосодер- жания, температуры, уровня	2	2	0	0	0
7	Погрешность измерений	4	4	0	0	0
8	Работа с СИ давления, пере- пада давления, плотности	2	2	0	0	0
9	Расчет и подбор СИ узла учета газа	2	2	0	0	0
10	Стандартизация	2	2	0	0	0
11	Расчет и подбор СИ узла учета нефти	2	2	0	0	0
12	Сертификация	2	2	0	0	0
13	Расчет и подбор СИ в резервуаре	2	2	0	0	0
14	Качество продукции	2	2	0	0	0
15	Консультации по проекту	2	0	0	0	2
16	Защита проектов	4	0	0	0	4
17	Зачет	2	0	0	0	2
	Итого (часов)	44	36	0	0	8

4.2. Содержание дисциплины по темам

1. «Введение в метрологию, стандартизацию и сертификацию»

Лекции по изучению понятий «Метрология», «Стандартизация» и «Сертификация». Практическое применение данных понятий, использование терминов на производственных

площадках предприятий, в сфере потребительских услуг. Нормативно-законодательная база, применение и использование в теории и на практике.

2. «**Линейно-угловые измерения**»

Понятие линейно-угловых измерений. Практическое занятие по применению средств измерений линейно-угловых величин.

Расчет погрешности (неопределенности) средств измерений линейно-угловых величин.

3. «**Метрологическое обеспечение производства**»

Лекции по метрологическому обеспечению производства:

1. Метрология, как основа измерений на производстве.

2. Соблюдение метрологических норм и правил при проектировании, конструировании, испытаниях и выпуске измерительного оборудования из производства.

3. Соблюдение метрологических норм и правил при аттестации испытательного оборудования на производстве.

4. «**Расходомерия газа**»

Анализ метрологических характеристик средств измерений, используемых при измерениях газа, в зависимости от назначения и отрасли народного хозяйства.

Подбор средств измерений расхода по заданным параметрам точности измерений.

5. «**Расходомерия жидкости**»

Анализ метрологических характеристик средств измерений, используемых при измерениях жидкости, в зависимости от назначения и отрасли народного хозяйства.

Подбор средств измерений расхода по заданным параметрам точности измерений.

6. «**Работа со средствами измерений влагосодержания, температуры, уровня**»

Знакомство с метрологическими характеристиками, предназначением и с нормативно-справочной документацией на данные средства измерений на практике.

Подбор средств измерений по заданным параметрам точности измерений.

Проверка промежуточных результатов.

7. «**Погрешность измерений (неопределенность измерений)**»

Виды погрешностей. Расчет погрешности измерений.

8. «**Работа со средствами измерений давления, перепада давления, плотности**»

Знакомство с метрологическими характеристиками, предназначением и с нормативно-справочной документацией на данные средств измерений на практике.

Подбор средств измерений по заданным параметрам точности измерений.

Проверка промежуточных результатов.

9. «**Расчет и подбор средств измерений узла учета газа**»

Знакомство с метрологическими характеристиками, предназначением и с нормативно-справочной документацией на данные средства измерений на практике.

Подбор средств измерений по заданным параметрам точности измерений с учетом требований к погрешности измерений узла учета газа.

10. «**Стандартизация**»

Знакомство с нормативно-законодательной базой.

Изучение, анализ и применение технической документации (ГОСТ, ТУ, РД и т.д.).

11. «**Расчет и подбор средств измерений узла учета нефти**»

Знакомство с метрологическими характеристиками, предназначением и с нормативно-справочной документацией на данные средства измерений на практике.

Подбор средств измерений по заданным параметрам точности измерений с учетом требований к погрешности измерений узла учета нефти.

12. «**Сертификация**»

Знакомство с нормативно-законодательной базой. Сертификационные требования и нормативная документация.

Изучение, анализ и применение технической документации (ГОСТ, ТУ, РД и т.д.).

13. «**Расчет и подбор средств измерений в резервуаре**»

Знакомство с метрологическими характеристиками, предназначением и с нормативно-справочной документацией на данные средства измерений на практике.

Подбор СИ по заданным параметрам точности измерений с учетом требований к погрешности измерений массы нефти.

14. «Качество продукции»

Взаимодействие метрологии со службой качества.

Подбор средств измерений испытательного оборудования.

Знакомство с технической документацией.

15. «Консультация по проекту»

Помощь в выборе темы.

Собеседование в формате вопрос-ответ.

Распределение тем индивидуальных проектов. Проверка промежуточных результатов.

16. «Защита проектов»

Защита проектов в формате презентаций.

5. Учебно-методическое обеспечение и планирование самостоятельной работы обучающихся

Таблица 3

№ темы	Темы	Формы СРС, включая требования к подготовке к занятиям
1	Введение в метрологию, стандартизацию и сертификацию	Проработка лекций Изучение обязательной и дополнительной литературы
2	Линейно-угловые измерения	Проработка лекций Практические работы со средствами измерений линейно-угловых величин Подготовка отчета
3	Метрологическое обеспечение производства	Проработка лекций Изучение обязательной и дополнительной литературы Рассмотрение и анализ нормативно-законодательной базы метрологического обеспечения производства
4	Расходомерия газа	Проработка лекций Проектирование документов (ОТ, РЭ, МП, МИ, Рассмотрение и анализ нормативно-законодательной базы Подготовка отчета
5	Расходомерия жидкости	Проработка лекций Проектирование документов (ОТ, РЭ, МП, МИ, Рассмотрение и анализ нормативно-законодательной базы Подготовка отчета

6	Работа с СИ влагосодержания, температуры, уровня	Проработка лекций Ознакомление с нормативно-справочной документацией на средства измерений влагосодержания, температуры, уровня Ознакомление с метрологическими характеристиками данных средств измерений Проектирование документов (ОТ, РЭ, МП, МИ,) Подготовка отчета
7	Погрешность измерений	Проработка лекций Изучение обязательной и дополнительной литературы Рассмотрение и анализ нормативно-законодательной базы
8	Работа с СИ давления, перепада давления, плотности	Проработка лекций Ознакомление с нормативно-справочной документацией на средства измерений давления, перепада давления, плотности Ознакомление с метрологическими характеристиками данных средств измерений Подготовка отчета
9	Расчет и подбор СИ узла учета газа	Проработка лекций Ознакомление с нормативно-справочной документацией на подбираемые средства измерений узла учета газа Ознакомление с метрологическими характеристиками Подготовка отчета
10	Стандартизация	Проработка лекций Изучение обязательной и дополнительной литературы Рассмотрение и анализ нормативно-законодательной базы
11	Расчет и подбор СИ узла учета нефти	Проработка лекций Ознакомление с нормативно-справочной документацией на подбираемые средства измерений узла учета нефти Ознакомление с метрологическими характеристиками Подготовка отчета
12	Сертификация	Проработка лекций Изучение обязательной и дополнительной литературы Рассмотрение и анализ нормативно-законодательной базы
13	Расчет и подбор СИ в резервуаре	Проработка лекций Ознакомление с нормативно-справочной документацией на подбираемые средств измерений в резервуаре Ознакомление с метрологическими характеристиками Подготовка отчета

14	Качество продукции	Проработка лекций Изучение обязательной и дополнительной литературы Рассмотрение и анализ нормативно-законодательной базы
15	Консультации по проекту	Самостоятельное изучение заданного материала Подготовка вопросов
16	Защита проектов	Самостоятельное изучение заданного материала Подготовка к защите

6. Промежуточная аттестация по дисциплине

6.1 Оценочные материалы для проведения промежуточной аттестации по дисциплине

Форма промежуточной аттестации – экзамен.

Примерный перечень вопросов к зачету:

1. Предмет метрологии.
2. Структура теоретической метрологии. Краткий очерк истории развития метрологии.
3. Физическая величина.
4. Измерение.
5. Методы измерений.
6. Средства измерений. Погрешность измерений.
7. Классификация погрешностей. Принципы описания и оценивания погрешностей.
8. Систематические погрешности, обнаружение и исключение. Компенсация систематической погрешности в процессе измерения.
9. Случайные погрешности. Вероятностное описание результатов и погрешностей.
10. Оценка результата измерений. Нормальное распределение.
11. Варианты оценки случайных погрешностей.
12. Прямые измерения с многократными наблюдениями. Обработка данных.
13. Прямые однократные измерения с точным оцениванием погрешности. Однократные измерения с приближенным оцениванием погрешности.
14. Косвенные измерения.
15. Совместные измерения.
16. Испытания образцов продукции.
17. Измерительный контроль.
18. Международные рекомендации по оцениванию неопределенности результата измерений.
19. Электрические измерения неэлектрических величин. Общие сведения. Термоэлектрические преобразователи (термопары).
20. Термометры сопротивления.
21. Термисторы. Оптическая пирометрия.
22. Классификация средств измерений.
23. Измерение давления и вакуума.
24. Измерение уровня жидкости
25. Измерение расхода жидкости, газа и пара. Общие сведения и классификация.
26. Метод переменного перепада давления. Метод постоянного перепада давления.
27. Метод скоростного напора. Тепловой метод.
28. Ультразвуковой и электромагнитный методы.
29. Вихревые, камерные и оптические расходомеры.
30. Методы измерений, применяемые в газовом анализе.
31. Измерение геометрических размеров. Общие сведения

32. Измерение шероховатости поверхности.
33. Элементы теории динамических измерений. Общие сведения.
34. Полные динамические характеристики средств измерений.
35. Коррекция динамических погрешностей.
36. Цели и задачи стандартизации. Виды и методы стандартизации.
37. Категории и виды стандартов.
38. Основные принципы стандартизации.
39. Органы и службы стандартизации.
40. Государственные и отраслевые системы стандартов на общие технические нормы, термины и определения.
41. Единая система технологической подготовки производства (ЕСТПП). Государственная система обеспечения единства измерений (ГСИ).

7. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

7.1. Основная литература:

1. Метрология: учебник / О.Б. Бавыкин, О.Ф. Вячеславова, Д.Д. Грибанов [и др.]; под общ. ред. С.А. Зайцева. - 3-е изд., перераб. и доп. - Москва: ФОРУМ: ИНФРА-М, 2020. – 522 с. – (Высшее образование: Бакалавриат). - ISBN 978-5-00091-474-8.- Текст: электронный. – URL: Режим доступа: <http://znanium.com/catalog/product/1086765> (дата обращения: 25.05.2020). – Режим доступа: по подписке.
2. Эрастов В.Е. Метрология, стандартизация и сертификация: Учебное пособие / В.Е. Эрастов. - Москва: Форум, 2017. - 208 с. (Высшее образование). ISBN 978-5-91134-193-0. – Текст: электронный. URL: <http://znanium.com/catalog/product/636241> (дата обращения: 25.05.2020). – Режим доступа: по подписке.

7.2. Дополнительная литература:

1. Основы стандартизации, метрологии и сертификации: учебник для студентов вузов, обучающихся по направлениям стандартизации, сертификации и метрологии (200400), направлениям экономики (080100) и управления (080500) / А. В. Архипов, Ю. Н. Берновский, А. Г. Зекунов [и др.]; под редакцией В. М. Мишина. — Москва: ЮНИТИ-ДАНА, 2017. — 447 с. — ISBN 978-5-238-01173-8. — Текст: электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS: [сайт]. — URL: <http://www.iprbookshop.ru/74900.html> (дата обращения: 25.05.2020). — Режим доступа: для авторизир. пользователей
2. Дехтярь, Г. М. Метрология, стандартизация и сертификация: Учебное пособие / Г.М. Дехтярь. - М.: КУРС: НИЦ ИНФРА-М, 2019. - 154 с. - ISBN 978-5-905554-44-5. - Текст: электронный. - URL: <https://znanium.com/catalog/product/1026634> (дата обращения: 25.05.2020). – Режим доступа: по подписке.
3. Колчков, В. И. Метрология, стандартизация, сертификация: учебник / В.И. Колчков. — 2-е изд., испр. и доп. — М.: ФОРУМ: ИНФРА-М, 2019. — 432 с. — (Высшее образование: Бакалавриат). - ISBN 978-5-00091-638-4. - Текст: электронный. - URL: <https://znanium.com/catalog/product/987717> (дата обращения: 25.05.2020). – Режим доступа: по подписке.
4. Любимова, Г. А. Метрология, стандартизация и подтверждение качества: учебное пособие / Любимова Г.А. - Волгоград:Волгоградский ГАУ, 2016. - 88 с. - Текст: электронный. - URL: <https://znanium.com/catalog/product/620794> (дата обращения: 25.05.2020). – Режим доступа: по подписке.
5. Электрорадиоизмерения: учебник / В.И. Нефедов, А.С. Сигов, В.К. Битюков, Е.В. Самохина; под ред. А.С. Сигова. — 4-е изд., перераб. и доп. — Москва: ФОРУМ: ИНФРА-М, 2020. — 383 с. — (Среднее профессиональное образование). - ISBN 978-5-00091-502-8. - Текст:

электронный. - URL: <https://znanium.com/catalog/product/1069168> (дата обращения: 25.05.2020). – Режим доступа: по подписке.

6. Кириллов, В. И. Квалитетрия и системный анализ: Учебное пособие / Кириллов В.И., - 2-е изд., стер. - Москва: НИЦ ИНФРА-М, Нов. знание, 2014. - 440 с. (Высшее образование: Бакалавриат) ISBN 978-5-16-005464-3. - Текст: электронный. - URL: <https://znanium.com/catalog/product/429148> (дата обращения: 25.05.2020). – Режим доступа: по подписке.

7. Сергеев, А. Г. Метрология. История, современность, перспективы: учебное пособие / А. Г. Сергеев. — Москва: Логос, Университетская книга, 2011. — 381 с. — ISBN 978-5-98704-554-1. — Текст: электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS: [сайт]. — URL: <http://www.iprbookshop.ru/70696.html> (дата обращения: 25.05.2020). — Режим доступа: для авторизир. Пользователей

7.3. Интернет-ресурсы:

1. eLIBRARY – научная библиотека (г. Москва). – <http://elibrary.ru>

7.4. Современные профессиональные базы данных и информационные справочные системы:

- Федеральный информационный фонд в области обеспечения единства измерений- база данных (Свидетельство о регистрации базы данных № 2011620812, зарегистрировано 11.11.2011);
- Консультант Плюс (информационно-справочная правовая система, свободный доступ).

8. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине

- Лицензионное ПО:

платформа для электронного обучения Microsoft Teams;

При осуществлении образовательного процесса по дисциплине «Метрология и физико-технические измерения» в лаборатории многофазной расходомерии обучающиеся знакомятся с научно-испытательным стендом многофазных потоков (эталоном 1-го разряда), программное обеспечение (ПО) которого основано на версии LabVIEW компании National Instruments (США).

9. Технические средства и материально-техническое обеспечение дисциплины

Для проведения лекционных занятий требуется аудитория, оснащенная мультимедийным оборудованием.

Для проведения лабораторных занятий требуется Лаборатория многофазной расходомерии, оснащенная необходимым оборудованием, материалами и учебно-методической литературой. Во время проведения занятий в лаборатории необходим инженер.

Список оборудования для проведения лабораторных занятий:

1. Персональные компьютеры (ПК) – 10 шт.;
2. Многофункциональное устройство (МФУ) – 1 шт.;
3. Интерактивная доска – 1 шт.;
4. Проектор – 1 шт.;
5. Средства измерений линейно-угловых величин:
 - 5.1 Штангенциркуль
 - 5.2 Микрометр
 - 5.3 Рулетка
 - 5.4 Микроскоп ИМЦЛ
 - 5.5 Меры длины
6. Средства измерений теплофизических величин:
 - 6.1 Датчики температуры
 - 6.2 Датчики давления
 - 6.3 Датчики перепада давления
 - 6.4 Датчики уровня (межфазного уровня)

6.5 Расходомеры жидкостные, газовые:

- электромагнитные
- кориолисовые
- вихревые
- ультразвуковые
- роторно-лопастные
- перепада давления
- плотномеры поточные
- ареометры (эталонные)

Научно-испытательный стенд (НИС) – рабочий эталон 1-го разряда многофазного потока.

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«ТЮМЕНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

УТВЕРЖДАЮ
Заместитель директора
Физико-технического института по
учебной работе


С.А. Креков
23.06.2021

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В НЕФТЕГАЗОВОЙ ОТРАСЛИ

Рабочая программа
для обучающихся по направлению подготовки
03.03.02 Физика
Профиль: Фундаментальная физика
форма обучения очная

Ганопольский Р.М. Информационные технологии в нефтегазовой отрасли. Рабочая программа для обучающихся по направлению подготовки 03.03.02 Физика: Фундаментальная физика, академический бакалавриат, форма обучения очная. Тюмень, 2021.

Рабочая программа дисциплины опубликована на сайте ТюмГУ: Информационные технологии в нефтегазовой отрасли [электронный ресурс] / Режим доступа: <https://www.utmn.ru/sveden/education/#>.

Рабочая программа дисциплины включает следующие разделы:

1. Пояснительная записка

Цель дисциплины: дисциплина «Информационные технологии в нефтегазовой отрасли» формирует у студентов представление о круге современных задач, решаемых при разработке и эксплуатации нефтяных и газовых месторождений, а также о методах их решения.

Задачи учебного курса:

1. При изучении дисциплины студент знакомится с этапами построения гидродинамической модели месторождения и практическим моделированием процессов фильтрации в нефтяном пласте на современных гидродинамических симуляторах.
2. Решение практических задач формирует у студентов навыки построения математических моделей месторождений и анализа полученных решений.

Сложность математических моделей фильтрации нефти в неоднородных пластах, а также значительный объем геологической и промысловой информации предопределяет использование современных вычислительных методов и информационных технологий при решении поставленных задач.

При этом непосредственно используются современные технологии трехмерной визуализации строения пласта и потоков жидкости. Обучение на практических занятиях строится на основе использования специализированных программ гидродинамического моделирования. Практические задания представляют собой лабораторные и самостоятельные работы, требующие в разной мере участия со стороны студента.

1.1. Место дисциплины в структуре образовательной программы

Данная дисциплина входит в вариативную часть блока Б1 Дисциплины, реализуется в 8 семестре. Для ее успешного изучения необходимы знания и умения, приобретенные (или приобретаемые параллельно) в результате освоения дисциплин: «Вычислительная физика», «Математический анализ», «Физика нефтяного и газового пласта». Данная дисциплина необходима для написания выпускной квалификационной работы.

1.2. Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения данной дисциплины

Код и наименование компетенции (из ФГОС ВО)	Компонент (знаниевый/функциональный)
Способен осуществлять выполнение экспериментов и оформление результатов исследований и разработок (ПК-1)	Знает – избранные области экспериментальных и теоретических физических исследований; – методы измерений и исследований, основанные на различных физических эффектах.
	Умеет – создавать новые или работать с готовыми физическими моделями изучаемых объектов; – учитывать влияние внешних параметров, начальных и граничных условий на поведение моделей.

2. Структура и объем дисциплины

Таблица 1

Вид учебной работы		Всего часов	Часов в семестре
			7
Общая трудоемкость	зач. ед.	4	4
	час	144	144
Из них:			
Часы аудиторной работы (всего):		86	86
Лекции		34	34
Практические занятия		0	0
Лабораторные / практические занятия по подгруппам		52	52
Часы внеаудиторной работы, включая самостоятельную работу обучающегося		58	58
Вид промежуточной аттестации (зачет, диф. зачет, экзамен)			Экзамен

3. Система оценивания

Оценочными средствами являются лабораторные работы и доклад.

Промежуточная аттестация – доклад по выбранной теме. Выполнение и защита лабораторных работ является необходимым условием успешного освоения дисциплины. Без выполнения этих видов деятельности обучающийся не может получить положительной оценки по дисциплине.

Сданная лабораторная работа оценивается в 5 баллов, не сданная – в 0 баллов.

Если студент защищает проект, показывает глубокие знания в рассматриваемой области и отвечает на все дополнительные вопросы, то ему ставится 60 баллов.

Если показывает базовые знания в рассматриваемой области, отвечает более, чем на 50% дополнительных вопросов, то ему ставится 40 баллов.

Если показывает пороговые знания в рассматриваемой области и отвечает менее, чем на 50% дополнительных вопросов, то ему ставится 25 баллов. В ином случае – 0 баллов.

Если студент сделал доклад на занятиях в семестре и сдаёт все лабораторные работы и набирает более 61 балла, то он получает оценку «зачтено» автоматически. В ином случае на зачёте студент сдаёт долги по лабораторным работам и выступает с докладом с рефератом.

4. Содержание дисциплины

4.1. Тематический план дисциплины

Таблица 2

№ п/п	Наименование тем и/или разделов	Объем дисциплины, час.				
		Всего	Виды аудиторной работы (академические часы)			Иные виды контактной работы
			Лекции	Практические занятия	Лабораторные/практические занятия по подгруппам	
1	2	3	4	5	6	7
1	Основные этапы разработки месторождений	4	2	0	0	0

2	Знакомство с программным обеспечением	4	0	0	4	0
3	Программное обеспечение для гидродинамического моделирования	4	2	0	0	0
4	Выполнение лабораторных работ	4	0	0	4	0
5	Программное обеспечение для создания геологической модели	4	2	0	0	0
6	Выполнение лабораторных работ	4	0	0	4	0
7	Программное обеспечение для гидростатического моделирования	4	2	0	0	0
8	Выполнение лабораторных работ	4	0	0	4	0
9	Программное обеспечение для моделирования ГРП	4	2	0	0	0
10	Выполнение лабораторных работ	4	0	0	4	0
11	Интеллектуальные информационные технологии	4	2	0	0	0
12	Выполнение самостоятельной работы	4	0	0	4	0
13	Сопутствующие информационные технологии	4	2	0	0	0
14	Системы поддержки принятия решений	4	2	0	0	0
15	Комплексы программного обеспечения	4	2	0	0	0
16	Геоинформационные системы	4	2	0	0	0
17	Программное обеспечение для расчёта энергопотребления	4	2	0	0	0

18	Единая система поддержки процесса разработки нефтегазовых месторождений	4	2	0	0	0
	Итого (часов)	72	24	0	24	0

4.2. Содержание дисциплины по темам

1. **"Основные этапы разработки месторождений"**

Основные этапы разработки месторождений. Задачи, которые можно автоматизировать.

2. **"Знакомство с программным обеспечением"**

Знакомство с программным обеспечением

3. **"Программное обеспечение для гидродинамического моделирования"**

Программное обеспечение для гидродинамического моделирования

4. **"Выполнение лабораторных работ"**

Запуск расчетов и анализ результатов

5. **"Программное обеспечение для создания геологической модели"**

Программное обеспечение для создания геологической модели Petrel

6. **"Выполнение лабораторных работ"**

Исправление входных файлов для корректного запуска программного обеспечения

7. **"Программное обеспечение для гидростатического моделирования"**

Программное обеспечение для гидростатического моделирования Pipesim

8. **"Выполнение лабораторных работ"**

Корректировка геологической модели для дальнейшего запуска в гидродинамическом симуляторе

9. **"Программное обеспечение для моделирования ГРП"**

Программное обеспечение для моделирования ГРП

10. **"Выполнение лабораторных работ"**

Создание расписания работы скважины

11. **"Интеллектуальные информационные технологии"**

Интеллектуальные информационные технологии

12. **"Выполнение самостоятельной работы"**

Выполнение самостоятельной работы - численная симуляция гидродинамической модели

13. **"Сопутствующие информационные технологии"**

Сопутствующие информационные технологии

14. **"Системы поддержки принятия решений"**

Системы поддержки принятия решений

15. "Комплексы программного обеспечения"

Комплексы программного обеспечения

16. "Геоинформационные системы"

Геоинформационные системы

17. "Программное обеспечение для расчёта энергопотребления"

Программное обеспечение для расчёта энергопотребления

18. "Единая система поддержки процесса разработки нефтегазовых месторождений"

Единая система поддержки процесса разработки нефтегазовых месторождений

Темы лабораторных работ:

Лабораторная работа №1. Знакомство с Eclipse Office.

Лабораторная работа №2. Создание модели в Eclipse Office.

Лабораторная работа №3. Увязка результатов моделирования с данными по истории разработки.

Лабораторная работа №4. Создание сетки моделирования РЕВІ.

Лабораторная работа №5. Воспроизведение истории с использованием Eclipse Office и SimOpt.

Лабораторная работа №6. Моделирование линий тока.

Лабораторная работа №7. Добавление локального измельчения сетки.

Лабораторная работа №8. Использование корреляций свойств.

5. Учебно-методическое обеспечение и планирование самостоятельной работы обучающихся

Таблица 3

№ Темы	Темы	Формы СРС, включая требования к подготовке к занятиям
1	Основные этапы разработки месторождений	Чтение обязательной и дополнительной литературы
2	Знакомство с программным обеспечением	Проработка лекций
3	Программное обеспечение для гидродинамического моделирования	Чтение обязательной и дополнительной литературы
4	Выполнение лабораторных работ	Проработка лекций
5	Программное обеспечение для создания геологической модели	Чтение обязательной и дополнительной литературы
6	Выполнение лабораторных работ	Проработка лекций
7	Программное обеспечение для гидростатического моделирования	Чтение обязательной и дополнительной литературы
8	Выполнение лабораторных работ	Проработка лекций
9	Программное обеспечение для моделирования ГРП	Чтение обязательной и дополнительной литературы
10	Выполнение лабораторных работ	Проработка лекций
11	Интеллектуальные информационные технологии	Чтение обязательной и дополнительной литературы

12	Выполнение самостоятельной работы	Проработка лекций
13	Сопутствующие информационные технологии	Чтение обязательной и дополнительной литературы
14	Системы поддержки принятия решений	Чтение обязательной и дополнительной литературы
15	Комплексы программного обеспечения	Чтение обязательной и дополнительной литературы
16	Геоинформационные системы	Чтение обязательной и дополнительной литературы
17	Программное обеспечение для расчёта энергопотребления	Чтение обязательной и дополнительной литературы
18	Единая система поддержки процесса разработки нефтегазовых месторождений	Чтение обязательной и дополнительной литературы

6. Промежуточная аттестация по дисциплине

Форма промежуточной аттестации – зачет. Выполнение и защита лабораторных работ является необходимым условием успешного освоения дисциплины. По усмотрению преподавателя зачет может быть заменен защитой доклада. Промежуточная аттестация – доклад с рефератом по выбранной теме. Если студент выступает с докладом, показывает знания в рассматриваемой области и отвечает как минимум на 25% дополнительных вопросов, то ему ставится оценка «зачтено», в противном случае – «не зачтено». Если студент сделал доклад на занятиях в семестре и сдаёт все лабораторные работы и набирает более 61 балла, то он получает оценку «зачтено» автоматически. В ином случае на зачёте студент сдаёт долги по лабораторным работам и выступает с докладом с рефератом.

6.1 Оценочные материалы для проведения промежуточной аттестации по дисциплине

Доклад по выбранной теме. Студент выбирает тему по согласованию с преподавателем.

Примерные темы докладов:

1. Roxar Tempest.
2. Техсхема
3. OpenFOAM
4. Программы геологического моделирования
5. Программы гидродинамического моделирования

6.2 Критерии оценивания компетенций:

Таблица 4

Карта критериев оценивания компетенций

№ п/п	Код и наименование компетенции	Компонент (знаниевый/функциональный)	Оценочные материалы	Критерии оценивания
-------	--------------------------------	--------------------------------------	---------------------	---------------------

1.	Способность применять на практике профессиональные знания и умения, полученные при освоении профильных физических дисциплин (ПК-4)	<p>Знает</p> <ul style="list-style-type: none"> – избранные области экспериментальных и теоретических физических исследований; – методы измерений и исследований, основанные на различных физических эффектах. 	Лабораторные работы, доклад, зачёт	<p>Пороговый (удовл.)</p> <p>Знает</p> <p>основные понятия и законы, описывающие фазовое поведение индивидуальных веществ и многокомпонентных природных углеводородных систем</p> <p>Умеет</p> <p>разбираться в технологиях добычи нефти и газа</p>
		<p>Умеет</p> <ul style="list-style-type: none"> – создавать новые или работать с готовыми физическими моделями изучаемых объектов; – учитывать влияние внешних параметров, начальных и граничных условий на поведение моделей. 		<p>Базовый (хор.)</p> <p>Знает</p> <p>классические методы расчета фазового состояния многокомпонентных углеводородных систем нефтяных, газовых и газоконденсатных месторождений с использованием уравнений состояния</p> <p>Умеет</p> <p>применять основные понятия и методы термодинамики для описания индивидуальных веществ и многокомпонентных систем</p>
				<p>Повышенный (отл.)</p> <p>Знает</p> <p>методы разбиения компонентов углеводородных систем на фракции</p> <p>Умеет</p> <p>разбираться в технологиях добычи нефти и газа;</p>

				применять основные понятия и методы термодинамики для описания индивидуальных веществ и многокомпонентных систем
2.	Способность пользоваться современными методами обработки, анализа и синтеза физической информации в избранной области физических исследований (ПК-5)	<p>Знает</p> <ul style="list-style-type: none"> – методы обработки, анализа и синтеза физической информации; – специализированные пакеты прикладных программ. 	Лабораторные работы, доклад, зачёт	<p>Пороговый (удовл.)</p> <p>Знает Определение производной функции одной и нескольких переменных, понятие простейшего ДУ первого порядка</p> <p>Умеет Получать функциональную зависимость, отражающую рассматриваемый физический процесс</p>
		<p>Умеет</p> <ul style="list-style-type: none"> – анализировать экспериментальные и теоретические задачи с помощью специализированных пакетов прикладных программ. – интерпретировать полученные результаты с учетом границ применимости используемых моделей. 		<p>Базовый (хор.)</p> <p>Знает Определение производной функции одной и нескольких переменных, понятие дифференциального уравнения; определение различных систем координат; понятие начальных условий</p> <p>Умеет Строить простейшую математическую модель с помощью функциональной зависимости и с помощью дифференциального уравнения,</p>

				отражающую рассматриваемый физический процесс; задать начальные условия
				<p>Повышенный (отл.)</p> <p>Знает Определение производной функции одной и нескольких переменных, понятие дифференциального и интегрального уравнения; определение различных систем координат; понятие начальных условий; понятие граничных</p> <p>Умеет Получать функциональную зависимость, отражающую рассматриваемый физический процесс; уметь определить активные и реактивные силы; задать начальные и краевые условия в простейших математических моделях</p>

7. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

7.1 Основная литература:

1. Халид, Азиз Математическое моделирование пластовых систем / Азиз Халид, Сеттари Энтонин ; перевод А. В. Королев, В. П. Кестнер ; под редакцией М. М. Максимова. — 2-е изд. — Москва, Ижевск : Институт компьютерных исследований, 2019. — 411 с. — ISBN 978-5-4344-0602-4. — Текст : электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS : [сайт]. — URL: <http://www.iprbookshop.ru/92050.html> (дата обращения: 19.05.2020). — Режим доступа: для авторизир. пользователей

7.2 Дополнительная литература:

1. Каирбеков, Ж. К. Новые технологии добычи и переработки полезных ископаемых / Ж. К. Каирбеков, Н. Жалгасулы, Е. А. Аубакиров. — Алматы : Казахский национальный университет им. аль-Фараби, 2014. — 224 с. — ISBN 978-601-04-0650-6. — Текст : электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS : [сайт]. — URL: <http://www.iprbookshop.ru/58717.html> (дата обращения: 19.05.2020). — Режим доступа: для авторизир. пользователей

2. Подземная гидромеханика / К. С. Басниев, Н. М. Дмитриев, Р. Д. Каневская, В. М. Максимов. — 2-е изд. — Москва, Ижевск : Институт компьютерных исследований, 2019. — 488 с. — ISBN 978-5-4344-0605-5. — Текст : электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS : [сайт]. — URL: <http://www.iprbookshop.ru/91980.html> (дата обращения: 19.05.2020). — Режим доступа: для авторизир. пользователей

7.3 Интернет-ресурсы:

1. Электронная международная библиотека статей на нефтегазовую тематику OnePetro <https://www.onepetro.org/>.

2. Электронная библиотека Попечительского совета механико-математического факультета Московского государственного университета <http://lib.mexmat.ru>

3. eLIBRARY – Научная электронная библиотека (Москва) <http://elibrary.ru/>

7.4 Современные профессиональные базы данных и информационные справочные системы:

Не предусмотрено использование в данной дисциплине.

8. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине

Лицензионное ПО: Для лабораторных работ необходим пакет программ tNavigator, пакет программ Microsoft Office, для случаев дистанционной формы обучения – Microsoft Teams.

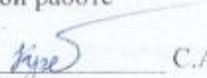
• **Свободно распространяемое ПО, в том числе отечественного производства:** программа для запуска виртуальной машины Oracle VM VirtualBox.

9. Технические средства и материально-техническое обеспечение дисциплины

Лекционная аудитория с мультимедийным оборудованием, компьютерный класс для лабораторных занятий.

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«ТЮМЕНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

УТВЕРЖДАЮ
Заместитель директора
Физико-технического института по
учебной работе


С.А. Креков
23.06.2021

ФИЗИКА НЕФТЯНОГО И ГАЗОВОГО ПЛАСТА 3
Рабочая программа
для обучающихся по направлению подготовки
03.03.02 Физика
Профиль: Фундаментальная физика
очная форма обучения

Кадочникова Л. М., Вольф А. А. Физика нефтяного и газового пласта 3. Рабочая программа для обучающихся по направлению подготовки 03.03.02 Физика: Фундаментальная физика, форма обучения очная. Тюмень, 2021.

Рабочая программа дисциплины опубликована на сайте ТюмГУ: Физика нефтяного и газового пласта 2 [электронный ресурс] / Режим доступа: <https://www.utmn.ru/sveden/education/#>.

Рабочая программа дисциплины (модуля) включает следующие разделы:

1. Пояснительная записка

Актуальность: Для решения задач эффективной разработки месторождений УВ необходимы знания свойств горных пород, их взаимодействия с углеводородами различного фазового состояния, процессов фильтрации углеводородов и воды в пористых средах, оптимальных условий извлечения углеводородов. Дисциплина «Физика нефтяного и газового пласта 2» помогает ориентироваться в закономерностях поведения системы порода–углеводороды, предвидеть возможные отклонения ее поведения в реальной природной обстановке и предлагать оптимальные решения для повышения эффективности разработки месторождений.

Цель: дать представление о физической основе нефтяных газовых и газоконденсатных резервуаров и о закономерностях вытеснения углеводородных жидкостей при разработке месторождений, о нефтеотдаче пластов.

Задачи: изучить вопросы, касающиеся физики процессов движения флюидов в пластах коллекторах и принципов вытеснения нефти и газа на основе естественных и искусственных систем поддержания пластового давления. изучить молекулярно-поверхностные явления в пластах - коллекторах, закономерности проявления поверхностных сил при взаимодействии закачиваемых агентов (воды, газа) для вытеснения нефти и газа.

Результатом обучения является формирование у студентов представлений о физике нефтяного и газового пластов.

Курс состоит из трех частей:

1. Основы петрофизики. Лабораторные исследования керна и флюидов
2. Гидродинамические исследования скважин
3. Моделирование процессов фильтрации в пористых средах. Система уравнений фильтрации. Уравнения материального баланса.

Дисциплина «Физика нефтяного и газового пласта» формирует у студентов представление о круге современных задач, решаемых при разработке и эксплуатации нефтяных и газовых месторождений, а также о методах их решения. Сложность математических моделей фильтрации нефти в неоднородных пластах, а также значительный объем геологической и промышленной информации предопределяет использование современных вычислительных методов и информационных технологий при решении поставленных задач. При изучении дисциплины студент знакомится с этапами построения гидродинамической модели месторождения и практическим моделированием процессов фильтрации в нефтяном пласте на современных гидродинамических симуляторах.

Решение практических задач формирует у студентов навыки построения математических моделей месторождений и анализа полученных решений. При этом непосредственно используются современные технологии трехмерной визуализации строения пласта и потоков жидкости. Чтение курса предполагает использование мультимедийных средств обучения для демонстрации геологических карт, диаграмм состояния флюидов, перетоков жидкости. Особенно эффективны средства мультимедиа для демонстрации потоков в режиме анимации. Обучение на практических занятиях строится на основе использования специализированных программ гидродинамического моделирования (Eclips, Moge и т.п.). Практические задания представляют собой мини-проекты, требующие той или иной корректировки, либо создаваемые студентом самостоятельно.

1.1. Место дисциплины в структуре образовательной программы

Данная дисциплина входит в блок Б1 Дисциплины, дисциплина по выбору, изучается в 7 семестре.

Знания, полученные в ходе изучения дисциплины «Физика нефтяного и газового пласта 2» необходимы для подготовки и написания выпускной квалификационной работы.

1.2. Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения данной дисциплины

В результате освоения дисциплины обучающийся должен обладать следующими компетенциями:

Код и наименование компетенции (из ФГОС ВО)	Код и наименование части компетенции	Планируемые результаты обучения: (знаниевые/функциональные)
Способность формировать новые направления научных исследований и опытно-конструкторских разработок (ПК-3)	-	Знает – специализированные разделы физики; – проблематику отрасли, на которой специализируется образовательная программа.
		Умеет – выделять и ставить задачи, решаемые в рамках доступных приближений и ресурсов; – пользоваться прикладными методами расчета физико-математических моделей.

2. Структура и объем дисциплины

Таблица 1

Вид учебной работы		Всего часов	Часов в семестре
			8
Общая трудоемкость	зач. ед.	4	4
	час	144	144
Из них:			
Часы аудиторной работы (всего):		144	144
Лекции		24	24
Практические занятия		0	0
Лабораторные / практические занятия по подгруппам		48	48
Консультации и иная контактная работа		20	20
Часы внеаудиторной работы, включая самостоятельную работу обучающегося		52	52
Вид промежуточной аттестации (зачет, диф. зачет, экзамен)			Экзамен

3. Система оценивания

Экзамен по дисциплине.

Экзамен проводится в устной форме. В билете 2 вопроса и задача. При получении в ходе текущего контроля среднего балла больше или равного 61 студент освобождается от решения задачи. Устная часть экзамена оценивает полученные знания по дисциплине путем собеседования с преподавателем.

При текущем контроле учитывается несколько видов деятельности обучающихся:

- активность на семинарах (0 – 30 баллов);
- выполнение домашних заданий (0 – 35 балл);
- контрольные работы (0 – 35 балла);

Активность на семинаре включает в себя решение задач у доски, участие в решении задачи «с места», решение задач опережающими темпами и т.д.

Выполнение домашних заданий подразумевает проверку в начале занятия наличия выполненных заданий.

В случае, если сумма баллов составляет не менее 61, и студент согласен с итоговой оценкой, ему выставляется оценка согласно шкале перевода:

- от 61 до 75 баллов – «удовлетворительно»;
- от 76 до 90 баллов – «хорошо»;
- от 91 до 100 баллов – «отлично».

В случае, если студент набрал менее 61 балла или не согласен с итоговой оценкой, ему предоставляется право сдавать экзамен, и оценка выставляется непосредственно по результатам экзамена.

4. Содержание дисциплины

4.1. Тематический план дисциплины

Таблица 2

№ п/п	Наименование тем и/или разделов	Объем дисциплины (модуля), час.				
		Всего	Виды аудиторной работы (академические часы)			Иные виды контактной работы
			Лекции	Практические занятия	Практические занятия по подгруппам	
1	2	3	4	5	6	7
1	Задание кривых капиллярного давления	6	2	0	0	0
2	Гистерезис кривых капиллярного давления. Функция Леверетта.	6	2	0	0	0
3	Анализ чувствительности модели. Прогнозирование и оптимизация работы скважин.	6	0	0	4	0
4	Уравнения состояния воды, нефти и газа. Объемный	6	2	0	0	0

	коэффициент, газосодержание.					
5	Процессы фазовых переходов, растворения газа в жидкости и их описание. Комбинации фаз. Понятие мертвой, живой, черной нефти. Настройка симулятора на существующие фазовые переходы	6	2	0	0	0
6	Моделирование работы нефтяного месторождения. Оптимизация расположения скважин	6	0	0	4	0
7	Инициализация модели. Задание опорной точки. Опции вертикального равновесия.	6	2	0	0	0
8	Описание водоносных пластов. Численные и аналитические модели притока законтурных вод.	6	2	0	0	0
9	Оптимизация режимов работы скважин.	6	0	0	4	0
10	Задание местоположения и дебитов скважин.	6	2	0	0	0
11	Управление режимами работы скважин. Экономические ограничения на работу скважин, групп и месторождения в целом.	6	2	0	0	0
12	Системы поддержания пластового давления. Оптимизация режимов работы системы поддержания пластового давления	6	0	0	4	0

13	Воспроизведение истории разработки месторождения.	6	2	0	0	0
14	Прогнозирование и оптимизация работы месторождения	6	2	0	0	0
15	Построение модели газового месторождения. Прогнозирование и оптимизация добычи газового месторождения	6	0	0	4	0
16	Режимы разработки нефтяных месторождений. Системы поддержания пластового давления.	6	2	0	0	0
17	Режимы разработки газовых и газоконденсатных месторождений. Схемы расстановки скважин. Основные характеристики схем расстановки.	6	2	0	0	0
18	Построение модели газоконденсатного месторождения. Оптимизация работы газоконденсатного месторождения	4	0	0	4	0
	Итого (часов, семестр 8)	108	24	0	24	2*

* – учитывает контактную работу на консультацию перед экзаменом

4.2. Содержание дисциплины по темам

1. Задание кривых капиллярного давления
2. Гистерезис кривых капиллярного давления. Функция Леверетта.
3. Анализ чувствительности модели. Прогнозирование и оптимизация работы скважин. (Анализ чувствительности модели и ее адаптация по данным истории добычи. Прогнозирование и оптимизация работы скважин. Экономические ограничения на работу скважин.)
4. Уравнения состояния воды, нефти и газа. Объемный коэффициент, газосодержание.
5. Процессы фазовых переходов, растворения газа в жидкости и их описание. Комбинации фаз. Понятие мертвой, живой, черной нефти. Настройка симулятора на существующие фазовые переходы
6. Моделирование работы нефтяного месторождения. Оптимизация расположения скважин

- (Режимы разработки нефтяных месторождений. Системы поддержания пластового давления. Оптимизация расположения скважин)
7. Инициализация модели. Задание опорной точки. Опции вертикального равновесия.
 8. Описание водоносных пластов. Численные и аналитические модели притока законтурных вод.
 9. Оптимизация режимов работы скважин.
 10. Задание местоположения и дебитов скважин.
 11. Управление режимами работы скважин. Экономические ограничения на работу скважин, групп и месторождения в целом.
 12. Системы поддержания пластового давления. Оптимизация режимов работы системы поддержания пластового давления.
 13. Воспроизведение истории разработки месторождения.
 14. Прогнозирование и оптимизация работы месторождения.
 15. Построение модели газового месторождения. Прогнозирование и оптимизация добычи газового месторождения.
 16. Режимы разработки нефтяных месторождений. Системы поддержания пластового давления.
 17. Режимы разработки газовых и газоконденсатных месторождений. Схемы расстановки скважин. Основные характеристики схем расстановки.
 18. Построение модели газоконденсатного месторождения. Оптимизация работы газоконденсатного месторождения.

5. Учебно-методическое обеспечение и планирование самостоятельной работы обучающихся
Таблица 3

№ Темы	Темы	Формы СРС, включая требования к подготовке к занятиям
	8 семестр	
1	Задание кривых капиллярного давления	Чтение обязательной и дополнительной литературы
2	Гистерезис кривых капиллярного давления. Функция Леверетта.	Чтение обязательной и дополнительной литературы
3	Анализ чувствительности модели. Прогнозирование и оптимизация работы скважин.	Проработка лекций
4	Уравнения состояния воды, нефти и газа. Объемный коэффициент, газосодержание.	Чтение обязательной и дополнительной литературы
5	Процессы фазовых переходов, растворения газа в жидкости и их описание. Комбинации фаз. Понятие мертвой, живой, черной нефти. Настройка симулятора на существующие фазовые переходы	Чтение обязательной и дополнительной литературы
6	Моделирование работы нефтяного месторождения. Оптимизация расположения скважин	Проработка лекций
7	Инициализация модели. Задание опорной точки. Опции вертикального равновесия.	Чтение обязательной и дополнительной литературы
8	Описание водоносных пластов. Численные и аналитические модели притока законтурных вод.	Чтение обязательной и дополнительной литературы
9	Оптимизация режимов работы скважин.	Проработка лекций
10	Задание местоположения и дебитов скважин.	Чтение обязательной и дополнительной литературы

11	Управление режимами работы скважин. Экономические ограничения на работу скважин, групп и месторождения в целом.	Чтение обязательной и дополнительной литературы
12	Системы поддержания пластового давления. Оптимизация режимов работы системы поддержания пластового давления	Проработка лекций
13	Воспроизведение истории разработки месторождения.	Чтение обязательной и дополнительной литературы
14	Прогнозирование и оптимизация работы месторождения	Чтение обязательной и дополнительной литературы
15	Построение модели газового месторождения. Прогнозирование и оптимизация добычи газового месторождения	Проработка лекций
16	Режимы разработки нефтяных месторождений. Системы поддержания пластового давления.	Чтение обязательной и дополнительной литературы
17	Режимы разработки газовых и газоконденсатных месторождений. Схемы расстановки скважин. Основные характеристики схем расстановки.	Чтение обязательной и дополнительной литературы
18	Построение модели газоконденсатного месторождения. Оптимизация работы газоконденсатного месторождения	Проработка лекций

6. Промежуточная аттестация по дисциплине

Экзаменационную оценку возможно получить автоматически, при условии, что:

- количество баллов, полученных в течение семестра, составляет 61% от максимально возможного при усвоении дисциплины – оценка "удовлетворительно";
- количество баллов, полученных в течение семестра, составляет 76% от максимально возможного при усвоении дисциплины – оценка "хорошо".

Если студент желает повысить оценку или претендует на оценку "отлично", то он сдает экзамен в устной форме.

Экзаменационный билет, содержит 2 теоретических вопроса и задачу.

Ответы на экзаменационный билет оцениваются по следующим критериям:

- "отлично" - студент дал полный ответ на теоретические вопросы, правильно решил задачу, продемонстрировал взаимосвязь теоретических основ оптических явлений и практики;
- "хорошо" - студент показал систематические знания по дисциплине, способность применять их для решения практических задач, но имеются недочеты в ответах и решениях;
- "удовлетворительно" - студент имеет представления об основных оптических явлениях и законах, однако недостаточно владеет теоретическим материалом, в ответах и решениях допускает ошибки, которые может исправить под руководством преподавателя;
- "неудовлетворительно" - студент не имеет систематических знаний в области оптики, слабо разбирается в теоретических и практических вопросах, допускает принципиальные ошибки в ответах и решениях.

Обязательным условием сдачи экзамена на "отлично" является написание контрольных работ по дисциплине на 90% (или более) баллов.

6.1 Оценочные материалы для проведения промежуточной аттестации по дисциплине

Примерные вопросы к экзамену:

1. Основные уравнения одно–двух-трехфазной фильтрации в сжимаемых породах.
2. Уравнения притока к скважине жидкости и газа.
3. Система уравнений и граничных условий, описывающих процесс движения нефти и газа в пласте.
4. Понятие о численных методах решения уравнений в частных производных. Переход к конечно-разностным уравнениям.
5. Явный и неявный методы решения систем уравнений фильтрации. Сходимость и численная погрешность.
6. Задание исходных данных моделирования в гидродинамическом симуляторе.
7. Способы геометрического описания месторождения.
8. Равномерные и неравномерные сетки. Влияние ориентации сетки на решение.
9. Выбор граничных условий. Несоседние соединения.
10. Задание физических свойств породы в ячейках. Основные ключевые слова гидродинамического симулятора.
11. Методы усреднения свойств пласта при переходе от геологической сетки к гидродинамической..
12. Кривые капиллярного давления. Функция Леверетта.
13. Относительная фазовая проницаемость. Ее задание. Масштабирование конечных точек кривых ОФП.
14. Задание ОФП в случае трехфазной системы. Модели Стоуна
15. Уравнения состояния воды, нефти и газа. Модель черной нефти.
16. Растворимость фаз. Газосодержание. «Мертвая» и «живая» нефть, ее описание.
17. Методы инициализации модели (давление на опорной глубине, перечисление). Описание переходных зон.
18. Способы описания водоносных горизонтов. Понятие о численной и аналитической модели притока законтурной воды. Модели Фетковича и Картера-Трэйси.
19. Начальная инициализация в модели при гидродинамическом моделировании.
20. Описание скважин и режимов их работы в гидродинамической модели.
21. Воспроизведение истории разработки.
22. Анализ чувствительности модели и ее адаптация по данным истории добычи.
23. Прогнозирование и оптимизация работы скважин. Экономические ограничения на работу скважин.
24. Режимы разработки нефтяных месторождений. Системы поддержания пластового давления.
25. Режимы разработки газовых и газоконденсатных месторождений.
26. Схемы расстановки скважин. Их характеристики
27. Моделирование методов воздействия на пласт

6.2 Критерии оценивания компетенций:

Таблица 4

Карта критериев оценивания компетенций

№ п/п	Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенций, соотнесенные с планируемыми результатами обучения	Оценочные материалы	Критерии оценивания
1	ПК-3	<p>Пороговый (удовл.) Знает: основные понятия и законы, описывающие фазовое поведение индивидуальных веществ и многокомпонентных природных углеводородных систем; Умеет: разбираться в технологиях добычи нефти и газа</p> <p>Базовый (хор.) Знает: специализированные разделы физики; Умеет: выделять и ставить задачи, решаемые в рамках доступных приближений и ресурсов;</p> <p>Повышенный (отл.) Знает: проблематику отрасли, на которой специализируется образовательная программа. Умеет: пользоваться прикладными методами расчета физико-математических моделей.</p>	Контрольная работа	Полнота и правильность решения задач контрольной работ

7. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины (модуля)

7.1 Основная литература:

1. Физико-математическое моделирование: учебное пособие / А. Б. Шабаров [и др.]; ред.: В. Н. Антипов, Ю. Д. Земенков; Тюм. гос. ун-т, Ин-т физики и химии. — Тюмень: Изд-во Тюм. гос. ун-та, 2014. — 2-Лицензионный договор №222/2016-03-02; 2-Лицензионный договор №222/1/2016-03-02; 2-Лицензионный договор №222/2/2016-03-02; 2-Лицензионный договор №222/3/2016-03-02; 2-Лицензионный договор №222/4/2016-03-02. — Доступ по паролю из сети Интернет (чтение). — <URL:

[https://library.utmn.ru/dl/PPS/Shabarov_Primakov_222_222\(1\)_Fiziko_matemat_model_UP_2014.pdf](https://library.utmn.ru/dl/PPS/Shabarov_Primakov_222_222(1)_Fiziko_matemat_model_UP_2014.pdf)> (дата обращения: 29.05.2020).

2. Шадрина, А. В. Основы нефтегазового дела / А. В. Шадрина, В. Г. Крец. — 3-е изд. — Москва : Интернет-Университет Информационных Технологий (ИНТУИТ), Ай Пи Эр Медиа, 2019. — 213 с. — ISBN 978-5-4486-0516-1. — Текст : электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS : [сайт]. — URL: <http://www.iprbookshop.ru/79709.html> (дата обращения: 29.05.2020). — Режим доступа: для авторизир. пользователей

7.2 Дополнительная литература:

1. Каневская, Р. Д. Математическое моделирование гидродинамических процессов разработки месторождений углеводородов / Р. Д. Каневская. — Москва, Ижевск : Институт компьютерных исследований, 2019. — 128 с. — ISBN 978-5-4344-0797-7. — Текст : электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS : [сайт]. — URL: <http://www.iprbookshop.ru/92049.html> (дата обращения: 29.05.2020). — Режим доступа: для авторизир. пользователей
2. Подземная гидромеханика / К. С. Басниев, Н. М. Дмитриев, Р. Д. Каневская, В. М. Максимов. — 2-е изд. — Москва, Ижевск : Институт компьютерных исследований, 2019. — 488 с. — ISBN 978-5-4344-0605-5. — Текст : электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS : [сайт]. — URL: <http://www.iprbookshop.ru/91980.html> (дата обращения: 29.05.2020). — Режим доступа: для авторизир. пользователей
3. Федоров, Константин Михайлович. Фильтрационные течения с физико-химическими превращениями в задачах нефтегазовой механики: учебное пособие / К. М. Федоров, Н. Г. Мусакаев, Татьяна Анатольевна Кремлева. — Тюмень: Изд-во Тюм. гос. ун-та, 2017. — 2-Лицензионный договор № 572/2017-12-01. — Доступ по паролю из сети Интернет (чтение). — <URL:https://library.utmn.ru/dl/PPS/Fedorov_Musakaev_Kremleva_572_UP_2017.pdf> (дата обращения: 29.05.2020).
4. Физико-математическое моделирование: учебное пособие / А. Б. Шабаров [и др.]; рец.: В. Н. Антипов, Ю. Д. Земенков; Тюм. гос. ун-т, Ин-т физики и химии. — Тюмень: Изд-во Тюм. гос. ун-та, 2014. — 2-Лицензионный договор №222/2016-03-02; 2-Лицензионный договор №222/1/2016-03-02; 2-Лицензионный договор №222/2/2016-03-02; 2-Лицензионный договор №222/3/2016-03-02; 2-Лицензионный договор №222/4/2016-03-02. — Доступ по паролю из сети Интернет (чтение). — <URL:[https://library.utmn.ru/dl/PPS/Shabarov_Primakov_222_222\(1\)_Fiziko_matemat_model_U_P_2014.pdf](https://library.utmn.ru/dl/PPS/Shabarov_Primakov_222_222(1)_Fiziko_matemat_model_U_P_2014.pdf)> (дата обращения: 29.05.2020).

7.3 Интернет-ресурсы:

1. Электронная библиотека Попечительского совета механико-математического факультета Московского государственного университета <http://lib.mexmat.ru>
2. eLIBRARY – Научная электронная библиотека (Москва) <http://elibrary.ru/>

7.4 Современные профессиональные базы данных и информационные справочные системы:

Не предусмотрено использование в данной дисциплине.

8. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине (модулю):

Лицензионное ПО: необходим пакет программ Microsoft Office, необходимо наличие программного обеспечения tNavigator, в случае дистанционной формы обучения – Microsoft Teams.

9. Технические средства и материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля)

(указывается в соответствии с ФГОС ВО)

Лекционная аудитория с мультимедийным оборудованием, компьютерный класс для практических занятий.

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«ТЮМЕНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

УТВЕРЖДАЮ
Заместитель директора
Физико-технического института
по учебной работе


С.А. Крекон
23.06.2021

ПРИРОДОВОДОХНОВЛЕННЫЕ МАТЕРИАЛЫ
Рабочая программа
для обучающихся по направлениям подготовки
03.03.02 Физика, 16.03.01 Техническая физика
для всех профилей подготовки
форма обучения очная

1. Планируемые результаты освоения дисциплины

1.1. Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения данной дисциплины:

- для направления подготовки 03.03.02 Физика: ПК-2;
- для направления подготовки 16.03.01 Техническая физика: ПК-2.

1.2. Индикаторы достижения компетенций, соотнесенные с планируемыми результатами обучения:

Знания:

- специализированные разделы физики «Механика», «Молекулярная физика», «Электричество и магнетизм», «Оптика», «Физика атома, атомного ядра и элементарных частиц» для освоения профильных физических дисциплин;
- современные алгоритмы и пакеты компьютерных программ для теоретических физических исследований природовдохновленных материалов.

Умения:

- использовать специализированные знания в области физики твердого тела, наноструктур, атомной и молекулярной физики;
- использовать современные алгоритмы и пакеты компьютерных программ для теоретических физических исследований природовдохновленных материалов.

Навыки:

- физико-математического анализа функциональных свойств природовдохновленных материалов;
- подбора современных компьютерных программ для моделирования физических свойств природовдохновленных материалов;
- разработка рекомендаций применения природовдохновленных материалов в приборостроении, биологии и медицине.

2. Структура и трудоемкость дисциплины

Таблица 1

Вид учебной работы		Всего (ак.ч.)	Кол-во часов в семестре (ак.ч.)
			5 семестр
Общая трудоемкость	зач. ед.	5	5
	ак.ч.	180	180
Из них:			
Часы аудиторной работы (всего):		86	86
Лекции		34	34
Практические занятия		52	52
Лабораторные / практические занятия по подгруппам		0	0
Часы внеаудиторной работы, включая консультации, иную контактную работу и самостоятельную работу обучающегося		94	94
Вид промежуточной аттестации			Экзамен

3. Содержание дисциплины

Таблица 2

№	Тематика учебных встреч	Виды аудиторной работы (в ак.час.)			Итого аудиторных ак. часов по теме
		Лекции	Практические занятия	Лабораторные / практические занятия по подгруппам	
1	2	3	4	5	6
Лекции					
1.	Введение в природовдохновенный подход в науке	4	0	0	4
2.	Природовдохновенные эффекты: растительные поверхности и физика смачивания	4	0	0	4
3.	Природовдохновенные эффекты: микроструктурированные поверхности	2	0	0	2
4.	Природовдохновенные эффекты: пористые природовдохновенные материалы	4	0	0	4
5.	Природовдохновенные эффекты: физика пористых материалов	4	0	0	4
6.	Мемристорные материалы	4	0	0	4
7.	Получение мемристорных материалов	2	0	0	2
8.	Природовдохновенные композитные материалы	2	0	0	2
9.	Физика природовдохновенных композитных материалов	4	0	0	4
10.	Физика разупорядоченных природовдохновенных композитов	4	0	0	4
Практические занятия					
11.	Общий подход к разработке новых природовдохновенных технологий	0	2	0	2
12.	Собственный природовдохновенный материал	0	2	0	2
13.	Проработка лекционного материала. Функциональные виды природных растительных поверхностей	0	2	0	2
14.	Решение задач. Расчет углов смачивания гетерогенных и шероховатых поверхностей	0	2	0	2
15.	Решение задач. Расчет равновесных форм капель на сложных поверхностях. Уравнение Янга-Лапласа	0	2	0	2
16.	Анализ изображения среза пористого материала и распознавание пор с помощью компьютерных алгоритмов	0	2	0	2
17.	Вывод уравнений фильтрационной гидродинамики	0	2	0	2

18.	Моделирование фильтрационного течения на основании уравнения Буссинеска. Задача о распространении загрязнения в пористой среде	0	2	0	2
19.	Моделирование течения в пористой среде при низком числе Re с помощью программного пакета COMSOL Multiphysics	0	4	0	4
20.	Моделирования течения в нанопористой среде с учетом размерных эффектов в COMSOL Multiphysics	0	4	0	4
21.	Моделирование вольт-амперной характеристики мемристорного материала	0	4	0	4
22.	Решение задач. Собственный природовдохновленный материал. Преимущества подхода с использованием композитных материалов	0	4	0	4
23.	Решение задач по физике композитных материалов. Электрическая проводимость нанокompозитов на постоянном токе	0	4	0	4
24.	Моделирование простых тепловых свойств и электрических свойств композитных материалов с использованием COMSOL Multiphysics	0	4	0	4
26.	Физика композитных материалов. Электрическая проводимость на переменном токе. Понятие о годографах импеданса и эквивалентных схемах	0	4	0	4
27.	Моделирование и анализ импеданс-спектров нанокompозита и построение эквивалентных схем	0	4	0	4
28.	Моделирование перколяционных явлений. Алгоритмы распознавания кластера. Континуальная перколяция	0	4	0	4
	Итого (ак.часов)	34	52	0	86

4. Система оценивания

Обучающиеся, не набравшие 61 балла в течение семестра или не согласные с оценкой, полученной по итогам текущего контроля в семестре, проходят промежуточную аттестацию в форме экзамена.

При проведении промежуточной аттестации результаты, полученные обучающимся в семестре, переводятся в формат традиционной оценки в соответствии со шкалой перевода баллов:

- 60 баллов и менее – «неудовлетворительно»;
- от 61 до 75 баллов – «удовлетворительно»;
- от 76 до 90 баллов – «хорошо»;
- от 91 до 100 баллов – «отлично».

5. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

5.1. Литература:

1. Лозовский, В. Н. Нанотехнологии в электронике. Введение в специальность: учебное пособие / В. Н. Лозовский, С. В. Лозовский. — 2-е изд., стер. — Санкт-Петербург: Лань, 2019. — 332 с. — ISBN 978-5-8114-3986-7. — Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная

- система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/113943> (дата обращения: 04.11.2022). — Режим доступа: для авториз. пользователей.
2. Поленов, Ю. В. Физико-химические основы нанотехнологий: учебник / Ю. В. Поленов, Е. В. Егорова. — Санкт-Петербург: Лань, 2019. — 180 с. — ISBN 978-5-8114-4113-6. — Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/125699> (дата обращения: 04.11.2022). — Режим доступа: для авториз. пользователей.
 3. Бондаренко, Г. Г. Материаловедение: учебник для вузов / Г. Г. Бондаренко, Т. А. Кабанова, В. В. Рыбалко; под редакцией Г. Г. Бондаренко. — 2-е изд. — Москва: Издательство Юрайт, 2022. — 327 с. — (Высшее образование). — ISBN 978-5-534-07090-3. — Текст: электронный // Образовательная платформа Юрайт [сайт]. — URL: <https://urait.ru/bcode/488861> (дата обращения: 04.11.2022).
 4. Витязь, П. А. Основы нанотехнологий и наноматериалов: учебное пособие / П. А. Витязь, Н. А. Свидуневич. — Минск: Вышэйшая школа, 2010. — 302 с. — ISBN 978-985-06-1783-5. — Текст: электронный // Цифровой образовательный ресурс IPR SMART: [сайт]. — URL: <https://www.iprbookshop.ru/20108.html> (дата обращения: 04.11.2022). — Режим доступа: для авторизир. пользователей.
 5. Слярова, Е. А. Компьютерное моделирование физических явлений: учебное пособие / Е. А. Слярова, В. М. Малютин. — Томск: Томский политехнический университет, 2012. — 152 с. — ISBN 978-5-4387-0119-4. — Текст: электронный // Цифровой образовательный ресурс IPR SMART: [сайт]. — URL: <https://www.iprbookshop.ru/34668.html> (дата обращения: 04.11.2022). — Режим доступа: для авторизир. пользователей.
 6. Шепелевич, В. Г. Физика металлов и металловедение: лабораторный практикум. Учебное пособие / В. Г. Шепелевич. — Минск: Вышэйшая школа, 2012. — 166 с. — ISBN 978-985-06-2191-7. — Текст: электронный // Цифровой образовательный ресурс IPR SMART: [сайт]. — URL: <https://www.iprbookshop.ru/20291.html> (дата обращения: 04.11.2022). — Режим доступа: для авторизир. пользователей.

5.2. Электронные образовательные ресурсы:

1. Азаренков, Н. А. Наноматериалы, нанопокрyтия, нанотехнологии. Учебное пособие / Н. А. Азаренков, В. М. Береснев, А. Д. Погребняк и др. — Харьков: ХНУ им. В.Н. Каразина, 2009. — 209 с. URL: https://ftfsite.ru/wp-content/files/azarenkov_n_a_beresnev_v_m_pogreb.pdf (дата обращения: 04.11.2022).
2. Gould, H. An introduction to computer simulation methods: Applications to physical systems / H. Gould, J. Tobochnik, W. Christian W. — San Francisco: Pearson Addison Wesley, 2007. — 796 p. URL: <https://www.compadre.org/osp/items/detail.cfm?ID=7375> (date of the application: 04.11.2022).

6. Современные профессиональные базы данных и информационные справочные системы:

База данных IPR Books. — <https://www.iprbookshop.ru/>
 Образовательная платформа Юрайт. — <https://urait.ru/>
 Электронно-библиотечная система Лань. — <https://e.lanbook.com/>
 Научная электронная библиотека eLIBRARY.RU. — <https://elibrary.ru/defaultx.asp>

7. Лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение, в том числе отечественного производства

Пакет программ Microsoft Office, Microsoft Teams.

Для проведения практических занятий требуется программное обеспечение COMSOL Multiphysics, Wolfram Mathematica и Jupyter Notebook.

8. Технические средства и материально-техническое обеспечение дисциплины

Мультимедийная учебная аудитория для проведения занятий лекционного типа оснащена следующими техническими средствами обучения и оборудованием: учебная мебель, доска аудиторная, мультимедийное проекционное и акустическое оборудование, персональный компьютер.

Учебная аудитория для проведения занятий семинарского типа оснащена следующими техническими средствами обучения и оборудованием: учебная мебель, доска аудиторная, персональные компьютеры для преподавателя и студентов.

Аудитория для самостоятельной работы оснащена следующими техническими средствами обучения и оборудованием: учебная мебель, доска аудиторная, мультимедийное проекционное и акустическое оборудование, персональные компьютеры.

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«ТЮМЕНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

УТВЕРЖДАЮ
Заместитель директора
Физико-технического института
по учебной работе


23.06.2021 С.А. Креков

ТЕХНОЛОГИЯ И ДИАГНОСТИКА ПРИРОДОВОДОХНОВЛЕННЫХ НАНОМАТЕРИАЛОВ
Рабочая программа
для обучающихся по направлениям подготовки
03.03.02 Физика, 16.03.01 Техническая физика
для всех профилей подготовки
форма обучения очная

1. Планируемые результаты освоения дисциплины

1.1. Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения данной дисциплины:

- для направления подготовки 03.03.02 Физика: ПК-3;
- для направления подготовки 16.03.01 Техническая физика: ПК-2.

1.2. Индикаторы достижения компетенций, соотнесенные с планируемыми результатами обучения:

Знания:

- специализированных разделов физики «Механика», «Молекулярная физика», «Электричество и магнетизм», «Оптика», «Физика атома, атомного ядра и элементарных частиц» для освоения профильных физических дисциплин;
- современной приборной базы для исследования наноматериалов, в том числе сложного аналитического оборудования.

Умения:

- использовать специализированные знания в области физики твердого тела, наноструктур, атомной и молекулярной физики;
- проводить научные исследования наноматериалов с помощью современной приборной базы, в том числе сложного аналитического оборудования.

Навыки:

- применения пучково-плазменных технологий для создания природоподобных наноматериалов;
- проведения диагностики наноматериалов с помощью современной приборной базы, в том числе сложного аналитического оборудования.

2. Структура и трудоемкость дисциплины

Таблица 1

Вид учебной работы		Всего (ак.ч.)	Кол-во часов в семестре (ак.ч.)
			6 семестр
Общая трудоемкость	зач. ед.	5	5
	ак.ч.	180	180
Из них:			
Часы аудиторной работы (всего):		86	86
Лекции		34	34
Практические занятия		0	0
Лабораторные / практические занятия по подгруппам		52	52
Часы внеаудиторной работы, включая консультации, иную контактную работу и самостоятельную работу обучающегося		94	94
Вид промежуточной аттестации			Экзамен

3. Содержание дисциплины

Таблица 2

№	Тематика учебных встреч	Виды аудиторной работы (в ак.час.)			Итого аудиторных ак. часов по теме
		Лекции	Практические занятия	Лабораторные/ практические занятия по подгруппам	
1	2	3	4	5	6
Лекции					
1.	Современное оборудование для пучково-плазменных технологий	2	0	0	2
2.	Аналитическое оборудование для исследования природовдохновенных наноматериалов	4	0	0	4
3.	Пучково-плазменные технологии	4	0	0	4
4.	Нанотехнологический комплекс «НаноФаб-100»	4	0	0	4
5.	Технология изготовления обучаемого наноматериала из оксида металла	4	0	0	4
6.	Технология изготовления мемристора – аналога живого синапса	4	0	0	4
7.	Технология изготовления мемристорно-диодного массива для биоморфного нейропроцессора	4	0	0	4
8.	Технология создания стекловолокнистых катализаторов для экологически чистой утилизации жидких углеводородных отходов и шламов	4	0	0	4
9.	Технология изготовления микрофлюидного чипа – аналога природного фильтра воды	4	0	0	4
Лабораторные работы					
10.	Лабораторная работа 1. Получение первого изображения на сканирующем зондовом микроскопе (СЗМ). Обработка и представление результатов эксперимента	0	0	4	4
11.	Лабораторная работа 2. Исследование материалов методом атомно-силовой микроскопии (АСМ) в контактном режиме	0	0	4	4
12.	Лабораторная работа 3. Исследование материалов методом АСМ в полуконтактном режиме	0	0	4	4
13.	Лабораторная работа 4. Исследование материалов методом АСМ в неконтактном режиме	0	0	4	4
14.	Лабораторная работа 5. Исследование биообъектов на клеточном уровне с помощью АСМ	0	0	4	4

15.	Лабораторная работа 6. Изучение микрофлоры воды с помощью СЗМ	0	0	4	4
16.	Лабораторная работа 7. Получение изображения в режиме регистрации вторичных электронов в сканирующем электронном микроскопе (СЭМ)	0	0	4	4
17.	Лабораторная работа 8. Исследование на электронном микроскопе биообъектов – клещей	0	0	4	4
18.	Лабораторная работа 9. Исследование морфологии поверхности наноматериала на СЭМ	0	0	4	4
19.	Лабораторная работа 10. Исследование элементного состава наноматериала на СЭМ	0	0	4	4
20.	Лабораторная работа 11. Исследование топологии поверхности стекловолнистых катализаторов	0	0	4	4
21.	Лабораторная работа 12. Исследование элементного состава ядра на электронном микроскопе	0	0	4	4
22.	Лабораторная работа 13. Исследование пористой структуры ядра на электронном микроскопе	0	0	4	4
	Итого (ак. часов)	34	0	52	86

4. Система оценивания

Обучающиеся, не набравшие 61 балла в течение семестра или не согласные с оценкой, полученной по итогам текущего контроля в семестре, проходят промежуточную аттестацию в форме экзамена.

При проведении промежуточной аттестации результаты, полученные обучающимся в семестре, переводятся в формат традиционной оценки в соответствии со шкалой перевода баллов:

- 60 баллов и менее – «неудовлетворительно»;
- от 61 до 75 баллов – «удовлетворительно»;
- от 76 до 90 баллов – «хорошо»;
- от 91 до 100 баллов – «отлично».

5. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

5.1. Литература:

1. Удовиченко, С. Ю. Пучково-плазменные технологии для создания материалов и устройств микро- и нанoeлектроники: учебное пособие / С. Ю. Удовиченко. — Тюмень: ТюмГУ, 2016. — 228 с. — ISBN 978-5-400-01349-2. — Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/110025> (дата обращения: 04.11.2022). — Режим доступа: для авториз. пользователей.
2. Витязь, П. А. Основы нанотехнологий и наноматериалов: учебное пособие / П. А. Витязь, Н. А. Свидунович. — Минск: Вышэйшая школа, 2010. — 302 с. — ISBN 978-985-06-1783-5. — Текст: электронный // Цифровой образовательный ресурс IPR SMART: [сайт]. — URL: <https://www.iprbookshop.ru/20108.html> (дата обращения: 04.11.2022). — Режим доступа: для авторизир. пользователей.
3. Технологии конструкционных наноструктурных материалов и покрытий: монография / П. А. Витязь, А. Ф. Ильющенко, М. Л. Хейфец, С. А. Чижик. — Минск: Белорусская наука, 2011. — 283 с. — ISBN 978-985-08-1292-6. — Текст: электронный // Цифровой образовательный ресурс IPR SMART: [сайт]. — URL:

<https://www.iprbookshop.ru/12322.html> (дата обращения: 04.11.2022). — Режим доступа: для авторизир. пользователей.

4. Неволин, В. К. Зондовые нанотехнологии в электронике / В. К. Неволин. — Москва: Техносфера, 2014. — 174 с. — ISBN 978-5-94836-382-0. — Текст: электронный // Цифровой образовательный ресурс IPR SMART: [сайт]. — URL: <https://www.iprbookshop.ru/26894.html> (дата обращения: 04.11.2022). — Режим доступа: для авторизир. пользователей.

5.2. Электронные образовательные ресурсы:

Азаренков, Н. А. Наноматериалы, нанопокрyтия, нанотехнологии. Учебное пособие / Н. А. Азаренков, В. М. Береснев, А. Д. Погребняк и др. — Харьков: ХНУ им. В.Н. Каразина, 2009. — 209 с. — URL: https://ffsite.ru/wp-content/files/azarenkov_n_a_beresnev_v_m_pogreb.pdf (дата обращения: 26.11.2022).

6. Современные профессиональные базы данных и информационные справочные системы:

База данных IPR Books. — <https://www.iprbookshop.ru/>

Электронно-библиотечная система Лань. — <https://e.lanbook.com/>

Научная электронная библиотека eLIBRARY.RU. — <https://elibrary.ru/defaultx.asp>

7. Лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение, в том числе отечественного производства

MS Office, платформа для электронного обучения Microsoft Teams.

8. Технические средства и материально-техническое обеспечение дисциплины

Мультимедийная учебная аудитория для проведения занятий лекционного типа оснащена следующими техническими средствами обучения и оборудованием: учебная мебель, доска аудиторная, мультимедийное проекционное и акустическое оборудование, персональный компьютер.

Специальная лаборатория наноматериалов и нанoeлектроники в Центре природовдохновленного инжиниринга для проведения занятий практического типа оснащена следующим оборудованием:

1. Магнетронный модуль Нанотехнологического комплекса (НТК) «НаноФаб-100».
2. СЭМ JSM-6510LV-EDS с рентгеновским энерго-дисперсионным спектрометром.
3. Литографическая приставка NanoMaker Full к электронному микроскопу.
4. СЭМ TESCAN MIRA3 LMU.
5. Универсальный вакуумный сканирующий зондовый микроскоп «ИНТЕГРА-АУРА».
6. Модуль плазмохимического травления НТК «НаноФаб-100».

Аудитория для самостоятельной работы оснащена следующими техническими средствами обучения и оборудованием: учебная мебель, доска аудиторная, мультимедийное проекционное и акустическое оборудование, персональные компьютеры.

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«ТЮМЕНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

УТВЕРЖДАЮ
Заместитель директора
Физико-технического института
по учебной работе


23.06.2021 С.А. Креков

НЕЙРОПРОЦЕССОРЫ НА ОСНОВЕ ОБУЧАЕМЫХ НАНОМАТЕРИАЛОВ

Рабочая программа

для обучающихся по направлениям подготовки

03.03.02 Физика, 16.03.01 Техническая физика

для всех профилей подготовки

форма обучения очная

1. Планируемые результаты освоения дисциплины

1.1. Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения данной дисциплины:

- для направления подготовки 03.03.02 Физика: ПК-3;
- для направления подготовки 16.03.01 Техническая физика: ПК-1,2.

1.2. Индикаторы достижения компетенций, соотнесенные с планируемыми результатами обучения:

Знания:

- ключевых принципов обработки информации в искусственных и биологических нейронных сетях;
- характеристик основных компонентов нейроморфной наноэлектроники;
- физических основ работы обучаемых наноматериалов;
- разновидностей современных процессорных систем;
- интерфейсов и периферийных модулей нейропроцессора;
- базовых способов конструирования, монтажа и наладки электронных устройств, содержащих компоненты нейроморфной наноэлектроники;
- типовых приёмов низкоуровневого программирования процессорных систем;
- основных особенностей разработки приборов, содержащих нейропроцессоры.

Умения:

- составлять работоспособную схему на основе компонентов нейроморфной наноэлектроники для создания техники с искусственным интеллектом;
- применять аналоговые и цифровые способы обработки информации;
- работать с контрольно-измерительными приборами, применяемыми для разработки нейроморфных микро- и наноэлектронных систем;
- проводить природовдохновлённый инжиниринг в области создания приборов для нейроморфной обработки информации;
- применять на практике интегрированные среды разработки и языки программирования микропроцессорных систем;
- выполнять базовое моделирование работы компонентов нейроморфной наноэлектроники и создавать работоспособные электрические цепи на их основе.

Навыки:

- разработки современной микроэлектронной техники, предназначенной для нейросетевой и биоморфной обработки информации;
- проектирования нейропроцессорных блоков на основе обучаемых наноматериалов;
- анализа эффективности применения нейропроцессора для решения профессиональных задач;
- выбора методов исследования электрофизических величин обучаемых наноматериалов на сложном оборудовании.

2. Структура и трудоемкость дисциплины

Таблица 1

Вид учебной работы		Всего (ак.ч.)	Кол-во часов в семестре (ак.ч.)
			7 семестр
Общая трудоемкость	зач. ед.	5	5
	ак.ч.	180	180
Из них:			
Часы аудиторной работы (всего):		86	86
Лекции		34	34
Практические занятия		0	0
Лабораторные / практические занятия по подгруппам		52	52
Часы внеаудиторной работы, включая консультации, иную контактную работу и самостоятельную работу обучающегося		94	94
Вид промежуточной аттестации			Экзамен

3. Содержание дисциплины

Таблица 2

№	Тематика учебных встреч	Виды аудиторной работы (в ак.час.)			Итого аудиторных ак.часов по теме
		Лекции	Практические занятия	Лабораторные/ практические занятия по подгруппам	
1	2	3	4	5	6
Лекции					
1.	Введение в современные направления развития нейроморфной наноэлектроники	2	0	0	2
2.	Нейроморфные системы и сигналы	2	0	0	2
3.	Базовые компоненты микро- и наноэлектроники для нейроморфных систем	2	0	0	2
4.	Моделирование работы компонентов нейроморфной наноэлектроники	2	0	0	2
5.	Основные понятия и законы цифровой логики	2	0	0	2
6.	Основы работы дизайнера схемотехники, конструкции и топологии изделий СБИС для нейроморфной наноэлектроники	2	0	0	2
7.	Основные определения процессорной техники	2	0	0	2
8.	Основы программирования микропроцессорной техники	2	0	0	2

9.	Типовые модули процессора	2	0	0	2
10.	Цифро-аналоговые и аналого-цифровые преобразователи	2	0	0	2
11.	Методы цифровой обработки и фильтрации сигналов	2	0	0	2
12.	Основы аппаратного программирования на уровне регистровых передач	2	0	0	2
13.	Биоморфный подход в обработке информации	2	0	0	2
14.	Моделирование нейронных сетей	2	0	0	2
15.	Биоморфный подход к аппаратному воплощению нейросетей	2	0	0	2
16.	Физические основы биоморфного нейропроцессора	2	0	0	2
17.	Модель и техническая реализация самообучения в биоморфном нейропроцессоре на основе мемристорно-диодного кроссбара	2	0	0	2
Лабораторные занятия					
18.	Лабораторная работа 1. Моделирование электронных компонент на основе обучаемых наноматериалов	0	0	4	4
19.	Лабораторная работа 2. SPICE-моделирование электрических цепей в биоморфных системах	0	0	4	4
20.	Лабораторная работа 3. Базовые интегральные элементы схемотехники нейропроцессора: диод, транзистор и мемристор	0	0	4	4
21.	Лабораторная работа 4. Интегральные логические вентили и транзисторные ключи для биоморфных интегральных схем	0	0	4	4
22.	Лабораторная работа 5. Составление таблиц истинности и алгебраических форм логических матриц	0	0	4	4
23.	Лабораторная работа 6. Интегрированная среда разработки микропроцессорной техники	0	0	4	4
24.	Лабораторная работа 7. Программирование стандартных интерфейсов передачи данных	0	0	4	4
25.	Лабораторная работа 8. Изучение работы АЦП, ЦАП и ШИМ	0	0	4	4
26.	Лабораторная работа 9. Генератор биоморфных импульсов	0	0	4	4
27.	Лабораторная работа 10. Фильтрация данных в биоморфных системах	0	0	4	4
28.	Лабораторная работа 11. Моделирование мемристорного интегратора	0	0	4	4
29.	Лабораторная работа 12. Биоморфная нейросеть	0	0	4	4
30.	Лабораторная работа 13. Изучение макета биоморфного нейропроцессора	0	0	4	4
	Итого (ак. часов)	34	0	52	86

4. Система оценивания

Обучающиеся, не набравшие 61 балла в течение семестра или не согласные с оценкой, полученной по итогам текущего контроля в семестре, проходят промежуточную аттестацию в форме экзамена.

При проведении промежуточной аттестации результаты, полученные обучающимся в семестре, переводятся в формат традиционной оценки в соответствии со шкалой перевода баллов:

- 60 баллов и менее – «неудовлетворительно»;
- от 61 до 75 баллов – «удовлетворительно»;
- от 76 до 90 баллов – «хорошо»;
- от 91 до 100 баллов – «отлично».

5. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

5.1. Литература:

1. Кучумов, А.И. Электроника и схемотехника: учеб. пособие для студ., обуч. по спец. "Компьют. безопасность" и "Комплексное обеспечение информац. безопасности автоматизир. систем" / А.И. Кучумов. — 2-е изд., перераб. и доп. — Москва: Гелиос АРВ, 2004. — 336 с.
2. Каганов, В.И. Радиотехнические цепи и сигналы: компьютеризированный курс: учеб. пособие для студ. вузов, обуч. по спец. "Радиотехника" / В. И. Каганов. — Москва: Форум. — [Б. м.]: Инфра-М, 2010. — 432 с.
3. Астайкин, А.И. Радиотехнические цепи и сигналы. Том 1: учебное пособие / А.И. Астайкин, А.П. Помазков. — Саров: Российский федеральный ядерный центр – ВНИИЭФ, 2010. — 344 с. — ISBN 978-5-9515-0142-4. — Текст: электронный // Цифровой образовательный ресурс IPR SMART: [сайт]. — URL: <https://www.iprbookshop.ru/18444.html> (дата обращения: 21.02.2023). — Режим доступа: для авторизир. пользователей.
4. Астайкин, А.И. Радиотехнические цепи и сигналы. Том 2: учебное пособие / А.И. Астайкин, А.П. Помазков. — Саров: Российский федеральный ядерный центр – ВНИИЭФ, 2010. — 360 с. — ISBN 978-5-9515-0147-9. — Текст: электронный // Цифровой образовательный ресурс IPR SMART: [сайт]. — URL: <https://www.iprbookshop.ru/18445.html> (дата обращения: 21.02.2023). — Режим доступа: для авторизир. пользователей.

5.2. Электронные образовательные ресурсы:

Писарев, А. Д., Удовиченко, С. Ю. Биоморфный нейропроцессор на основе наноразмерного комбинированного мемристорно-диодного кроссбара / А. Д. Писарев, С. Ю. Удовиченко. — Москва: ТЕХНОСФЕРА, 2021. — 228 с. — ISBN 978-5-94836-635-7. — URL: <https://news.utmn.ru/upload/medialibrary/aff/Kniga-v-izdatelstve-TEKHNOSFERA.pdf> (дата обращения 21.02.2023).

6. Современные профессиональные базы данных и информационные справочные системы:

Научная электронная библиотека eLIBRARY.RU. — <https://elibrary.ru/defaultx.asp>

7. Лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение, в том числе отечественного производства

MS Office, платформа для электронного обучения Microsoft Teams.

8. Технические средства и материально-техническое обеспечение дисциплины

Мультимедийная учебная аудитория для проведения занятий лекционного типа оснащена следующими техническими средствами обучения и оборудованием: учебная мебель, доска аудиторная, мультимедийное проекционное и акустическое оборудование, персональный компьютер.

Специальная лаборатория ФТИ «Нано- и микросистемной техники» (ауд. №215а) и лаборатория наноматериалов и наноэлектроники в Центре природовдохновленного инжиниринга для проведения занятий лабораторного типа оснащены следующими техническими средствами

обучения и оборудованием: учебная мебель, доска аудиторная и специализированное оборудование.

Список оборудования для проведения лабораторных занятий:

1. Универсальные стенды по микроэлектронике.
2. Осциллографы, мультиметры электрических величин.
3. Отладочные комплекты для микропроцессоров.
4. Микроэлектронная зондовая станция.
5. Образцы микросхем на основе обучаемых материалов.
6. Компьютеры с установленным социализированным учебным программным обеспечением.

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«ТЮМЕНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

УТВЕРЖДАЮ
Заместитель директора
Физико-технического института
по учебной работе


23.06.2021 С.А. Креков

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРИРОДОПОДОБНЫХ МИКРО- И НАНОСИСТЕМ
Рабочая программа
для обучающихся по направлениям подготовки
03.03.02 Физика, 16.03.01 Техническая физика
для всех профилей подготовки
форма обучения очная

1. Планируемые результаты освоения дисциплины

1.1. Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения данной дисциплины:
 для направления подготовки 03.03.02 Физика: ПК-1;
 для направления подготовки 16.03.01 Техническая физика: ПК-1.

1.2. Индикаторы достижения компетенций, соотнесенные с планируемыми результатами обучения:

Знания:

- основных методов моделирования микро- и наноструктур;
- современной приборной базы для исследования микро- и наноструктур, в том числе сложного аналитического оборудования.

Умения:

- использовать специализированные знания в области физики микро- и наноструктур, атомной и молекулярной физики;
- проводить научные исследования микро- и наноструктур с помощью современной приборной базы и программного обеспечения.

Навыки:

- моделирования структуры и свойств природоподобных микро- и наносистем;
- выбора и использования программных пакетов для моделирования микро- и наносистем;
- анализа квантовых эффектов в природоподобных наноразмерных структурах;
- моделирования тепломассопереноса в твёрдых и жидких природовдохновлённых наноматериалах.

2. Структура и трудоемкость дисциплины

Таблица 1

Вид учебной работы		Всего (ак.ч.)	Кол-во часов в семестре (ак.ч.)
			7 семестр
Общая трудоемкость	зач. ед.	4	4
	ак.ч.	144	144
Из них:			
Часы аудиторной работы (всего):		86	86
Лекции		34	34
Практические занятия		0	0
Лабораторные / практические занятия по подгруппам		52	52
Часы внеаудиторной работы, включая консультации, иную контактную работу и самостоятельную работу обучающегося		94	94
Вид промежуточной аттестации			Экзамен

3. Содержание дисциплины

Таблица 2

№	Тематика учебных встреч	Виды аудиторной работы (в ак. час.)			Итого аудиторных ак. часов по теме
		Лекции	Практические занятия	Лабораторные/практические занятия по подгруппам	
1	2	3	4	5	6
Модуль 1. Моделирование структуры и свойств природоподобных наносистем		16	0	30	46
<i>Лекции</i>					
1.	Природоподобные микро- и наносистемы	2	0	0	2
2.	Квантовые эффекты в природоподобных микро- и наносистемах	2	0	0	2
3.	Методы молекулярно-механического моделирования природоподобных микро- и наносистем	2	0	0	2
4.	Методы моделирования природоподобных микро- и наносистем	2	0	0	2
5.	Периодические граничные условия в микро- и наноструктурах	2	0	0	2
6.	Первопринципные методы моделирования природоподобных микро- и наносистем	2	0	0	2
7.	Методы функционала плотности	2	0	0	2
8.	Обзор программных пакетов для моделирования природоподобных микро- и наносистем	2	0	0	2
<i>Лабораторные работы</i>					
9.	Лабораторная работа 1. Методы молекулярно-механического моделирования природоподобных микро- и наносистем	0	0	6	6
10.	Лабораторная работа 2. Полуэмпирические методы моделирования природоподобных микро- и наносистем	0	0	6	6
11.	Лабораторная работа 3. Первопринципные методы моделирования природоподобных микро- и наносистем	0	0	6	6
12.	Лабораторная работа 4. Методы функционала плотности	0	0	6	6
13.	Лабораторная работа 5. Обзор программных пакетов для моделирования природоподобных микро- и наносистем	0	0	6	6

1	2	3	4	5	6
Модуль 2. Моделирование тепломассопереноса в природоподобных наноструктурах		18	0	22	40
<i>Лекции</i>					
14.	Моделирование природоподобных поровых микро- и наноструктур	2	0	0	2
15.	Фильтрация многофазных и однофазных сред в масштабе зерна – аналога природного фильтра	2	0	0	2
16.	Теплопроводность и теплосопротивление в природоподобных наноструктурах	2	0	0	2
17.	Тепломассообмен в природоподобных микро- и наноустройствах	2	0	0	2
18.	Термогидродинамика на наномасштабах	2	0	0	2
19.	Теплоперенос в наножидкостях	2	0	0	2
20.	Смачиваемость наножидкостей	2	0	0	2
21.	Течение флюидов в пристеночной области	2	0	0	2
22.	Поверхностная нанотермогидродинамика	2	0	0	2
<i>Лабораторные работы</i>					
23.	Лабораторная работа 6. Экспериментальные методы исследования поровых структур и параметров темпломассопереноса	0	0	6	6
24.	Лабораторная работа 7. Фильтрация многофазных и однофазных сред в масштабе зерна	0	0	4	4
25.	Лабораторная работа 8. Относительные фазовые проницаемости при многофазной фильтрации	0	0	4	4
26.	Лабораторная работа 9. Фильтрация смеси «нефть – водный раствор ПАВ».	0	0	4	4
27.	Лабораторная работа 10. Исследование полей температуры в микроустройствах	0	0	4	4
Итого (ак. часов)		34	0	52	86

4. Система оценивания

Обучающиеся, не набравшие 61 балла в течение семестра или не согласные с оценкой, полученной по итогам текущего контроля в семестре, проходят промежуточную аттестацию в форме экзамена.

При проведении промежуточной аттестации результаты, полученные обучающимся в семестре, переводятся в формат традиционной оценки в соответствии со шкалой перевода баллов:

- 60 баллов и менее – «неудовлетворительно»;
- от 61 до 75 баллов – «удовлетворительно»;
- от 76 до 90 баллов – «хорошо»;
- от 91 до 100 баллов – «отлично».

5. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

5.1. Литература:

1. Тепломассоперенос в нефтегазовых и строительных технологиях: учебное пособие / А. Б. Шабаров [и др.]; ред.: А. Б. Шабаров, А. А. Кислицын; рец.: В. Н. Антипов, Ю. В. Пахаруков. — Тюмень: Изд-во Тюм. гос. ун-та, 2014. Доступ по паролю из сети Интернет (чтение). —

- URL:[https://library.utmn.ru/dl/PPS/Shabarov_Kislitsina_223_223\(1\)_Teplomassoperenos_UP_2014.pdf](https://library.utmn.ru/dl/PPS/Shabarov_Kislitsina_223_223(1)_Teplomassoperenos_UP_2014.pdf) (дата обращения: 26.10.2022). — Режим доступа: для авторизир. пользователей.
2. Шабаров, А. Б. Гидрогазодинамика: учебное пособие для студентов вузов, обучающихся по специальности "Теплофизика" направления подготовки "Техническая физика" / А. Б. Шабаров; рец.: А. А. Кислицын, В. Г. Свиридов. — 2-е изд., перераб. — Тюмень: Изд-во Тюм. гос. ун-та, 2013. — Доступ по паролю из сети Интернет (чтение). — URL: https://library.utmn.ru/dl/PPS/Shabarov_228_Gidrogazodinamika_UP_2013.pdf (дата обращения: 26.10.2022). — Режим доступа: для авторизир. пользователей.
 3. Цирельман, Н. М. Теория и прикладные задачи тепломассопереноса: учебное пособие / Н. М. Цирельман. — 2-е изд., испр. — Санкт-Петербург: Лань, 2022. — 504 с. — ISBN 978-5-8114-3621-7. — Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/206651> (дата обращения: 26.10.2022). — Режим доступа: для авториз. пользователей.
 4. Янбикова, Ю. Ф. Экспериментальные методы исследований. Тепломассоперенос: учебно-методическое пособие / Ю. Ф. Янбикова, Б. В. Григорьев. — Тюмень: ТюмГУ, 2017. — 108 с. — Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/110057> (дата обращения: 26.10.2022). — Режим доступа: для авториз. пользователей.

5.2 Электронные образовательные ресурсы:

—

6. Современные профессиональные базы данных и информационные справочные системы:

Научная электронная библиотека eLIBRARY.RU. — <https://elibrary.ru/defaultx.asp>

Электронно-библиотечная система Лань. — <https://e.lanbook.com/>

Springer. — <https://rd.springer.com/>

7. Лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение, в том числе отечественного производства

MS Office, платформа для электронного обучения Microsoft Teams.

8. Технические средства и материально-техническое обеспечение дисциплины

Мультимедийная учебная аудитория для проведения занятий лекционного типа оснащена следующими техническими средствами обучения и оборудованием: учебная мебель, доска аудиторная, мультимедийное проекционное и акустическое оборудование, персональный компьютер.

Учебная аудитория для проведения занятий лабораторного типа оснащена следующими техническими средствами обучения и оборудованием: учебная мебель, доска аудиторная, специализированное оборудование для проведения лабораторных работ и демонстрации проводимых исследований.

Аудитория для самостоятельной работы оснащена следующими техническими средствами обучения и оборудованием: учебная мебель, доска аудиторная, мультимедийное проекционное и акустическое оборудование, персональные компьютеры.

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«ТЮМЕНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

УТВЕРЖДАЮ
Заместитель директора
Физико-технического института
по учебной работе


23.06.2021 С.А. Креков

ПРИРОДОВОДОХНОВЛЕННЫЙ ИНЖИНИРИНГ
Рабочая программа
для обучающихся по направлениям подготовки
03.03.02 Физика, 16.03.01 Техническая физика
для всех профилей подготовки
форма обучения очная

1. Планируемые результаты освоения дисциплины

1.1. Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения данной дисциплины:

- для направления подготовки 03.03.02 Физика: ПК-3;
- для направления подготовки 16.03.01 Техническая физика: ПК-2.

1.2. Индикаторы достижения компетенций, соотнесенные с планируемыми результатами обучения:

Знания:

- специализированных разделов физики «Механика», «Молекулярная физика», «Электричество и магнетизм», «Оптика», «Физика атома, атомного ядра и элементарных частиц» для освоения профильных физических дисциплин;
- современной приборной базы для исследования наноматериалов, в том числе сложного аналитического оборудования.

Умения:

- использовать специализированные знания в области физики наноструктур, атомной и молекулярной физики;
- проводить научные исследования наноматериалов с помощью современной приборной базы, в том числе сложного аналитического оборудования.

Навыки:

- проведения природовдохновлённого инжиниринга на основе знаний в области микрофлюидики, физики наноструктур, атомной и молекулярной физики;
- выбора наноматериалов для природовдохновлённого инжиниринга;
- подбора приборной базы, в том числе сложного аналитического оборудования для исследования устройств на основе природовдохновлённых наноматериалов;
- анализа эффективности устройств, созданных на основе природовдохновлённых наноматериалов;
- разработки рекомендаций по использованию устройств на основе природовдохновлённых наноматериалов.

2. Структура и трудоемкость дисциплины

Таблица 1

Вид учебной работы		Всего (ак.ч.)	Кол-во часов в семестре (ак.ч.)
			8 семестр
Общая трудоемкость	зач. ед.	4	4
	ак.ч.	144	144
Из них:			
Часы аудиторной работы (всего):		72	72
Лекции		24	24
Практические занятия		0	0
Лабораторные / практические занятия по подгруппам		48	48
Часы внеаудиторной работы, включая консультации, иную контактную работу и самостоятельную работу обучающегося		72	72
Вид промежуточной аттестации			Экзамен

3. Содержание дисциплины

№	Тематика учебных встреч	Виды аудиторной работы (в ак.час.)			Итого аудиторных ак.часов по теме
		Лекции	Практические занятия	Лабораторные / практические занятия по подгруппам	
1	2	3	4	5	6
Модуль 1. Изготовление и исследование микрофлюидного чипа – аналога природного фильтра воды		12	0	24	36
1.	Спектрометр ЯМР низкого разрешения MicroMR. Устройство, методы исследования	4	0	0	4
2.	Лабораторная работа 1. Применение правил интерпретации спектров ЯМР	0	0	4	4
3.	Лабораторная работа 2. Исследование ядерной магнитной релаксации в калибровочных жидкостях	0	0	4	4
4.	Изготовление микрофлюидного чипа	4	0	0	4
5.	Лабораторная работа 3. Разработка топологии микрофлюидного чипа	0	0	4	4
6.	Лабораторная работа 4. Изучение методов изготовления микрофлюидного чипа	0	0	4	4
7.	Исследование структуры микрофлюидного чипа на спектрометре ЯМР	4	0	0	4
8.	Лабораторная работа 5. ЯМР-томография	0	0	4	4
9.	Лабораторная работа 6. Изучение микро- и наноканалов методом ЯМР-томографии	0	0	4	4
Модуль 2. Изготовление и исследование мемристора – аналога живого синапса		12	0	24	36
10.	Методы изготовления обучаемого материала	4	0	0	4
11.	Лабораторная работа 7. Магнетронный метод осаждения обучаемого материала	0	0	4	4
12.	Лабораторная работа 8. Изготовление обучаемого материала	0	0	4	4
13.	Изготовление мемристора на основе обучаемого материала	4	0	0	4
14.	Лабораторная работа 9. Способ создания маски с помощью резиста на электронном микроскопе	0	0	4	4
15.	Лабораторная работа 10. Изготовление мемристора	0	0	4	4
16.	Исследование состава, структуры и электрических характеристик мемристора	4	0	0	4

17.	Лабораторная работа 11. Исследование состава и структуры материала. Магнетронный метод осаждения обучаемого материала	0	0	4	4
18.	Лабораторная работа 12. Исследование электрических характеристик мемристора	0	0	4	4
Итого (ак.часов)		24	0	48	72

4. Система оценивания

Обучающиеся, не набравшие 61 балла в течение семестра или не согласные с оценкой, полученной по итогам текущего контроля в семестре, проходят промежуточную аттестацию в форме экзамена.

При проведении промежуточной аттестации результаты, полученные обучающимся в семестре, переводятся в формат традиционной оценки в соответствии со шкалой перевода баллов:

- 60 баллов и менее – «неудовлетворительно»;
- от 61 до 75 баллов – «удовлетворительно»;
- от 76 до 90 баллов – «хорошо»;
- от 91 до 100 баллов – «отлично».

5. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

5.1. Литература:

1. Удовиченко, С. Ю. Пучково-плазменные технологии для создания материалов и устройств микро- и нанoeлектроники: учебное пособие / С. Ю. Удовиченко. — Тюмень: ТюмГУ, 2016. — 228 с. — ISBN 978-5-400-01349-2. — Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/110025> (дата обращения: 26.10.2022). — Режим доступа: для авториз. пользователей.
2. Технологии конструкционных наноструктурных материалов и покрытий: монография / П. А. Витязь, А. Ф. Ильющенко, М. Л. Хейфец, С. А. Чижик. — Минск: Белорусская наука, 2011. — 283 с. — ISBN 978-985-08-1292-6. — Текст: электронный // Цифровой образовательный ресурс IPR SMART: [сайт]. — URL: <https://www.iprbookshop.ru/12322.html> (дата обращения: 26.10.2022). — Режим доступа: для авторизир. пользователей.
3. Неволин, В. К. Зондовые нанотехнологии в электронике / В. К. Неволин. — Москва: Техносфера, 2014. — 174 с. — ISBN 978-5-94836-382-0. — Текст: электронный // Цифровой образовательный ресурс IPR SMART: [сайт]. — URL: <https://www.iprbookshop.ru/26894.html> (дата обращения: 27.10.2022). — Режим доступа: для авторизир. пользователей.

5.2. Электронные образовательные ресурсы:

Антоненко, С. В. Технология наноструктур: учебное пособие / С. В. Антоненко. — Москва: МИФИ, 2008. — 116 с. — ISBN 978-5-7262-0947-0; [Электронный ресурс]. — URL: <https://studfile.net/preview/412039/> (дата обращения: 26.10.2022). — Режим доступа: для всех пользователей.

6. Современные профессиональные базы данных и информационные справочные системы:

База данных IPR Books. — <https://www.iprbookshop.ru/>
 Электронно-библиотечная система Лань. — <https://e.lanbook.com/>
 Научная электронная библиотека eLIBRARY.RU. — <https://elibrary.ru/defaultx.asp>

7. Лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение, в том числе отечественного производства

MS Office, платформа для электронного обучения Microsoft Teams.

8. Технические средства и материально-техническое обеспечение дисциплины

Мультимедийная учебная аудитория для проведения занятий лекционного типа оснащена следующими техническими средствами обучения и оборудованием: учебная мебель, доска аудиторная, мультимедийное проекционное и акустическое оборудование, персональный компьютер.

Специальная лаборатория наноматериалов и наноэлектроники в Центре природовдохновенного инжиниринга для проведения занятий практического типа оснащена следующим оборудованием:

1. Спектрометр ЯМР низкого разрешения MicroMR.
2. Магнетронный модуль Нанотехнологического комплекса (НТК) «НаноФаб-100».
3. Плазмохимический модуль Нанотехнологического комплекса (НТК) «НаноФаб-100».
4. Сканирующий электронный микроскоп JSM-6510LV-EDS с рентгеновским энерго-дисперсионным спектрометром.
5. Литографическая приставка NanoMaker Full к электронному микроскопу.
6. Сканирующий электронный микроскоп TESCAN MIRA3 LMU.
7. Универсальный вакуумный сканирующий зондовый микроскоп «ИНТЕГРА-АУРА».
8. Учебно-научный комплекс «Наноздьюкатор (НТ-МДТ)» на основе сканирующего зондового микроскопа.

Аудитория для самостоятельной работы оснащена следующими техническими средствами обучения и оборудованием: учебная мебель, доска аудиторная, мультимедийное проекционное и акустическое оборудование, персональные компьютеры.

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«ТЮМЕНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

УТВЕРЖДАЮ
Заместитель директора
Физико-технического института
Креков /С.А. Креков/
23 июня 2021 г.

МАТЕМАТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ

Рабочая программа
для обучающихся по направлению подготовки 03.03.02 Физика
Профиль: Фундаментальная физика
Форма обучения очная

Бутакова Н.Н. Математический анализ. Рабочая программа для обучающихся по направлению подготовки 03.03.02 Физика, профиль: Фундаментальная физика, форма обучения очная. Тюмень, 2020.

Рабочая программа дисциплины опубликована на сайте ТюмГУ: Математический анализ [электронный ресурс] / Режим доступа: <https://www.utmn.ru/sveden/education/#>.

1. Пояснительная записка

Целью дисциплины является изучение основ математического анализа в объёме, достаточном для его применения в основных и специальных курсах, читаемых для физиков университетского профиля; подготовить студентов к самостоятельному овладению математическими знаниями по мере потребности в них; показать возможности современной компьютерной техники в классическом курсе; углубиться, по крайней мере, в один из важных для физиков разделов математического анализа и показать его современное состояние.

Основные задачи дисциплины: знакомство обучающихся с основами математического анализа, необходимыми для изучения большинства последующих дисциплин, связанных с использованием дифференциального и интегрального исчисления; подготовка обучающихся к чтению научных текстов; обучение математическому подходу к анализу прикладных задач, а также математическим методам исследования и решения таких задач. В результате изучения курса студент должен усвоить основные понятия теории пределов, дифференциального и интегрального исчисления функций одной и нескольких переменных, теории рядов.

1.1. Место дисциплины в структуре образовательной программы

Данная дисциплина входит в блок «Б1 Дисциплины. Базовая часть» и изучается в первом, втором и третьем семестрах. Для освоения данной дисциплины необходимы знания и умения, приобретенные обучающимися (или приобретаемые параллельно) в результате освоения дисциплин «Аналитическая геометрия» и «Линейная алгебра», а также полученные при изучении математических дисциплин в средней школе.

Дисциплина «Математический анализ» способствует освоению следующих дисциплин: «Дифференциальные уравнения», «Теория вероятностей и математическая статистика», «Теория функций комплексного переменного», «Векторный и тензорный анализ», «Интегральные уравнения и вариационное исчисление», «Вычислительная физика», «Теоретическая механика», «Механика сплошных сред», «Электродинамика», «Термодинамика», «Линейные и нелинейные уравнения физики», «Численные методы в механике жидкости и газа», «Уравнения математической физики».

1.2. Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения данной дисциплины

Код и наименование компетенции	Компонент (знаниевый/функциональный)
ОПК-1: способен применять базовые знания в области физико-математических и (или) естественных наук в сфере своей профессиональной деятельности	Знает: основные понятия, теоремы и формулы теории пределов, дифференциального исчисления, интегрального исчисления, теории рядов; методы анализа простейших математических моделей. Умеет: применять изученные методы; подбирать средства и методы для решения поставленных задач; пользоваться методиками проведения научных исследований; делать обоснованные заключения по результатам проводимых исследований.

2. Структура и объем дисциплины

Таблица 1

Вид учебной работы	Всего часов (академические часы)	Часов в семестре (академические часы)	
		2 семестр	3 семестр
Общий объем зач. ед. час.	10	5	5
	360	180	180
Из них:			
Часы аудиторной работы (всего):	206	86	120
Лекции	86	34	52
Практические занятия	120	52	68
Лабораторные/практические занятия по подгруппам	0	0	0
Часы внеаудиторной работы, включая самостоятельную работу обучающегося	154	94	60
Вид промежуточной аттестации (зачет, диф.зачет, экзамен)		экзамен	экзамен

3. Система оценивания

3.1. Для текущего контроля применяется 100-балльная система оценивания.

Баллы проставляются за активную работу на практических занятиях, а также за выполненные контрольные работы по каждой теме дисциплины.

Результаты текущего контроля учитываются при промежуточной аттестации. Если в течение семестра студент набрал более 60 баллов, то он имеет право получить следующие оценки без сдачи экзамена: от 61 до 75 баллов - оценку "удовлетворительно", от 76 до 90 баллов - "хорошо", от 91 до 100 баллов - "отлично". Если студент желает сдать экзамен при условии, что он набрал более 61 балла, то он сдает его на общих условиях.

Экзамен проходит в виде собеседования по вопросам билета, при этом подготовка студента к ответу проводится в письменной форме. Билет состоит из двух теоретических вопросов и задачи. Ответ на каждый вопрос и решение задачи оценивается по пятибалльной системе. Результирующая оценка рассчитывается как среднее арифметическое полученных оценок.

Критерии оценивания ответа на теоретический вопрос

– 5 баллов ставится, если ответ содержит глубокое знание излагаемого материала; студент ответил на дополнительные или уточняющие вопросы по тематике, указанной в билете. При этом допускаются незначительные неточности и частичная неполнота ответа при условии, что в процессе беседы экзаменатора с экзаменуемым последний самостоятельно делает необходимые уточнения и дополнения.

– 4 балла ставится, если ответ содержит в целом правильное, но не всегда точное и аргументированное изложение материала; недостаточно полно раскрыто содержание

вопроса, и при этом в процессе беседы студент не смог самостоятельно дать необходимые поправки и дополнения, или не обнаружил какое-либо из необходимых для раскрытия данного вопроса умение.

– 3 балла ставится, если в ответе допущены значительные ошибки, которые при наводящих вопросах экзаменатора были частично исправлены; студент испытывает затруднения с использованием научно-понятийного аппарата и терминологии дисциплины; в ответе не раскрыты некоторые существенные аспекты содержания.

– 2 балла ставится в остальных случаях.

Критерии оценивания решения практической задачи

– 5 баллов ставится, если решение содержит все необходимые этапы, каждый из которых не содержит ошибок, развернутые ответы и грамотные комментарии, правильно используется терминология и математические символы. При этом допускаются незначительные ошибки в расчетах на последнем этапе решения.

– 4 балла ставится, если решение содержит все необходимые этапы, в некоторых из них могут присутствовать ошибки вычислительного характера, которые не оказали существенного влияния на дальнейшее решение; - решение не содержит необходимых комментариев, обоснований выводов и переходов от одного этапа решения к другому; неверно используются символьный аппарат и терминология при правильном решении.

– 3 балла ставится, если в решении пропущены некоторые необходимые этапы без какого-либо комментария; - в решении допущены ошибки в вычислениях, повлекшие за собой неверные выводы и ответы, но при этом сами выводы сделаны верно с учетом данных ошибок; промежуточные этапы проведены верно, но при этом либо ответ не соответствует постановке задачи, либо требуемое в постановке задачи вообще не найдено.

– 2 балла ставится в остальных случаях.

4. Содержание дисциплины

4.1. Тематический план дисциплины

Таблица 2

№ п/п	Наименование тем и/или разделов	Объем дисциплины час.				
		Всего	Виды аудиторной работы (академические часы)			Иные виды контактной работы
			Лекции	Практические занятия	Лабораторные /практические занятия по подгруппам	
1	2	3	4	5	6	7
Первый семестр						
1.	Элементы математической логики. Множества,	8	2	2	0	0

	вещественных и комплексных чисел					
2.	Пределы числовых последовательностей и функций	38	8	12	0	0
3.	Непрерывность функций	26	2	10	0	0
4.	Дифференциальное исчисление	36	6	12	0	0
5.	Исследование функций с помощью производных	36	6	12	0	0
6.	Функции нескольких переменных	20	4	6	0	0
7.	Дифференциальное исчисление функций нескольких переменных	28	4	10	0	0
8.	Экстремум функций нескольких переменных. Условный экстремум	22	4	8	0	0
	Экзамен	2	0	0	0	2
	Итого за первый семестр	216	36	72	0	2
Второй семестр						
9.	Неопределенный интеграл и его свойства	24	4	8	0	0
10.	Определенный интеграл и его свойства	24	4	8	0	0
11.	Приложения определенного интеграла к решению геометрических и физических задач	24	4	8	0	0
12.	Двойной интеграл. Приложения двойного интеграла	36	6	12	0	0
13.	Тройной интеграл приложения тройного интеграла	36	6	12	0	0
14.	Криволинейные интегралы, их физический и геометрический смысл	36	6	12	0	0
15.	Поверхностные интегралы, их геометрическая и физическая интерпретация. Приложения и теория поля	34	6	12	0	0
	Экзамен	2	0	0	0	2
	Итого за второй семестр	2	36	72	0	2
Третий семестр						
16.	Интегралы, зависящие от параметра	50	12	12	0	0

17	Числовые ряды	22	4	4	0	0
18	Функциональные ряды	22	4	4	0	0
19	Степенные ряды	22	4	4	0	0
20	Ряды Фурье	32	6	6	0	0
21	Интеграл Фурье и преобразование Фурье	32	6	6	0	0
	Экзамен	2	0	0	0	2
	Итого за третий семестр	180	36	36	0	2
	Итого (часов)	612	108	180	0	6

4.2. Содержание дисциплины по темам

Тема 1. Элементы математической логики. Множества, вещественных и комплексных чисел.

Элементы математической логики: высказывания и операции над высказываниями. Понятие множества, элементы множества и операции над ними. Отображение множеств и их свойства. Понятие мощности множества. Грани числовых множеств. Ограниченные множества и их свойства. Алгебраические операции на множестве и их свойства. Нейтральные и симметричные элементы. Построение множеств (от множества натуральных чисел до множества комплексных чисел). Понятие комплексного числа и множества комплексных чисел и их геометрические образы. Операции над комплексными числами и их свойства. Модуль и аргумент комплексного числа, тригонометрическая форма комплексного числа, формула Муавра.

Тема 2. Пределы числовых последовательностей и функций.

Числовые последовательности и их свойства: основные и определения. Ограниченные и неограниченные последовательности. Бесконечно малые и бесконечно большие последовательности. Последовательности комплексных чисел. Предел последовательности. Свойства сходящихся последовательностей. Операции над сходящимися последовательностями и их пределами. Понятие неопределенности. Классификация бесконечно малых и бесконечно больших последовательностей. Монотонные последовательности и их свойства. Последовательности, заданные рекуррентными соотношениями и их пределы. Число e . Фундаментальные последовательности. Критерии сходимости последовательностей. Числовые функции: основные понятия и определения, способы задания функций, классификация функций; функции нескольких переменных, области их определения и графики. Расстояния на множестве. Евклидово пространство, окрестности точек, сходящиеся последовательности точек. Линия уровня функции двух переменных, поверхность уровня функции нескольких переменных. Метод сечения плоскостями при исследовании графиков функций нескольких переменных. Предел функции одной переменной. Операции над функциями и их пределами. Свойства пределов функций. Предел функций нескольких переменных. Бесконечно малые и бесконечно большие функции, их пределы и классификация. Неопределенности и их раскрытие. Непрерывность функции одной и нескольких переменных. Две теоремы Вейерштрасса о непрерывных функциях. Две теоремы Больцано – Коши о непрерывных функциях. Монотонные функции и их свойства. Разрывные функции и классификация точек разрыва.

Тема 3. Непрерывность функций.

Понятие непрерывности функции. Понятие точки разрыва. Особенности поведения функций в точках разрыва. Разрывы первого (конечный разрыв) и второго (бесконечный разрыв) рода. Устранимый разрыв. Вертикальная асимптота графика функции.

Тема 4. Дифференциальное исчисление.

Производная функции одной переменной, ее геометрическая и физическая интерпретации. Правая и левая производные. Дифференцируемость функции одной переменной. Связь дифференцируемости с непрерывностью функции и существованием производных, примеры и контрпримеры. Дифференциал функции одной переменной, его геометрический и физический смыслы. Правила дифференцируемости суммы, разности, произведения и частного функций. Производная обратной и сложной функций. Производные неявно и параметрически заданных функций. Логарифмическая производная. Таблица производных основных элементарных функций и их дифференциалов. Производные высших порядков функции одной переменной. Формула Лейбница. Дифференциалы высших порядков функции одной переменной. Инвариантность дифференциала первого порядка.

Тема 5. Исследование функций с помощью производных.

Основные теоремы дифференциального исчисления (Ферма, Ролля, Лагранжа, Коши). Формула конечных приращений Лагранжа функции одной переменной. Правило Лапидаталя и его применение к раскрытию неопределенностей. Формулы Тейлора и Маклорена функции одной переменной. Остаточный член в формах: Лагранжа, Пеано, Шлемильха - Роша, Коши. Оценка остаточного члена. Приближенные формулы для вычисления значений функции. Разложение элементарных функций по формулам Тейлора и Маклорена. Формулы Тейлора и Маклорена для функций нескольких переменных. Необходимые и достаточные условия монотонности функций. Точки перегиба графика функции одной переменной, направление выпуклости графика. Асимптоты графика одной переменной. Схема исследования поведения функции и построения ее графика. Исследование функций, заданный параметрически, неявно и в полярной системе координат.

Тема 6. Функции нескольких переменных.

Функции двух переменных и области их определения. Линии уровня. Функции трех переменных и области их определения. Поверхности уровня. Арифметическое n -мерное пространство. Примеры областей в n -мерном пространстве. Общее определение открытой и замкнутой области. Понятие функции нескольких переменных. Область определения, область значений функции нескольких переменных. Предел функции нескольких переменных. Определение предела функции нескольких переменных вдоль кривой. Повторные пределы. Связь предела функции нескольких переменных с повторными пределами. Непрерывность и разрывы функций нескольких переменных. Операции над непрерывными функциями. Функции, непрерывные в области. Теоремы Больцано—Коши. Лемма Больцано—Вейерштрасса. Теоремы Вейерштрасса. Равномерная непрерывность. Лемма Бореля. Новые доказательства основных теорем.

Тема 7. Дифференциальное исчисление функций нескольких переменных.

Производные и дифференциалы функций нескольких переменных. Частные производные и частные дифференциалы. Полное приращение функции. Полный дифференциал. Геометрическая интерпретация для случая функции двух переменных. Производные от сложных функций. Формула конечных приращений. Производная по заданному направлению. Инвариантность формы (первого) дифференциала. Применение полного дифференциала в приближенных вычислениях. Однородные функции. Формула

Эйлера. Производные высших порядков. Теорема о смешанных производных. Производные высших порядков от сложной функции. Дифференциалы высших порядков. Дифференциалы сложных функций. Формула Тейлора.

Тема 8. Экстремум функций нескольких переменных. Условный экстремум.

Экстремумы функции нескольких переменных. Необходимые условия. Достаточные условия (случай функции двух переменных). Достаточные условия (общий случай). Условия отсутствия экстремума. Наибольшее и наименьшее значения функций.

Тема 9. Неопределенный интеграл и его свойства.

Интегрирование функции одной переменной: первообразная, неопределенный интеграл и его свойства. Табличные интегралы, неберущиеся интегралы. Основные методы интегрирования (непосредственное интегрирование, замена переменной, интегрирование по частям). Интегрирование рациональных функций (целые функции, простейшие правильные и неправильные дроби, разложение подынтегральной функции на простейшие дроби, метод Остроградского); Формулы приведения; интегрирование иррациональных функций (простейшие иррациональности, выделение полного квадрата, тригонометрические и гиперболические подстановки, подстановки Эйлера); интегрирование биномиальных дифференциалов; интегрирование тригонометрических и гиперболических функций (понижение порядка, универсальные подстановки, формулы приведения).

Тема 10. Определенный интеграл и его свойства.

Определение и условия существования определенного интеграла: другой подход к задаче о площади; суммы Дарбу; классы и свойства интегрируемых функций. Свойства определенных интегралов: интеграл по ориентированному промежутку; свойства, выражаемые равенствами и неравенствами; определенный интеграл как функция верхнего предела; вторая теорема о среднем значении. Вычисление и преобразование определенных интегралов: вычисление с помощью интегральных сумм; основная формула интегрального исчисления; другой вывод основной формулы; формулы приведения; формулы замены переменной в определенном интеграле; формула Гаусса.

Тема 11. Приложения определенного интеграла к решению геометрических и физических задач.

Длина кривой: вычисление длины кривой; другой подход к определению понятия длины кривой и ее вычислению; натуральное уравнение плоской кривой; длина дуги пространственной кривой. Площади и объемы: определение понятия площади; классы квадрируемых областей; выражение площади интегралом; определение понятия объема; классы тел, имеющих объем; выражение объема интегралом; площадь поверхности вращения; площадь цилиндрической поверхности. Вычисление механических и физических величин: нахождение статических моментов и центра тяжести кривой; нахождение статических моментов и центра тяжести плоской фигуры; механическая работа; работа сила трения.

Тема 12. Двойной интеграл. Приложения двойного интеграла.

Кратные интегралы (основные понятия, определения и примеры), геометрическая интерпретация двойного интеграла. Двойной интеграл и его свойства, сведение двойного интеграла к повторному. Замена переменной в двойном интеграле. Приложения двойных интегралов к решению геометрических и физических задач: вычисление площади поверхностей, объема тел, массы материальных поверхностей и тел, центра тяжести, моментов инерции, силы притяжения.

Тема 13. Тройной интеграл приложения тройного интеграла.

Тройной интеграл и его вычисление: задача о вычислении массы тела; тройной интеграл и условия его существования; свойства интегрируемых функций и тройных интегралов; вычисление тройного интеграла, распространенного на параллелепипед; вычисление тройного интеграла по любой области; несобственные тройные интегралы; механические приложения. Формула Гаусса-Остроградского и ее приложения к исследованию поверхностных интегралов. Замена переменных в тройных интегралах: преобразование пространств и криволинейные координаты; выражение объема в криволинейных координатах; замена переменных в тройных интегралах; притяжение со стороны тела и потенциал на внутреннюю точку.

Тема 14. Криволинейные интегралы, их физический и геометрический смысл.

Криволинейные интегралы первого рода и его свойства. Геометрический и физический смысл криволинейного интеграла первого рода. Вычисление криволинейных интегралов первого рода при различных заданиях кривых интегрирования. Криволинейный интеграл второго рода и его свойства. Вычисление криволинейного интеграла второго рода при различных заданиях кривой интегрирования. Связь криволинейных интегралов первого и второго рода. Контурные интегралы, правило обхода контура. Формула Грина. Независимость криволинейного интеграла от пути интегрирования. Интегрирование полных дифференциалов.

Тема 15. Поверхностные интегралы, их геометрическая и физическая интерпретация. Приложения и теория поля.

Поверхностные интегралы первого рода и их свойства. Геометрическая и физическая интерпретация поверхностного интеграла первого рода. Вычисление поверхностного интеграла первого рода. Поверхностные интегралы второго рода и их свойства. Односторонние и двухсторонние поверхности, ориентация поверхностей. Вычисление поверхностных интегралов второго рода. Формула Остроградского. Формула Стокса. Независимость криволинейного интеграла по пространственной кривой от пути интегрирования. Восстановление функции нескольких переменных по ее полному дифференциалу. Приложение поверхностных интегралов к решению геометрических и физических задач: вычисление объемов тел, площади поверхностей, массы материальных поверхностей и т.д.

Тема 16. Интегралы, зависящие от параметра.

Собственные интегралы, зависящие от параметра; непрерывность по параметру, дифференцируемость и интегрируемость под знаком интеграла по параметру. Несобственные интегралы, зависящие от параметра: сходимости несобственных интегралов, равномерная сходимости по параметру, дифференцируемость и интегрируемость несобственных интегралов по параметру. Эйлеровы интегралы первого и второго рода.

Тема 17. Числовые ряды.

Основные понятия и определения. Вычисление суммы числового ряда. Сходимость рядов. Признаки сходимости: признаки сравнения первого и второго рода, признак Даламбера, признак Коши, интегральный признак, признаки Раабе, Куммера, Бертрана и Гаусса. Знакопеременные и знакопеременные ряды. Теорема Лейбница. Абсолютная сходимость рядов. Операции над абсолютно сходящимися рядами и их свойства. Условно сходящиеся ряды и их свойства.

Тема 18. Функциональные ряды.

Основные понятия и определения, равномерная сходимость последовательностей и рядов, свойства равномерно сходящихся последовательностей и рядов. Критерии

сходимости функциональных последовательностей и рядов. Почленное дифференцирование и интегрирование функциональных рядов.

Тема 19. Степенные ряды.

Основные понятия и определения, радиус и круг сходимости степенного ряда. Степенные ряды Тейлора и Маклорена. Разложение элементарных функций в степенные ряды и области их сходимости. Решение уравнений с помощью рядов.

Тема 20. Ряды Фурье.

Тригонометрический ряд и его основные свойства; теорема о единственности разложения функции в тригонометрический ряд; определение ряда Фурье. Разложение в ряд Фурье четных и нечетных функций. Понятие периодического продолжения функции; теорема Дирихле (о сходимости суммы ряда Фурье к исходной функции и к ее периодическому продолжению). Характер сходимости рядов Фурье (теорема о равномерной и абсолютной сходимости; теорема о равенстве рядов Фурье; условие единственности разложения функции в ряд Фурье). Понятие о среднем квадратичном отклонении тригонометрического многочлена от заданной функции; теорема о тригонометрическом многочлене, имеющем наименьшее среднее квадратическое отклонение от заданной функции. Равенство Парсеваля; теорема единственности. Понятие сигнала. Классификация сигналов. Энергия и мощность сигналов. Разложение в ряд Фурье периодических сигналов. Анализ сигналов: последовательность прямоугольных импульсов (меандр); пилообразный сигнал; последовательность треугольных импульсов.

Тема 21. Интеграл Фурье и преобразование Фурье.

Основные понятия, определения и примеры. Применение интегрального преобразования Фурье. Преобразование Фурье для сигналов: прямоугольный импульс; несимметричный треугольный импульс; симметричный треугольный импульс; односторонний экспоненциальный импульс; двусторонний экспоненциальный импульс; Гауссов импульс.

Планы практических занятий

Тема 1. Элементы математической логики. Множества, вещественных и комплексных чисел.

Высказывания и операции над высказываниями. Понятие множества, элементы множества и операции над ними. Понятие комплексного числа и множества комплексных чисел и их геометрические образы. Операции над комплексными числами и их свойства. Модуль и аргумент комплексного числа, тригонометрическая форма комплексного числа, формула Муавра.

Тема 2. Пределы числовых последовательностей и функций.

Пределы числовой последовательности. Число e . Пределы функций. Неопределенные выражения. Замечательные пределы. Раскрытие неопределенностей с помощью эквивалентностей. Односторонние пределы.

Тема 3. Непрерывность функций.

Конечный и бесконечный разрывы. Устранимый разрыв. Вертикальная асимптота. Эскиз графика в окрестности точки разрыва.

Тема 4. Дифференциальное исчисление.

Производная функции одной переменной, ее геометрическая и физическая интерпретации. Односторонние производные. Дифференцируемость функции одной переменной. Дифференциал функции одной переменной, его геометрический и физический смыслы. Правила дифференцируемости. Производная обратной и сложной функций. Производные неявно и параметрически заданных функций. Логарифмическая производная. Таблица производных основных элементарных функций и их дифференциалов. Производные высших порядков функции одной переменной. Формула Лейбница. Дифференциалы высших порядков функции одной переменной. Инвариантность дифференциала первого порядка.

Тема 5. Исследование функций с помощью производных.

Схема исследования поведения функции и построения ее графика. Исследование функций, заданных неявно, параметрически, в полярной системе координат.

Тема 6. Функции нескольких переменных.

Функции двух и трех переменных и области их определения. Линии и поверхности уровня. Предел функции нескольких переменных. Непрерывность и разрывы функций нескольких переменных.

Тема 7. Дифференциальное исчисление функций нескольких переменных.

Производные и дифференциалы функций нескольких переменных. Частные производные и частные дифференциалы. Полное приращение функции. Полный дифференциал. Геометрическая интерпретация для случая функции двух переменных. Производные от сложных функций. Производная по заданному направлению. Инвариантность формы (первого) дифференциала. Применение полного дифференциала в приближенных вычислениях. Производные высших порядков. Производные высших порядков от сложной функции. Дифференциалы высших порядков. Дифференциалы сложных функций. Формула Тейлора.

Тема 8. Экстремум функций нескольких переменных. Условный экстремум.

Экстремумы функции нескольких переменных. Необходимые условия. Достаточные условия (случай функции двух переменных). Достаточные условия (общий случай). Наибольшее и наименьшее значения функций.

Тема 9. Неопределенный интеграл и его свойства.

Интегрирование функции одной переменной: первообразная, неопределенный интеграл и его свойства; табличные интегралы, неберущиеся интегралы. Основные методы интегрирования (непосредственное интегрирование, замена переменной, интегрирование по частям). Интегрирование рациональных функций (целые функции, простейшие правильные и неправильные дроби, разложение подынтегральной функции на простейшие дроби, метод Остроградского); Формулы приведения; интегрирование иррациональных функций (простейшие иррациональности, выделение полного квадрата, тригонометрические и гиперболические подстановки, подстановки Эйлера); интегрирование биномиальных дифференциалов; интегрирование тригонометрических и гиперболических функций (понижение порядка, универсальные подстановки, формулы приведения).

Тема 10. Определенный интеграл и его свойства.

Вычисление определенных интегралов. Основная формула интегрального исчисления. Формулы приведения. Формулы замены переменной в определенном интеграле. Формула Гаусса.

Тема 11. Приложения определенного интеграла к решению геометрических и физических задач.

Длина кривой: вычисление длины кривой; длина дуги пространственной кривой. Площади и объемы: выражение площади интегралом; выражение объема интегралом; площадь поверхности вращения; площадь цилиндрической поверхности. Вычисление механических и физических величин: нахождение статических моментов и центра тяжести кривой; нахождение статических моментов и центра тяжести плоской фигуры; механическая работа; работа сила трения.

Тема 12. Двойной интеграл. Приложения двойного интеграла.

Геометрическая интерпретация двойного интеграла. Сведение двойного интеграла к повторному. Замена переменной в двойном интеграле. Приложения двойных интегралов к решению геометрических и физических задач: вычисление площади поверхностей, объема тел, массы материальных поверхностей и тел, центра тяжести, моментов инерции, силы притяжения.

Тема 13. Тройной интеграл приложения тройного интеграла.

Тройной интеграл и его вычисление: вычисление тройного интеграла, распространенного на параллелепипед; вычисление тройного интеграла по любой области; несобственные тройные интегралы; механические приложения. Формула Гаусса-Остроградского и ее приложения к исследованию поверхностных интегралов. Замена переменных в тройных интегралах.

Тема 14. Криволинейные интегралы, их физический и геометрический смысл.

Криволинейные интегралы первого рода: геометрический и физический смысл криволинейного интеграла первого рода; вычисление криволинейных интегралов первого рода при различных заданиях кривых интегрирования. Криволинейный интеграл второго рода: вычисление криволинейного интеграла второго рода при различных заданиях кривой интегрирования. Связь криволинейных интегралов первого и второго рода. Независимость криволинейного интеграла от пути интегрирования. Интегрирование полных дифференциалов.

Тема 15. Поверхностные интегралы, их геометрическая и физическая интерпретация. Приложения и теория поля.

Поверхностные интегралы первого рода: геометрическая и физическая интерпретация поверхностного интеграла первого рода; вычисление поверхностного интеграла первого рода. Поверхностные интегралы второго рода: односторонние и двухсторонние поверхности, ориентация поверхностей; вычисление поверхностных интегралов второго рода. Формула Остроградского. Формула Стокса. Независимость криволинейного интеграла по пространственной кривой от пути интегрирования. Восстановление функции нескольких переменных по ее полному дифференциалу. Приложение поверхностных интегралов к решению геометрических и физических задач: вычисление объемов тел, площади поверхностей, массы материальных поверхностей и т.д.

Тема 16. Интегралы, зависящие от параметра.

Собственные интегралы, зависящие от параметра: непрерывность по параметру, дифференцируемость и интегрируемость под знаком интеграла по параметру. Несобственные интегралы зависящие от параметра: сходимости несобственных интегралов, равномерная сходимость по параметру, дифференцируемость и интегрируемость несобственных интегралов по параметру. Эйлеровы интегралы первого и второго рода.

Тема 17. Числовые ряды.

Вычисление суммы числового ряда. Сходимость рядов. Признаки сходимости: признаки сравнения первого и второго рода, признак Даламбера, признак Коши, интегральный признак, признаки Раабе, Куммера, Бертрана и Гаусса. Знакопеременные и знакочередующиеся ряды. Теорема Лейбница. Абсолютная сходимость рядов. Операции над абсолютно сходящимися рядами и их свойства. Условно сходящиеся ряды.

Тема 18. Функциональные ряды.

Равномерная сходимость последовательностей и рядов. Критерии сходимости функциональных последовательностей и рядов. Почленное дифференцирование и интегрирование функциональных рядов.

Тема 19. Степенные ряды.

Радиус и круг сходимости степенного ряда. Степенные ряды Тейлора и Маклорена. Разложение элементарных функций в степенные ряды и области их сходимости. Решение уравнений с помощью рядов.

Тема 20. Ряды Фурье.

Разложение в ряд Фурье четных и нечетных функций. Характер сходимости рядов Фурье. Понятие о среднем квадратичном отклонении тригонометрического многочлена от заданной функции. Понятие сигнала. Классификация сигналов. Энергия и мощность сигналов. Разложение в ряд Фурье периодических сигналов. Анализ сигналов: последовательность прямоугольных импульсов (меандр); пилообразный сигнал; последовательность треугольных импульсов.

Тема 21. Интеграл Фурье и преобразование Фурье.

Применение интегрального преобразования Фурье. Преобразование Фурье для сигналов: прямоугольный импульс; несимметричный треугольный импульс; симметричный треугольный импульс; односторонний экспоненциальный импульс; двусторонний экспоненциальный импульс; Гауссов импульс.

Образцы средств для проведения текущего контроля

Примерные задания для контрольных работ

Контрольная работа № 1

1. Найти множество значений x , удовлетворяющих условию

$$|x^2 - 4x + 3| > x^2 - 4x + 3.$$

2. Найти область определения функции

$$y = \sqrt{x-1} + \sqrt{1-x}.$$

3. Найти точки разрыва функции и определить их тип:

$$1) y = \operatorname{tg}\left(x - \frac{\pi}{4}\right); \quad 2) y = \frac{3x}{x+1} + 1.$$

4. Найти пределы (не используя правило Лопиталья):

$$1) \lim_{x \rightarrow x_0} \frac{2x^2 - 5x - 3}{3x^2 - 4x - 15} \text{ при а) } x_0 = 2, \text{ б) } x_0 = 3, \text{ в) } x_0 = +\infty;$$

$$2) \lim_{x \rightarrow 4} \frac{\sqrt{x-1} - \sqrt{7-x}}{x-4}; \quad 3) \lim_{x \rightarrow 0} \frac{3x}{\operatorname{arctg} 4x}; \quad 4) \lim_{n \rightarrow \infty} \left(\frac{2n-3}{2n+5}\right)^{2n+2};$$

$$5) \lim_{x \rightarrow 0} \frac{(x-1 + \cos x) \sin^2 \frac{x}{2}}{(e^x - 1)^3}.$$

Контрольная работа № 2

1. Найти производные функций:

$$1) y = \ln(2 \operatorname{tg} x^2); \quad 2) y = \frac{3^{6x-4}}{\sin(3-4x)}; \quad 3) y = \sqrt[4]{5x+8} \cdot \operatorname{arctg}(2x-7).$$

2. Найти пределы, используя правило Лопиталя:

$$1) \lim_{x \rightarrow \infty} \frac{\ln(x+5)}{\sqrt[4]{2x+5}}; \quad 2) \lim_{x \rightarrow \infty} (x^3 e^{-x}).$$

3. Найти наибольшее и наименьшее значения функции $f(x)$ на отрезке $[-2; 0]$.

$$f(x) = \frac{1 + \ln x}{x}.$$

4. Найти асимптоты графика функции

$$f(x) = \frac{5x}{x-1} + 1.$$

5. Провести полное исследование и построить график функции

$$f(x) = \frac{x^2}{(x+2)^2}.$$

Контрольная работа № 3

1. Удовлетворяет ли функция

$$u = x \ln(x+y) + ye^{x+y}$$

дифференциальному уравнению

$$\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} - 2 \frac{\partial^2 u}{\partial x \partial y} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} = xy + 3$$

при $x+y > 0$?

2. Для функции $z(x, y)$ найти $\operatorname{grad} z(x, y)$ при $x = 5$, $y = 4$, $z = \pi$, если

$$z = \sqrt{x^2 + y^2} \operatorname{tg} \frac{z}{\sqrt{x^2 - y^2}} + \pi - 3\sqrt{3}.$$

3. Обосновать, имеет ли функция $y(x)$ в точке $x_0 = 0$ локальный экстремум, если $e^y - 2y + x^2 = 1$ и $y(0) = 0$.

4. Двумя способами определить экстремумы функции

$$f(x, y) = e^{xy},$$

если $x + y = 1$.

5. Найти локальные экстремумы функции

$$f(x, y) = 2x^3 - xy^2 + 5x^2 + y^2.$$

Контрольная работа № 4

1. Найти множество значений x , удовлетворяющих условию

$$1) \int \frac{\sin x}{1 + \cos 2x} dx; \quad 2) \int (x-2) \ln x dx; \quad 3) \int \frac{\sqrt[3]{x-3} + 1}{\sqrt{x-3}} dx;$$

$$4) \int \frac{(x+8)dx}{2x^3 - x^2 + 8x - 4}; \quad 5) \int \frac{x - \sqrt{\operatorname{arctg} 2x}}{1 + 4x^2} dx; \quad 6) \int \frac{\sqrt{x-2}}{3 + \sqrt{x-2}} dx;$$

$$7) \int (3-7x) \cos 2x dx; \quad 8) \int \frac{\ln(1+\sqrt{x})}{x+\sqrt{x}} dx.$$

2. Вычислить определенный интеграл:

$$1) \int_{\pi}^{2\pi} \frac{\cos x}{6 - 5 \sin x} dx; \quad 2) \int_{-2}^{-1} (2 - 3x^2) e^{3x} dx.$$

Контрольная работа № 5

1. Вычислить площадь фигуры, ограниченной указанными линиями; выполнить чертеж:
 - 1) $xy = 8, y = 8x^3, y = 27$;
 - 2) $\rho = 2 \cos \varphi, \rho = 4$;
 - 3) $x = 5 \cos^3 t, y = 5 \sin^3 t$.

2. Вычислить длину дуги кривой

$$y = \frac{4}{3}x^{3/4}, \quad x \in [0; 8].$$

3. Найти объем тела, полученного вращением кривой вокруг указанной координатной оси. Выполнить чертеж.

$$xy = 8, \quad 2 \leq x \leq 4 \quad (\text{ось } Ox).$$

4. Вычислить несобственный интеграл:

$$1) \int_0^{+\infty} \frac{dx}{\sqrt{x^2 + 9}}; \quad 2) \int_0^2 \frac{dx}{x^2 - 4}.$$

5. Вычислить двойной интеграл:

$$1) \iint_D \left(\frac{4}{5}xy + \frac{9}{11}x^2y^2 \right) dx dy,$$

область D ограничена линиями $x = 1, y = x^3, y = -\sqrt{x}$;

$$2) \iint_D 2y \cos(2xy) dx dy,$$

область D ограничена линиями $y = \pi/4, y = \pi/2, x = 1, x = 2$.

6. Вычислить тройной интеграл:

$$1) \iiint_V y^2 \cos \frac{\pi xy}{2} dx dy dz,$$

область V ограничена поверхностями $x = 0, y = -1, y = x, z = 0, z = 2\pi^2$;

$$2) \iiint_V (x^2 + 3y^2) dx dy dz,$$

область V ограничена поверхностями $z = 10x, x + y = 1, x = 0, y = 0, z = 0$.

Контрольная работа № 6

1. При помощи двойного или тройного интеграла найти объем тела, ограниченного поверхностями $z = 2x^2, 2x + y = 4, z = 0, y = 0, x = 0$.
2. Вычислить криволинейный интеграл первого рода

$$\int_L (x - y) dl,$$

где L – контур треугольника с вершинами $O(0; 0), A(1; 0), B(0; 1)$.

3. При помощи криволинейного интеграла второго рода вычислить работу, совершаемую силой $\mathbf{F} = (x^2 - 2xy)\mathbf{i} + (y^2 - 2xy)\mathbf{j}$, при перемещении материальной точки под действием этой силы вдоль линии $y = x^2$ от точки $A(-1; 1)$ до точки $B(1; 1)$.
4. Найти массу однородной поверхности параболоида $x^2 + y^2 = 3z$, отсеченной плоскостью $z = 3$.
5. Вычислить интеграл

$$\iint_S \frac{z}{\sqrt{1 - x^2 - y^2}} dx dy,$$

где S – наружная сторона сферы $x^2 + y^2 + z^2 = 1$.

Контрольная работа № 7

1. Доказать равномерную сходимость интеграла

$$\int_2^{+\infty} \frac{dx}{x \ln^\alpha x}, \quad \alpha \in [2; +\infty).$$

2. Исследовать интеграл на непрерывность

$$\int_0^{+\infty} e^{-(x-a)^2} dx, \quad \alpha \in (-\infty; +\infty).$$

3. Найти производную по параметру от интеграла

$$\int_1^\alpha \frac{\sin \alpha x}{x^2} dx, \quad \alpha > 0.$$

4. Исследовать ряды на сходимость:

a) $\sum_{n=1}^{+\infty} \frac{n!}{2^n};$

b) $\sum_{n=1}^{+\infty} \left(\frac{2n}{2n+1}\right)^{2n^2};$

c) $\sum_{n=1}^{+\infty} n \sin \frac{1}{n^2};$

d) $\sum_{n=1}^{+\infty} \frac{1}{\sqrt{n^2 + 3n + 6}};$

e) $\sum_{n=1}^{+\infty} \frac{(-1)^n \sqrt{n}}{n+2}.$

Контрольная работа № 8

1. Исследовать на равномерную сходимость ряд

$$\sum_{n=1}^{+\infty} \frac{(x+1)^2}{1+n^3(x+1)^2}.$$

на множестве $E = [-2; +\infty]$.

2. Исследовать на непрерывность функцию

$$f(x) = \sum_{n=1}^{+\infty} \frac{x^2 \cos 2x}{1+n^4 x^6}$$

на множестве ее задания.

3. Исследовать на дифференцируемость функцию

$$f(x) = \sum_{n=1}^{+\infty} e^{-2n^2 x}$$

на множестве ее задания.

4. Найти область сходимости функционального ряда

$$\sum_{n=1}^{+\infty} \frac{1}{n^x}.$$

5. Найти интервал сходимости степенного ряда и исследовать его сходимость на концах интервала

1) $\sum_{n=1}^{+\infty} \operatorname{tg}^n \left(\frac{\pi}{4} + \frac{1}{n}\right) x^n;$ 2) $\sum_{n=1}^{+\infty} \frac{(x-2)^{2n}}{3^n + 2^n}.$

Контрольная работа № 9

1. Разложить функцию $f(x) = 8 + x$ в ряд Фурье на отрезке $[-\pi; \pi]$.
2. Разложить функцию $f(x) = 1 - 7x$ в ряд Фурье на отрезке $[0; 2\pi]$.
3. Разложить функцию $f(x) = 9,5$ в ряд Фурье по синусам и по косинусам на отрезке $[-2; 1]$.

5. Учебно-методическое обеспечение и планирование самостоятельной работы обучающихся

Таблица 3

№ темы	Темы	Формы СРС, включая требования к подготовке к занятиям
Первый семестр		
1.	Элементы математической логики. Множества, вещественных и комплексных чисел	Изучение теоретического материала; подготовка к практическим занятиям, контрольным работам; выполнение домашнего задания; работа с литературой.
2.	Пределы числовых последовательностей и функций	Изучение теоретического материала; подготовка к практическим занятиям, контрольным работам; выполнение домашнего задания; работа с литературой.
3.	Непрерывность функций	Изучение теоретического материала; подготовка к практическим занятиям, контрольным работам; выполнение домашнего задания; работа с литературой.
4.	Дифференциальное исчисление	Изучение теоретического материала; подготовка к практическим занятиям, контрольным работам; выполнение домашнего задания; работа с литературой.
5.	Исследование функций с помощью производных	Изучение теоретического материала; подготовка к практическим занятиям, контрольным работам; выполнение домашнего задания; работа с литературой.
6.	Функции нескольких переменных	Изучение теоретического материала; подготовка к практическим занятиям, контрольным работам; выполнение домашнего задания; работа с литературой.
7.	Дифференциальное исчисление функций нескольких переменных	Изучение теоретического материала; подготовка к практическим занятиям, контрольным работам; выполнение домашнего задания; работа с литературой.
8.	Экстремум функций нескольких переменных. Условный экстремум	Изучение теоретического материала; подготовка к практическим занятиям, контрольным работам; выполнение домашнего задания; работа с литературой.
Второй семестр		
9.	Неопределенный интеграл и его свойства	Изучение теоретического материала; подготовка к практическим занятиям, контрольным работам; выполнение домашнего задания; работа с литературой.
10.	Определенный интеграл и его свойства	Изучение теоретического материала; подготовка к практическим занятиям, контрольным работам; выполнение домашнего задания; работа с литературой.
11.	Приложения определенного интеграла к решению	Изучение теоретического материала; подготовка к практическим занятиям,

	геометрических и физических задач	контрольным работам; выполнение домашнего задания; работа с литературой.
12.	Двойной интеграл. Приложения двойного интеграла	Изучение теоретического материала; подготовка к практическим занятиям, контрольным работам; выполнение домашнего задания; работа с литературой.
13.	Тройной интеграл приложения тройного интеграла	Изучение теоретического материала; подготовка к практическим занятиям, контрольным работам; выполнение домашнего задания; работа с литературой.
14.	Криволинейные интегралы, их физический и геометрический смысл	Изучение теоретического материала; подготовка к практическим занятиям, контрольным работам; выполнение домашнего задания; работа с литературой.
15.	Поверхностные интегралы, их геометрическая и физическая интерпретация. Приложения и теория поля	Изучение теоретического материала; подготовка к практическим занятиям, контрольным работам; выполнение домашнего задания; работа с литературой.
Третий семестр		
16.	Интегралы, зависящие от параметра	Изучение теоретического материала; подготовка к практическим занятиям, контрольным работам; выполнение домашнего задания; работа с литературой.
17.	Числовые ряды	Изучение теоретического материала; подготовка к практическим занятиям, контрольным работам; выполнение домашнего задания; работа с литературой.
18.	Функциональные ряды	Изучение теоретического материала; подготовка к практическим занятиям, контрольным работам; выполнение домашнего задания; работа с литературой.
19.	Степенные ряды	Изучение теоретического материала; подготовка к практическим занятиям, контрольным работам; выполнение домашнего задания; работа с литературой.
20.	Ряды Фурье	Изучение теоретического материала; подготовка к практическим занятиям, контрольным работам; выполнение домашнего задания; работа с литературой.
21.	Интеграл Фурье и преобразование Фурье	Изучение теоретического материала; подготовка к практическим занятиям, контрольным работам; выполнение домашнего задания; работа с литературой.

Порядок выполнения каждого вида самостоятельной работы

1. Изучение лекционного материала по теме.
2. Изучение рекомендованной основной и дополнительной литературы.
3. Ответы на пункты плана для практических занятий.
4. Разбор практических примеров, продемонстрированных на лекциях и решенных на практических занятиях.

Контроль за самостоятельной работой осуществляется при выполнении обучающимся контрольной работы.

6. Промежуточная аттестация по дисциплине

6.1. Оценочные материалы для проведения промежуточной аттестации по дисциплине

Форма проведения экзамена – собеседование по вопросам билета и решению задачи.

Теоретические вопросы

Первый семестр

1. Высказывания и операции над ними: отрицание, дизъюнкция, конъюнкция, импликация, эквивалентность и их свойства.
2. Множества, обозначения и операции над множествами. Свойства операций над элементами множества.
3. Вещественные числа, операции сложения, вычитания, умножения, деления и возведения в степень.
4. Комплексные числа, алгебраическая и тригонометрическая формы. Сопряженные комплексные числа и свойства операции сопряжения. Сложение и умножение комплексных чисел в алгебраической и тригонометрической формах. Формула Муавра. Извлечение корней степени n из комплексного числа. Показательная форма комплексного числа. Элементарные функции комплексного переменного.
5. Понятие верхней и нижней граней множеств. Теоремы о верхних и нижних гранях множеств.
6. Последовательности. Ограниченные и неограниченные последовательности.
7. Бесконечно малые и бесконечно большие последовательности, их свойства. Сходящиеся последовательности. Понятие ε -окрестности.
8. Свойства сходящихся последовательностей, формулируемые в виде теорем. Монотонные последовательности, определения. Теорема о сходимости монотонной последовательности. Произвольные последовательности. Рекуррентные последовательности, пример.
9. Предельные точки произвольной последовательности, её верхний и нижний пределы. Последовательность и её подпоследовательности, теоремы о связи их сходимостей.
10. Теорема Больцано - Вейерштрасса.
11. Понятие о фундаментальной последовательности. Критерий Коши сходимости произвольной последовательности.
12. Числовые функции, способы задания, классификация. Предел функции, общие соображения. Предел функции по Гейне и по Коши. Эквивалентность определений. Определение левого и правого предела функции в точке по Гейне и по Коши. Пределы функции при стремлении аргумента к бесконечности.
13. Условие Коши и критерий Коши существования предела функции в точке.
14. Бесконечно малые и бесконечно большие функции. Символ o -малое. Свойства бесконечно малых и бесконечно больших функций.
15. Некоторые неопределённости и их раскрытие. Некоторые замечательные пределы.

16. Понятие непрерывности функции, свойства непрерывных функций. Теоремы Больцано - Коши и Вейерштрасса. Монотонные функции и их свойства. Непрерывность обратной и сложной функции. Классификация точек разрыва функций.
17. Бесконечно малые и бесконечно большие функции. Символ o -малое.
18. Определение непрерывности функции в точке. Непрерывность по Гейне. Непрерывность по Коши. Арифметические операции над непрерывными функциями.
19. Монотонные функции. Теоремы о монотонных функциях.
20. Теоремы о локальных свойствах непрерывных функций. Глобальные свойства непрерывных функций.
21. Первая и вторая теоремы Больцано – Коши.
22. Первая и вторая теоремы Вейерштрасса.
23. Равномерная непрерывность функций.
24. Точки разрыва и их классификация.
25. Понятие производной функции одной переменной. Геометрическая и физическая интерпретации производной. Левая и правая производные функции в точке, свойства.
26. Дифференцируемость функции одной переменной. Эквивалентность этого понятия существованию производной.
27. Связь непрерывности и дифференцируемости функции одной переменной.
28. Понятие дифференциала функции одной переменной, его геометрическая интерпретация.
29. Правила вычисления производных. Правило вычисления производной сложной функции.
30. Правило вычисления производной обратной функции.
31. Таблица производных элементарных функций и вычисление некоторых из них.
32. Логарифмическая производная и её использование.
33. Определение непрерывности функции n переменных в точке. Непрерывность в точке по Гейне.
34. Непрерывность функции n переменных на множестве Непрерывность функции по одной переменной на основе частного приращения функции.
35. Свойства непрерывных функций n переменных.
36. Определение частной производной функции многих переменных.
37. Понятие дифференцируемости функции многих переменных.
38. Связь дифференцируемости с существованием частных производных. 37. Понятие о дифференциале функции многих переменных.
39. Дифференцируемость сложных функций многих переменных.
40. Производная по заданному направлению и градиент функции нескольких переменных. Направление и величина максимального изменения функции и их вычисление через градиент. Поверхности уровня. Вычисление нормали к поверхности уровня в заданной точке.
41. Производные высших порядков от функции одной переменной.
42. Производные высших порядков от функций многих переменных, теорема о равенстве смешанных производных.
43. Основные теоремы дифференциального исчисления: Теоремы Ферма, Ролля.
44. Теорема Коши на примере функции, заданной параметрически.
45. Типы неопределённостей при нахождении пределов и их сведение к виду $0/0$ или ∞/∞ .
46. Правило Лопиталья раскрытия неопределённостей, условия его применимости.
47. Формулы Тейлора и Маклорена в частном случае полинома степени n .
48. Формулы Тейлора и Маклорена – представление n раз дифференцируемой функции в виде полинома степени n с остатком.
49. Остаточный член формулы Тейлора в форме Пеано. Остаточный член формулы Тейлора в форме Шлёмилля - Роша, формах Лагранжа и Коши.

50. Формулы Тейлора и Маклорена, разложение $\exp(x)$, практическая оценка отброшенных слагаемых.
51. Формулы Тейлора и Маклорена для функций многих переменных.
52. Поведение кривых. Характерные точки и участки. О необходимости аналитического исследования кривых для физика.
53. Теоремы о монотонных функциях.
54. Необходимые и достаточные условия экстремума функции одной переменной. 58. Необходимые и достаточные условия существования точек перегиба функции одной переменной.
55. Достаточные условия направления выпуклости графиков функций одного переменного.
56. О привлечении производных более высокого порядка к исследованию поведения функции.
57. Вертикальные, горизонтальные и наклонные асимптоты графика функции одного переменного.
58. Схема исследования поведения функции и построения её графика.
59. Экстремумы функций многих переменных.
60. Условный экстремум функции нескольких переменных, функция Лагранжа.

Второй семестр

61. Первообразная функция, неопределённый интеграл и его свойства.
62. Табличные интегралы, “неберущиеся интегралы”.
63. Основные методы интегрирования: непосредственное интегрирование, замена переменной, интегрирование по частям.
64. Интегрирование целых рациональных функций.
65. Интегрирование простейших дробно рациональных функций.
66. Интегрирование дробно – рациональных функций, выделение полного квадрата, формулы приведения Эйлера.
67. Интегрирование дробно – рациональных функций, разложение подынтегральной функции на простейшие дроби.
68. Интегрирование дробно – рациональных функций, метод Остроградского.
69. Интегрирование простейших иррациональных функций, выделение полного квадрата, интегрирование по частям.
70. Интегрирование иррациональных функций: подстановки Эйлера.
71. Интегрирование иррациональных функций: подстановки Чебышёва.
72. Интегрирование иррациональных функций: тригонометрические и гиперболические подстановки.
73. Интегрирование тригонометрических функций: понижение порядка, формулы приведения.
74. Интегрирование тригонометрических функций: универсальные подстановки.
75. Определённый интеграл: основные понятия и определения, интегральные суммы, геометрический смысл определённого интеграла.
76. Суммы Дарбу, необходимое и достаточное условия интегрируемости функций.
77. Интегрируемость непрерывных и разрывных функций.
78. Свойства определённого интеграла.
79. Способы вычисления определённый интеграл: формула Ньютона – Лейбница, замена переменной, интегрирование по частям.
80. Теоремы о среднем значении интеграла. Формула Боне.
81. Связь определённого интеграла с неопределённым интегралом, интеграл с переменным пределом.
82. Применение определённого интеграла к вычислению площадей плоских фигур и криволинейных секторов.

83. Применение определённого интеграла к вычислению длин плоских линий.
84. Применение определённого интеграла к решению физических задач: масса и центр тяжести неоднородного стержня, работа переменной силы. Давление жидкости на стенки сосуда.
85. Кратные интегралы. Физический и геометрический смыслы двойного интеграла.
86. Сведение двойного интеграла к повторному интегралу.
87. Условия существования двойного интеграла и его свойства.
88. Вычисление объёмов и поверхностей с помощью двойного интеграла.
89. Тройной интеграл и условия его существования.
90. Вычисление тройного интеграла сведением к повторному интегралу.
91. Моменты инерции плоских и пространственных фигур.
92. Центры тяжести плоских и пространственных фигур.
93. Вычисление двойных интегралов на примерах.
94. Вычисление тройных интегралов на примерах
95. Замена переменных в двойных и тройных интегралах.
96. Понятие о криволинейном интеграле первого рода, его свойства.
97. Физический и геометрический смыслы криволинейного интеграла первого рода.
98. Способы вычисления криволинейного интеграла первого рода.
99. Масса и координаты центра тяжести кривой.
100. Криволинейные интегралы второго рода, их свойства.
101. Вычисление криволинейного интеграла второго рода при различных заданиях кривой интегрирования.
102. Связь криволинейных интегралов первого и второго рода.
103. Контурные интегралы, формула Грина.
104. Независимость криволинейного интеграла второго рода от пути интегрирования.
105. Интегрирование полных дифференциалов и восстановление функции двух переменных по её дифференциалу.
106. Аналог формулы Ньютона – Лейбница для криволинейных интегралов второго рода.
107. Критерии независимости криволинейного интеграла второго рода от пути интегрирования.
108. Поверхностные интегралы первого рода и способы их сведения к двойным интегралам.
109. Геометрический и физический смысл поверхностного интеграла первого рода.
110. Поверхностные интегралы второго рода и их свойства.
111. Общая запись поверхностного интеграла второго рода и её частные случаи.
112. Связь между поверхностными интегралами первого и второго рода.
113. Способы вычисления интегралов второго рода.
114. Формула Остроградского - Гаусса её назначение и различные формы записи.
115. Формула Стокса её назначение и различные формы записи.
116. Применение поверхностных интегралов к вычислению объёмов и поверхностей тел.
117. Применение Поверхностных интегралов к вычислению масс материальных поверхностей и тел.

Третий семестр

118. Интегралы, зависящие от параметра, определения и примеры.
119. Непрерывность интеграла, зависящего от параметра.
120. Дифференцируемость интеграла, зависящего от параметра.
121. Интегрирование интеграла, зависящего от параметра.
122. Несобственные интегралы, зависящие от параметра, определения и примеры.
123. Понятие о равномерной сходимости по параметру.
124. Дифференцируемость и интегрируемость несобственных интегралов по параметру.
125. Эйлеровы интегралы первого и второго рода.

126. Числовые ряды. Основные определения.
127. Сходимость числовых рядов.
128. Примеры сходящихся и расходящихся числовых рядов.
129. Свойства числовых рядов.
130. Критерий Коши для числовых рядов.
131. Необходимое условие сходимости ряда. Гармонический ряд.
132. Сходимость рядов с неотрицательными слагаемыми.
133. Достаточные признаки сходимости числовых рядов, признаки Даламбера и Коши сходимости рядов.
134. Признаки Раабе, Куммера, Бертрана и Гаусса сходимости рядов.
135. Знакопеременные и знакочередующиеся ряды. Теорема Лейбница о сходимости знакочередующегося ряда.
136. Оценка остатка знакочередующегося ряда.
137. Абсолютно сходящиеся ряды, свойства и операции над абсолютно сходящимися рядами
138. Теорема Римана о не абсолютно сходящихся рядах.
139. Функциональные последовательности, определение сходимости.
140. Функциональные ряды и определение сходимости таких рядов.
141. Понятие о равномерной сходимости функциональных рядов.
142. Критерий Коши равномерной сходимости функциональных последовательностей и рядов.
143. Признак Вейерштрасса сходимости функционального ряда. Признак Вейерштрасса сходимости функциональной последовательности.
144. Степенные ряды вещественной и комплексной переменной. Теоремы Абеля об областях сходимости и расходимости степенных рядов.
145. Формулы для определения радиуса сходимости степенного ряда.
146. Ряды Тейлора и Маклорена для функции одного переменного.
147. Разложение элементарных функций в ряды Тейлора и Маклорена на примере функций $\exp(x)$, $\sin(x)$, $\cos(x)$.
148. Разложение элементарных функций в ряды Тейлора и Маклорена на примере функций $\ln(1+x)$, $(1+x)^\alpha$.
149. Ряды Фурье. Система тригонометрических функций $\sin(ix)$, $\cos(ix)$, $i = 0, 1, \dots$, и её свойства.
150. Теорема о коэффициентах Фурье равномерно сходящегося тригонометрического ряда.
151. Разложение в ряд Фурье четных и нечетных функций.
152. Ряд Фурье абсолютно интегрируемых функций. Поведение коэффициентов Фурье абсолютно интегрируемых функций.
153. Теорема о сходимости ряда Фурье для кусочно-дифференцируемых функций.
154. Периодическое продолжение функций.
155. Сходимость в точках непрерывности и в точках разрыва.
156. Суммирование рядов Фурье методом средних арифметических.
157. Теорема о равномерной сходимости рядов Фурье.
158. Среднеквадратичные приближения функций и ряды Фурье.
159. Ряды Фурье на произвольном интервале.
160. Интеграл Фурье и преобразование Фурье: основные понятия, определения и примеры.
161. Применение интегрального преобразования Фурье.
162. Преобразование Фурье для различных сигналов.

Примерные задачи

Первый семестр

1. Найти множество значений x , удовлетворяющих условию
$$||3x - 1| - 1| > 2.$$

2. Найти область определения функции

$$y = \sqrt{2 - 3x} + \lg x.$$

3. Найти точки разрыва функции и определить их тип:

$$1) y = 3^{-\frac{1}{x}}; 2) y = \frac{x}{3} + \frac{x-1}{x-2}.$$

4. Найти пределы (не используя правило Лопиталья):

1) $\lim_{x \rightarrow x_0} \frac{x^2 + 2x - 3}{2x^2 + 3x - 5}$ при а) $x_0 = -2$, б) $x_0 = 1$, в) $x_0 = +\infty$;

2) $\lim_{x \rightarrow 3} \frac{x-3}{\sqrt{x-1} - \sqrt{5-x}}$; 3) $\lim_{x \rightarrow 0} \frac{\operatorname{tg} 3x}{\sin 2x}$; 4) $\lim_{n \rightarrow \infty} \left(\frac{5n-2}{5n+3} \right)^{n-2}$;

5) $\lim_{x \rightarrow 0} \frac{(\cos 4x - 1)(e^{3x} - 1)}{(1 + \sin^2 5x) \cdot \operatorname{arctg} 4x}$.

5. Найти производные функций:

1) $y = \sqrt[3]{\sin(6x - 5)}$; 2) $y = \frac{x^2}{\ln x}$; 3) $y = e^{3-5x} \operatorname{tg}(8x - 2)$.

6. Найти пределы, используя правило Лопиталья:

1) $\lim_{x \rightarrow 0} \frac{1 - \cos x^2}{x^2 - \sin x^2}$; 2) $\lim_{x \rightarrow 0} \arcsin x \cdot \operatorname{ctg} x$.

7. Найти наибольшее и наименьшее значения функции $f(x)$ на отрезке $[-2; 0]$.

$$f(x) = \frac{x^3 + 3}{(x + 3)^3}.$$

8. Найти асимптоты графика функции

$$f(x) = \frac{x}{3} + \frac{x-1}{x-2}.$$

9. Провести полное исследование и построить график функции

$$f(x) = \frac{x^3}{8 - x^3}.$$

10. Удовлетворяет ли функция

$$u = x \ln(x + y) + ye^{x+y}$$

дифференциальному уравнению

$$\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} - 2 \frac{\partial^2 u}{\partial x \partial y} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} = xy + 3$$

при $x + y > 0$?

11. Для функции $z(x, y)$ найти $\operatorname{grad} z(x, y)$ при $x = 5$, $y = 4$, $z = \pi$, если

$$z = \sqrt{x^2 + y^2} \operatorname{tg} \frac{z}{\sqrt{x^2 - y^2}} + \pi - 3\sqrt{3}.$$

12. Обосновать, имеет ли функция $y(x)$ в точке $x_0 = 0$ локальный экстремум, если

$$e^y - 2y + x^2 = 1 \text{ и } y(0) = 0.$$

13. Двумя способами определить экстремумы функции

$$f(x, y) = e^{xy},$$

если $x + y = 1$.

14. Найти локальные экстремумы функции

$$f(x, y) = 2x^3 - xy^2 + 5x^2 + y^2.$$

Второй семестр

15. Найти неопределенные интегралы; сделать проверку:

$$1) \int \frac{dx}{\sin x + \cos x}; 2) \int (1 + 2x) \ln x dx; 3) \int \frac{\sqrt[3]{x}}{\sqrt[3]{x} - 1} dx;$$

$$4) \int \frac{(4 - x)dx}{x^3 + x^2 + 4x + 4}; 5) \int \frac{x + \operatorname{arctg} x}{1 + x^2} dx; 6) \int \frac{dx}{x^2 + 8x + 41};$$

$$7) \int (6x + 18) \sin 2x dx; 8) \int \frac{dx}{\sqrt[3]{\operatorname{ctg}^2 4x \sin^2 4x}}.$$

16. Вычислить определенный интеграл:

$$1) \int_{\pi}^{2\pi} \frac{\cos x}{6 - 5 \sin x} dx; 2) \int_{-2}^{-1} (2 - 3x^2)e^{3x} dx.$$

17. Вычислить площадь фигуры, ограниченной указанными линиями; выполнить чертеж:

$$1) xy = 8, y = 8x^3, y = 27;$$

$$2) \rho = 2 \cos \varphi, \rho = 4;$$

$$3) x = 5 \cos^3 t, y = 5 \sin^3 t.$$

18. Вычислить длину дуги кривой

$$y = \frac{4}{3} x^{3/4}, x \in [0; 8].$$

19. Найти объем тела, полученного вращением кривой вокруг указанной координатной оси. Выполнить чертеж.

$$xy = 8, 2 \leq x \leq 4 \text{ (ось } Ox).$$

20. Вычислить несобственный интеграл:

$$1) \int_0^{+\infty} \frac{dx}{\sqrt{x^2 + 9}}; 2) \int_0^2 \frac{dx}{x^2 - 4}.$$

21. Вычислить двойной интеграл:

$$1) \iint_D \left(\frac{4}{5} xy + \frac{9}{11} x^2 y^2 \right) dx dy,$$

область D ограничена линиями $x = 1, y = x^3, y = -\sqrt{x}$;

$$2) \iint_D 2y \cos(2xy) dx dy,$$

область D ограничена линиями $y = \pi/4, y = \pi/2, x = 1, x = 2$.

22. Вычислить тройной интеграл:

$$1) \iiint_V y^2 \cos \frac{\pi xy}{2} dx dy dz,$$

область V ограничена поверхностями $x = 0, y = -1, y = x, z = 0, z = 2\pi^2$;

$$2) \iiint_V (x^2 + 3y^2) dx dy dz,$$

область V ограничена поверхностями $z = 10x, x + y = 1, x = 0, y = 0, z = 0$.

23. При помощи двойного или тройного интеграла найти объем тела, ограниченного поверхностями $x^2 + y^2 = 4, z = 4 - x - y, z = 0$.

24. Вычислить криволинейный интеграл первого рода

$$\int_L \left(x - \frac{1}{y} \right) dl,$$

где L – участок параболы $y = x^2$ от точки $A(1; 1)$ до точки $B(2; 4)$.

25. При помощи криволинейного интеграла второго рода вычислить работу, совершаемую силой $F = \left(x - \frac{1}{y}\right)j$, при перемещении материальной точки под действием этой силы вдоль линии $y = x^2$ от точки $A(1; 1)$ до точки $B(2; 4)$.
26. Найти массу однородной поверхности конуса $z = \sqrt{x^2 + y^2}$, вырезанной цилиндром $x^2 + y^2 = 4x$.
27. Вычислить интеграл

$$\iint_S z^2 dx dy,$$

где S – внешняя сторона эллипсоида $\frac{1}{25}x^2 + \frac{1}{9}y^2 + \frac{1}{4}z^2 = 1$.

Третий семестр

28. Доказать равномерную сходимость интеграла

$$\int_0^{+\infty} \frac{\sin x}{x} e^{-\alpha x} dx, \alpha \in [0; +\infty).$$

29. Исследовать интеграл на непрерывность

$$\int_0^{+\infty} \frac{e^{-x}}{|\sin x|^\alpha} dx, \alpha \in (0; 1].$$

30. Найти производную по параметру от интеграла

$$\int_1^{\alpha^2} e^{-\alpha x} \frac{\sin x}{x} dx, \alpha \geq 0.$$

31. Исследовать ряды на сходимость:

$$\begin{aligned} & 1) \sum_{n=1}^{+\infty} \left(\frac{n^2 - 4n + 3}{100n^2 + 1} \right)^2; \quad 2) \sum_{n=1}^{+\infty} \frac{n^2 - 4n + 5}{3^n(n+1)}; \quad 3) \sum_{n=1}^{+\infty} \frac{n!}{5^n(2n+3)}; \\ & 4) \sum_{n=1}^{+\infty} \left(\frac{15n^2 + 6n + 4}{2 + 3n + 12n^2} \right)^n; \quad 5) \sum_{n=1}^{+\infty} \frac{1}{n \ln^2 n}; \quad 6) \sum_{n=1}^{+\infty} \frac{\sqrt{n}}{2^3 \sqrt[3]{n^7} + n}; \\ & 7) \sum_{n=1}^{+\infty} \sqrt{n} \ln \left(1 + \frac{1}{\sqrt[3]{n^4}} \right); \quad 8) \sum_{n=1}^{+\infty} \frac{\sin^2 n}{\sqrt{n^3 + 5}}; \quad 9) \sum_{n=1}^{+\infty} \frac{(-1)^n}{\sqrt[3]{n+1}}; \\ & 10) \sum_{n=1}^{+\infty} \frac{\cos \sqrt{n}}{n^2}. \end{aligned}$$

$$\sum_{n=1}^{+\infty} \frac{(x+1)^2}{1 + n^3(x+1)^2}.$$

на множестве $E = [-2; +\infty]$.

32. Исследовать на непрерывность функцию

$$f(x) = \sum_{n=1}^{+\infty} \frac{x^2 \cos 2x}{1 + n^4 x^6}$$

на множестве ее задания.

33. Исследовать на дифференцируемость функцию

$$f(x) = \sum_{n=1}^{+\infty} e^{-2n^2 x}$$

на множестве ее задания.

34. Найти область сходимости функционального ряда

$$\sum_{n=1}^{+\infty} \frac{1}{n^x}$$

35. Найти интервал сходимости степенного ряда и исследовать его сходимость на концах интервала

$$1) \sum_{n=1}^{+\infty} \operatorname{tg}^n \left(\frac{\pi}{4} + \frac{1}{n} \right) x^n; \quad 2) \sum_{n=1}^{+\infty} \frac{(x-2)^{2n}}{3^n + 2^n}.$$

36. Разложить функцию $f(x) = 8 + x$ в ряд Фурье на отрезке $[-\pi; \pi]$.

37. Разложить функцию $f(x) = 1 - 7x$ в ряд Фурье на отрезке $[0; 2\pi]$.

38. Разложить функцию $f(x) = 9,5$ в ряд Фурье по синусам и по косинусам на отрезке $[-2; 1]$.

6.2. Критерии оценивания компетенций:

Таблица 4

№ п/п	Код и наименование компетенции	Компонент (знаниевый/функциональный)	Оценочные материалы	Критерии оценивания
1.	ОПК-1: способен применять базовые знания в области физико-математических и (или) естественных наук в сфере своей профессиональной деятельности	<p>Знает: основные понятия, теоремы и формулы теории пределов, дифференциального исчисления, интегрального исчисления, теории рядов; методы анализа простейших математических моделей.</p> <p>Умеет: применять изученные методы; подбирать средства и методы для решения поставленных задач; пользоваться методиками проведения научных исследований; делать обоснованные заключения по результатам проводимых исследований.</p>	Контрольные работы в течение семестра. Экзаменационные билеты (теоретические вопросы и задача).	Оценка за выполнение контрольной работы зависит от количества правильно решенных заданий. Оценка за ответ по билету зависит от полноты ответа на теоретический вопрос и правильности решения задачи.

7. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

7.1. Основная литература:

1. Пантелеев, А. В. Математический анализ : учебное пособие / А. В. Пантелеев, Н. И. Савостьянова, Н. М. Федорова. – Москва : ИНФРА-М, 2020. – 502 с. –URL: <https://znanium.com/catalog/product/1077332> (дата обращения: 24.05.2020). – Режим доступа: по подписке.
2. Шипачев, В.С. Математический анализ. Теория и практика : учеб. пособие / В.С. Шипачев. – 3-е изд. – М.: ИНФРА-М, 2019. – 351 с. –URL: <https://znanium.com/catalog/product/989800> (дата обращения: 24.05.2020). – Режим доступа: по подписке.

7.2. Дополнительная литература:

1. Берман, Г. Н. Сборник задач по курсу математического анализа : учеб. пособие / Г. Н. Берман. - Санкт-Петербург : Профессия, 2005. - 432 с.
2. Жукова, Г.С. Математический анализ в примерах и задачах. Ч.1 : учебное пособие / Г.С. Жукова, М.Ф. Рушайло. — Москва : ИНФРА-М, 2020. – 260 с. –URL: <https://znanium.com/catalog/product/1072156> (дата обращения: 24.05.2020). – Режим доступа: по подписке.
3. Жукова, Г.С. Математический анализ. Том 2 : учебник / Г.С. Жукова, М.Ф. Рушайло ; под ред. Г.С. Жуковой. – Москва : ИНФРА-М, 2020. – 518 с.– URL: <https://znanium.com/catalog/product/1072172> (дата обращения: 24.05.2020). – Режим доступа: по подписке.

7.3. Интернет-ресурсы

1. Федеральный портал «Российское образование»: <http://www.edu.ru>.
2. Научная электронная библиотека eLIBRARY.RU: <http://elibrary.ru>.

7.4. Современные профессиональные базы данных и информационные справочные системы

1. ProQuest Dissertations &Theses Global / ФГБУ «Государственная публичная научно-техническая библиотека России». URL: <https://search.proquest.com/index>.
2. Национальная электронная библиотека. URL: <https://rusneb.ru>.

8. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине

- **Лицензионное ПО:**
платформа для электронного обучения MicrosoftTeams.

9. Технические средства и материально-техническое обеспечение дисциплины

Учебные аудитории для проведения занятий лекционного и семинарского типа, консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации, а также помещения для самостоятельной работы. Для проведения занятий лекционного типа необходимо демонстрационное оборудование. Помещения для самостоятельной работы обучающихся должны быть оснащены компьютерной техникой с возможностью подключения к сети "Интернет" и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду.

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«ТЮМЕНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

УТВЕРЖДАЮ
Заместитель директора
Физико-технического института

бузе /С.А. Креков/

23 июня 2024 г.

ЛИНЕЙНАЯ АЛГЕБРА И АНАЛИТИЧЕСКАЯ ГЕОМЕТРИЯ

Рабочая программа

для обучающихся по направлению подготовки 03.03.02 Физика

Профиль: Фундаментальная физика

Форма обучения очная

Хомутова Е.И. Линейная алгебра и аналитическая геометрия. Рабочая программа дисциплины для обучающихся по направлению подготовки 03.03.02 Физика, профиль: Фундаментальная физика, формы обучения очная. Тюмень, 2021.

Рабочая программа дисциплины опубликована на сайте ТюмГУ:
<https://www.utmn.ru/sveden/education/#>.

1. Пояснительная записка

Целью учебного курса является усвоение основных разделов линейной алгебры и аналитической геометрии, создание базы для изучения других дисциплин.

Задачей является обучение студентов методам решения задач линейной алгебры и аналитической геометрии

1.1. Место дисциплины в структуре образовательной программы

Данная дисциплина входит в блок Б1 Дисциплины (модули), обязательная часть.

Для ее успешного изучения необходимы знания, приобретенные в результате освоения предшествующих и осваиваемых параллельно дисциплин «Введение в математический анализ» и «Математический анализ».

1.2. Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения данной дисциплины

Таблица 1

Код и наименование компетенции (из ФГОС ВО)	Код и наименование части компетенции	Планируемые результаты обучения (знаниевые/функциональные)
ОПК-1: способен применять базовые знания в области физико-математических и (или) естественных наук в сфере своей профессиональной деятельности	–	Знает теоретические основы и практические приложения разделов линейной алгебры: матрицы и определители, линейные пространства, системы линейных уравнений, евклидовы и унитарные пространства, линейные операторы, билинейные и квадратичные формы; основные понятия и определения аналитической геометрии, формулировки и доказательства теорем
		Умеет применять полученные знания для решения стандартных задач линейной алгебры и аналитической геометрии; применять полученные знания при решении прикладных задач, самостоятельно осваивать математические методы для использования их в работе и научных исследованиях

2. Структура и объем дисциплины

Таблица 2

Вид учебной работы		Всего часов (академические часы)	Часов в семестре (академические часы)
			3 семестр
Общий объем	зач. ед.	4	4
	час	144	144
Из них:			
Часы контактной работы (всего):		102	102
Лекции		34	34
Практические занятия		68	68
Лабораторные / практические занятия по подгруппам		0	0
Консультации и иная контактная работа		2	2
Часы внеаудиторной работы, включая самостоятельную работу обучающегося		104	104
Вид промежуточной аттестации			Экзамен

3. Система оценивания

3.1. Если в течение семестра студент получил оценки "отлично" за две контрольные работы, то он получает оценку "отлично" без сдачи экзамена. Если за одну работу получена оценка "хорошо", а за другую "отлично", то студент может на выбор: получить оценку "хорошо" или сдать экзамен (без сохранения оценки).

4. Содержание дисциплины

4.1. Тематический план дисциплины

Таблица 3

№ п/п	Наименование тем и/или разделов	Объем дисциплины, час.				
		Всего	Виды аудиторной работы (академические часы)			Консультации и иная контактная работа
			Лекции	Практические занятия	Лабораторные/ практические занятия по подгруппам	
1	2	3	4	5	6	7
1.	Матрицы и определители. Алгебраические структуры на множествах. Линейные пространства. Системы линейных уравнений	32	10	20	0	0
2.	Векторная алгебра	24	6	12	0	0

3.	Системы координат. Простейшие задачи аналитической геометрии	18	4	12	0	0
4.	Преобразование координат на плоскости и в пространстве. Кривые и поверхности второго порядка	22	6	8	0	0
5.	Линейные образы	14	2	4	0	0
6.	Евклидовы и унитарные пространства	12	2	4	0	0
7.	Линейные операторы. Билинейные и квадратичные формы	20	4	8	0	0
8.	Экзамен	2	0	0	0	2
	Итого (часов)	144	34	68	0	2

4.2. Содержание дисциплины по темам

Тема 1. Матрицы и определители. Алгебраические структуры на множествах. Линейные пространства. Системы линейных уравнений: понятие матрицы; операции над матрицами и их свойства; блочные матрицы; матрицы Жордана; понятие определителя; миноры и алгебраические дополнения; вычисление определителя методом треугольников и разложением по строке (столбцу); свойства определителей; ранг матрицы, ее вычисление; обратная матрица; линейная зависимость строк (столбцов) матрицы; теорема о базисном миноре матрицы; алгебраические структуры на множествах: группы, кольца и поля; линейные пространства, их свойства; линейная зависимость элементов линейных пространств; базис и координаты; размерность линейного пространства; изоморфизм линейных пространств; подпространства и линейные оболочки; переход от одного базиса линейного пространства к другому; системы линейных алгебраических уравнений (СЛАУ), решение СЛАУ по правилу Крамера, матричным методом, методом Гаусса.

Тема 2. Векторная алгебра: понятие вектора; линейные операции над векторами; линейная зависимость векторов; понятие базиса; разложение вектора по базисным векторам; модуль вектора; проекция вектора на ось, ее свойства; действия над векторами, заданными своими координатами; направляющие косинусы; скалярное произведение векторов, его механический смысл; геометрические и алгебраические свойства скалярного произведения; выражение скалярного произведения в декартовых координатах; угол между двумя векторами; векторное произведение векторов, его физический смысл; геометрические и алгебраические свойства векторного произведения; выражение векторного произведения через координаты перемножаемых векторов; смешанное произведение векторов, его геометрический смысл; выражение смешанного произведения в декартовых координатах; условия коллинеарности и компланарности векторов; двойное векторное произведение векторов.

Тема 3. Системы координат. Простейшие задачи аналитической геометрии: декартовы координаты на плоскости и в пространстве; направленный отрезок, проекция его на ось; расстояние между двумя точками; деление отрезка в данном отношении. Координаты центра тяжести системы материальных точек; барицентрические координаты; полярные, цилиндрические и сферические координаты.

Тема 4. Преобразование координат на плоскости и в пространстве. Кривые и поверхности второго порядка: преобразования координат на плоскости; преобразование координат в пространстве; декартовы координаты на плоскости и в пространстве; направленный отрезок, проекция его на ось; расстояние между двумя точками; деление отрезка в данном отношении. Координаты центра тяжести системы материальных точек; барицентрические координаты; полярные, цилиндрические и сферические координаты; эллипс, гипербола и парабола как конические сечения; канонические уравнения эллипса, гиперболы и параболы; исследование формы кривых второго порядка; директрисы и эксцентриситет эллипса и гиперболы; полярные уравнения; касательные к эллипсу, гиперболе и параболе; оптические свойства эллипса, гиперболы и параболы; эллипсоид, гиперболоиды, параболоиды, конус и цилиндры второго порядка, их канонические уравнения; исследование формы поверхностей второго порядка по их каноническим уравнениям; прямолинейные образующие поверхностей второго порядка.

Тема 5. Линейные образы: линия на плоскости как геометрическое место точек, координаты которых удовлетворяют определенному соотношению; параметрические уравнения линий на плоскости; уравнение окружности и циклоиды; алгебраические и трансцендентные линии на плоскости; два типа задач, связанных с аналитическим представлением линии; общее уравнение прямой; неполные уравнения прямой; уравнение прямой в отрезках; каноническое уравнение прямой; параметрические уравнения прямой; прямая с угловым коэффициентом; угол между двумя прямыми; условия параллельности и перпендикулярности двух прямых; нормальное уравнение прямой; отклонение точки от прямой; пучок прямых, его уравнение; условие пересечения трех прямых в одной точке; уравнение поверхности и уравнения линии в пространстве; общее уравнение плоскости; неполные уравнения плоскости; уравнение плоскости в отрезках; угол между двумя плоскостями; условия параллельности и перпендикулярности плоскостей; уравнение плоскости, проходящей через три различные точки, не лежащие на одной прямой; нормальное уравнение плоскости; отклонение точки от плоскости; нахождение биссектральных плоскостей двугранного угла, образованного двумя данными плоскостями; пучки и связки плоскостей; прямая линия в пространстве; канонические и общие уравнения прямой; приведение общих уравнений прямой к каноническому виду; уравнения прямой, проходящей через две различные точки; параметрические уравнения прямой в пространстве; угол между прямыми в пространстве; условия параллельности и перпендикулярности прямых; связка прямых; прямая линия и плоскость в пространстве; условие принадлежности двух прямых к одной плоскости; угол между прямой и плоскостью; условия параллельности и перпендикулярности прямой и плоскости; условия принадлежности прямой к плоскости.

Тема 6. Евклидовы и унитарные: унитарные пространства; неравенство Коши-Буняковского; понятие нормы; ортонормированный базис, его свойства; евклидово пространство, его свойства; ортонормированный базис конечномерного евклидова пространства, его существование; процесс ортогонализации линейно независимых элементов; изоморфизм n -мерных евклидовых пространств.

Тема 7. Линейные операторы. Билинейные и квадратичные формы: определение линейного оператора; действия над линейными операторами; пространство линейных операторов; основные свойства; обратный оператор; ядро и образ линейного оператора; необходимое и достаточное условие существования обратного оператора; ранг линейного оператора; матричная запись линейного оператора; преобразование матрицы линейного оператора при переходе к новому базису; собственные значения и собственные

векторы линейного оператора; линейные и полуторалинейные формы в евклидовом пространстве; сопряженные и самосопряженные операторы; основные свойства; норма линейного оператора; Эрмитовы формы; унитарные и нормальные операторы; канонический вид линейных операторов; билинейные формы, их матричное представление; преобразование матрицы билинейной формы при переходе к новому базису; ранг билинейной формы; квадратичные формы, их матричное представление; приведение квадратичной формы к каноническому виду; метод Лагранжа; метод Якоби; закон инерции квадратичных форм; критерий Сильвестра знакоопределенности квадратичной формы; полилинейные формы; билинейные и квадратичные формы в евклидовом пространстве.

5. Учебно-методическое обеспечение и планирование самостоятельной работы обучающихся

Таблица 4

№ темы	Темы	Формы СРС, включая требования к подготовке к занятиям
1.	Матрицы и определители. Алгебраические структуры на множествах. Линейные пространства. Системы линейных уравнений	Чтение основной и дополнительной литературы, проработка лекций
2.	Векторная алгебра	Чтение основной и дополнительной литературы, проработка лекций
3.	Системы координат. Простейшие задачи аналитической геометрии	Чтение основной и дополнительной литературы, проработка лекций
4.	Преобразование координат на плоскости и в пространстве. Кривые и поверхности второго порядка	Чтение основной и дополнительной литературы, проработка лекций
5.	Линейные образы	Чтение основной и дополнительной литературы, проработка лекций
6.	Евклидовы и унитарные пространства	Чтение основной и дополнительной литературы, проработка лекций
7.	Линейные операторы. Билинейные и квадратичные формы	Чтение основной и дополнительной литературы, проработка лекций

6. Промежуточная аттестация по дисциплине

6.1. Оценочные материалы для проведения промежуточной аттестации по дисциплине

Экзамен проходит в виде собеседования по вопросам билета. Билет состоит из двух вопросов и задачи. Один вопрос относится к разделу «Линейная алгебра», второй — «Аналитическая геометрия». Ответ на каждый вопрос и решение задачи оценивается по пятибалльной системе. Результирующая оценка рассчитывается как среднее арифметическое полученных оценок.

Примерные вопросы для подготовки к экзамену

Линейная алгебра

1. Матрицы, операции над ними. Ранг матрицы, ее вычисление. Примеры.
2. Определитель матрицы. Миноры и алгебраические дополнения. Вычисление определителей методом треугольников и разложением по строке (столбцу).
3. Определитель матрицы, его свойства. Примеры.
4. Обратная матрица, ее вычисление. Примеры.

5. Понятие линейной зависимости строк (столбцов) матрицы. Теорема о базисном миноре.
6. Алгебраические структуры на множествах: группы, кольца и поля. Примеры.
7. Линейные пространства, их свойства. Примеры.
8. Базис и размерность линейного пространства. Примеры.
9. Изоморфизм линейных пространств. Подпространства и линейная оболочка. Примеры.
10. Линейные пространства. Переход от одного базиса к другому. Примеры.
11. Системы линейных алгебраических уравнений, основные понятия и определения. Матричная запись. Условие совместности системы.
12. Системы линейных неоднородных уравнений, методы их решений. Правило Крамера. Примеры.
13. Системы линейных неоднородных уравнений, методы их решений. Матричный метод. Примеры.
14. Системы m линейных алгебраических уравнений с n переменными, отыскание их решений. Примеры.
15. Системы линейных неоднородных уравнений, методы их решений. Метод Гаусса. Примеры.
16. Системы однородных линейных уравнений, отыскание их решений. Примеры.
17. Евклидово пространство, его свойства. Примеры.
18. Ортонормированный базис конечномерного евклидова пространства. Примеры.
19. Унитарные пространства. Примеры.
20. Линейные операторы, основные свойства. Примеры.
21. Ядро и образ линейного оператора. Необходимое и достаточное условие существования обратного оператора. Примеры.
22. Линейные операторы, их матричная запись. Преобразование матрицы линейного оператора при переходе к новому базису. Примеры.
23. Собственные значения и собственные векторы линейных операторов. Примеры.
24. Сопряженные и самосопряженные операторы. Основные свойства. Примеры.
25. Унитарные и нормальные операторы. Примеры.
26. Канонический вид линейных операторов. Примеры.
27. Билинейные формы, их матричное представление. Преобразование матрицы билинейной формы при переходе к новому базису. Ранг билинейной формы. Примеры.
28. Квадратичные формы, их матричное представление. Приведение квадратичной формы к каноническому виду (метод Лагранжа). Примеры.
29. Закон инерции квадратичных форм. Примеры.
30. Критерий Сильвестра знакоопределенности квадратичной формы. Примеры.
31. Билинейные и квадратичные формы в евклидовом пространстве. Примеры.

Аналитическая геометрия

1. Системы координат на плоскости: аффинные, декартовы и полярные системы координат, их связь. Примеры.
2. Системы координат в пространстве: аффинные, цилиндрические и сферические системы координат, их связь. Примеры.
3. Простейшие задачи аналитической геометрии: расстояние между точками, деление отрезка в заданном отношении, координаты центра тяжести системы материальных точек. Примеры.
4. Понятие вектора. Линейные операции над векторами. Примеры.
5. Понятие линейной зависимости и линейной независимости векторов. Теоремы о линейной зависимости векторов.
6. Базис. Разложение вектора по базисным векторам. Примеры.

7. Вектор, его модуль. Проекция вектора на ось, ее свойства. Действия над векторами, заданными своими координатами. Направляющие косинусы.
8. Скалярное произведение векторов, его механический смысл. Геометрические и алгебраические свойства скалярного произведения. Примеры.
9. Скалярное произведение векторов, его выражение в декартовых координатах. Угол между двумя векторами.
10. Векторное произведение векторов, его физический смысл. Геометрические и алгебраические свойства векторного произведения. Примеры.
11. Векторное произведение векторов. Выражение векторного произведения через координаты перемножаемых векторов.
12. Смешанное произведение векторов, его геометрический смысл. Выражение смешанного произведения в декартовых координатах.
13. Вектор. Условия коллинеарности и компланарности векторов. Примеры.
14. Двойное векторное произведение, формула для его вычисления. Примеры.
15. Преобразование координат на плоскости при переходе от одной декартовой системы координат к другой. Примеры.
16. Преобразование координат в пространстве при переходе от одной декартовой системы координат к другой. Углы Эйлера. Примеры.
17. Прямая линия на плоскости и её уравнения. Общее и каноническое уравнение прямой. Примеры.
18. Уравнение прямой с угловым коэффициентом. Условия параллельности и перпендикулярности двух прямых. Примеры.
19. Нормальное уравнение прямой. Отклонение точки от прямой. Примеры.
20. Пучок прямых, его уравнение. Условие пересечения трех прямых в одной точке.
21. Общее уравнение плоскости в пространстве. Уравнение плоскости в отрезках. Примеры.
22. Неполные уравнения плоскости, расположение плоскости в пространстве. Примеры.
23. Плоскость в пространстве. Угол между двумя плоскостями. Условия параллельности и перпендикулярности плоскостей.
24. Нормальное уравнение плоскости. Отклонение точки от плоскости. Примеры.
25. Пучки и связки плоскостей, их уравнения. Примеры.
26. Прямая линия в пространстве, ее канонические и общие уравнения. Приведение общих уравнений прямой к каноническому виду. Примеры.
27. Прямая линия в пространстве. Угол между прямыми в пространстве. Условия параллельности и перпендикулярности прямых.
28. Прямая линия и плоскость в пространстве. Условие принадлежности двух прямых к одной плоскости. Примеры.
29. Прямая линия и плоскость в пространстве. Угол между прямой и плоскостью. Условия параллельности и перпендикулярности прямой и плоскости.
30. Эллипс, его каноническое уравнение (вывод). Исследование формы эллипса. Примеры.
31. Гипербола, ее каноническое уравнение (вывод). Исследование формы гиперболы. Примеры.
32. Парабола, ее каноническое уравнение (вывод). Исследование формы параболы. Примеры.
33. Директрисы и эксцентриситет эллипса и гиперболы. Примеры.
34. Полярные уравнения эллипса, гиперболы и параболы. Примеры.
35. Касательные к эллипсу, гиперболе и параболе. Примеры.
36. Поверхности второго порядка, их канонические уравнения. Эллипсоид, исследование его формы. Примеры.

37. Поверхности второго порядка, их канонические уравнения. Гиперболоиды, исследование их форм. Примеры.

38. Поверхности второго порядка, их канонические уравнения. Параболоиды, исследование их форм. Примеры.

39. Поверхности второго порядка, их канонические уравнения. Конус и цилиндры второго порядка, исследование их форм. Примеры.

Примерные задания для подготовки к экзамену и контрольным работам

1. Даны матрицы

$$A = \begin{pmatrix} 4 & -3 & -2 \\ 5 & -1 & 2 \end{pmatrix}, \quad B = \begin{pmatrix} 3 & -3 & 5 & 7 \\ 4 & -3 & 1 & 7 \\ -3 & 2 & 2 & 6 \end{pmatrix},$$

$$C = \begin{pmatrix} 12 & 8 & -1 & 5 \\ 3 & 0 & 3 & 2 \end{pmatrix}$$

Найти $AB-3C$.

2. Даны матрицы

$$A = \begin{pmatrix} 2 & 3 & -1 & 8 \\ 1 & 1 & 3 & 2 \\ -7 & 0 & 5 & -3 \end{pmatrix}, \quad C = \begin{pmatrix} 3 & 8 \\ 3 & 8 \end{pmatrix}.$$

Найти $6A^T + 7BC$.

3. Решить уравнение

$$x \begin{pmatrix} 1 & -1 & 3 \\ x-1 & 2 & 1 \\ -2 & x+3 & 0 \end{pmatrix} = 0.$$

4. Найти $\det(ABC) + \det C$, если $\det B = -4$,

$$A = \begin{pmatrix} 1 & -1 & 4 & 0 & 1 & 7 & -3 & 2 & -1 \end{pmatrix}, \quad C = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 4 & -3 & 1 & -2 & 1 & -5 & 1 \end{pmatrix}.$$

5. Определить, при каких значениях λ существует матрица, обратная данной

$$\begin{pmatrix} 1 & 1 & -1 & 2 & 0 & 0 & 3 \end{pmatrix}.$$

6. Даны матрицы

$$A = \begin{pmatrix} 2 & 1 & 0 & 0 & -1 & 0 & 1 & 1 & 0 & -1 & 2 & 1 & 3 & 2 & -1 & 0 \end{pmatrix}, \quad B = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 0 & 4 & 0 & 0 & 3 & 5 & -1 & 1 & 0 & 7 & 2 & 0 & 3 & 1 \end{pmatrix},$$

$$C = \begin{pmatrix} 2 & -1 & 0 & 1 & 7 & 0 & 0 & 4 & 0 & 5 & 1 & -1 & 1 & 1 & 1 & 3 \end{pmatrix}.$$

Найти $5A \cdot B - 2C$.

7. Решить матричное уравнение

$$\begin{pmatrix} 1 & 1 & 2 & -1 & 0 & 3 & 0 & 2 & 5 \end{pmatrix} X = \begin{pmatrix} 0 & 1 & -2 & -1 & 1 & 2 & 0 & 3 & 1 \end{pmatrix}$$

8. Вычислить ранг матрицы

$$A = \begin{pmatrix} 5 & 0 & 3 & -1 \\ 1 & -2 & 2 & -3 \\ 3 & -1 & 5 & -4 \\ 5 & -2 & 3 & -5 \end{pmatrix}$$

9. Решить системы уравнений

$$1). \begin{cases} 3x_1 + 4x_2 + x_3 + 3x_4 = -1 \\ x_1 + 2x_2 + 3x_3 + 7x_4 = 0 \\ x_1 + 3x_2 + 9x_3 + 7x_4 = 8 \\ -2x_1 + x_2 + x_3 + 5x_4 = 3 \end{cases} \quad 2). \begin{cases} x_1 + 2x_2 + 4x_3 - 3x_4 = 0 \\ 3x_1 + 5x_2 + 6x_3 - 4x_4 = 0 \\ 4x_1 + 5x_2 - 2x_3 + 3x_4 = 0 \\ 3x_1 + 8x_2 + 24x_3 - 19x_4 = 0 \end{cases}$$

10. Найти собственные значения и собственные векторы линейного преобразования, заданного в некотором базисе матрицей

$$1). A = \begin{pmatrix} 1 & -3 & 4 & 4 \\ -7 & 8 & 6 & -7 \\ 7 & 4 & 9 & 4 \\ 0 & 5 & 0 & 5 \end{pmatrix} \quad 2). A = \begin{pmatrix} 4 & -5 & 7 & 1 \\ -4 & 9 & -4 & 0 \\ 0 & 5 & 0 & 5 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

11. Найти канонический вид квадратичной формы в области вещественных чисел

$$x_1^2 + x_2^2 + 3x_3^2 + 4x_1x_2 + 2x_1x_3 + 2x_2x_3$$

12. Найти значение параметра λ , при котором положительно определена квадратичная форма $x_1^2 + x_2^2 + 5x_3^2 + 2\lambda x_1x_2 - 2x_1x_3 + 4x_2x_3$

13. Из векторов: $a = \{-1, -3, 5\}$, $b = \{-3, 8, 2\}$, $c = \{2, 5, 1\}$ и $d = \{0, 5, -2\}$ выделить аффинный базис и разложить по этому базису вектор $\gamma = \{-1, -3, 5\}$.

14. Найти двойное векторное произведение векторов $[[a \ b] \ c]$, где $a = \{-2, 3, 5\}$, $b = \{-3, 5, 2\}$, $c = \{1, 6, -1\}$ и определить длину полученного вектора.

15. Найти углы между векторами: $a = \{0, -2, 5\}$ и $b = \{-3, 4, -2\}$.

16. Найти векторное произведение векторов $a = \{-3, -7, 5\}$ и $b = \{3, 4, 2\}$ и вычислить площадь параллелограмма, построенного на векторах-сомножителях.

17. Найти смешанное произведение векторов $a = \{9, 3, -5\}$, $b = \{-3, 9, -2\}$ и $c = \{1, 3, 9\}$ и определить объем параллелепипеда, построенного на этих векторах.

18. Через точку $P(4; -3, 6)$ проведены две плоскости, одна из них содержит ось O_x , другая – ось O_y . Вычислить косинус угла между этими плоскостями.

19. Составить уравнение проекции прямой $x - 5y + z - 6 = 0$, $2x - 3y + 4z + 1 = 0$ на плоскость $x - 2y + 3 = 0$.

20. Даны вершины треугольника $A(-1; 0; -4)$, $B(4; -3; 1)$, $C(2; 4; 5)$. Составить параметрические уравнения: 1) серединных перпендикуляров сторон треугольника; 2) медиан треугольника; 3) высот треугольника.

21. Составить канонические уравнения прямой, проходящей через точку $P(-2; -1; 3)$ и параллельно прямой $x + 1 = 0$, $y - 3z = 0$.

22. Найти косинус угла между прямыми: $\frac{x}{1} = \frac{y-1}{-3} = \frac{z+5}{2}$ и $6x - y + 1 = 0$, $x - 22z - 3 = 0$.

23. Вычислить расстояние между прямыми: 1) $x - y + 3 = 0$, $y - z + 5 = 0$ и $\frac{x}{1} = \frac{y-1}{-5} = \frac{z+2}{-2}$ 2) $x = 1 - 4t$, $y = 2t$, $z = -1 + t$ и $\frac{x-1}{1} = \frac{y}{2} = \frac{z+1}{1}$.

24. Составить уравнение плоскости, проходящей через точку $P(-2; -3; 1)$ и прямую $x = -1 - z$, $y - 3z = 0$.

25. Убедившись, что точка $M(2; 3)$ лежит на эллипсе $\frac{x^2}{16} + \frac{y^2}{12} = 1$, определить фокальные радиусы точки M .

26. Определить точки эллипса $\frac{x^2}{20} + \frac{y^2}{4} = 1$ расстояние которых до правого фокуса равно $\frac{14}{\sqrt{5}}$.

27. Эксцентриситет эллипса $e = \frac{2}{3}$, расстояние от точки M эллипса до директрисы равно 15. Вычислить расстояние от точки M до фокуса, одностороннего с этой директрисой.

28. Дана точка $M(5\frac{3}{2}; 5)$ на гиперболе $\frac{x^2}{16} - \frac{y^2}{20} = 1$. Составить уравнения прямых, на которых лежат фокальные радиусы точки M .

29. Эксцентриситет гиперболы $e = 3$, фокальный радиус ее точки M , проведенный из некоторого фокуса, равен 15. Вычислить расстояние от точки M до односторонней с этим фокусом директрисы.

30. Составить уравнение гиперболы, фокусы которой лежат в вершинах эллипса $\frac{x^2}{25} + \frac{y^2}{9} = 1$, а директрисы проходят через фокусы этого эллипса.

31. Составить уравнение прямой, которая касается параболы $x^2 = -2y$ и перпендикулярна к прямой $3x - 6y + 7 = 0$.

6.2. Критерии оценивания компетенций

Таблица 5

Карта критериев оценивания компетенций

№ п/п	Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенций, соотнесенные с планируемыми результатами обучения	Оценочные материалы	Критерии оценивания
1	ОПК-1: способен применять базовые знания в области физико-математических и (или) естественных наук в сфере своей профессиональной деятельности	<p>Пороговый уровень освоения ОП (удовл.): <i>Знает:</i> систематически математические методы решения профессиональных задач, основные приемы обработки экспериментальных данных. <i>Умеет:</i> фрагментарно применять методы математического анализа при решении инженерных задач.</p> <p>Базовый уровень (хор.): <i>Знает:</i> в целом успешно, но с отдельными пробелами ма-</p>	Контрольная работа, экзамен	Текущий и промежуточный контроль освоения и усвоения материала дисциплины осуществляется в рамках традиционной (5-балльной) систем оценок. Оценка выполнения студентом контрольной работы зависит от числа правильно

		<p>тематические методы решения профессиональных задач, основные приемы обработки экспериментальных данных.</p> <p>Умеет: в целом успешное, но с отдельными пробелами применять методы математического анализа при решении инженерных задач; использовать навыки аналитического и численного решения.</p> <p>Повышенный уровень (отл.):</p> <p>Знает: основные понятия и определения линейной алгебры аналитической геометрии, формулировки и доказательства теорем.</p> <p>Умеет: решать прикладные задачи, самостоятельно осваивать математические методы для использования их в работе.</p>	<p>выполненных заданий.</p> <p>Экзаменационная оценка студента в рамках традиционной системы оценок выставляется на основе ответа студентом на теоретические вопросы и решения задач и/или тестовых заданий. Эта оценка характеризует уровень знаний, приобретенных студентом в ходе изучения дисциплины.</p>
--	--	---	---

7. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

7.1. Основная литература:

1. Остыловский, А.Н. Аналитическая геометрия [Электронный ресурс]: учеб. пособие / А.Н. Остыловский. — Красноярск: Сиб. федер. ун-т, 2011. — 92 с. — ISBN 978-5-7638-2196-3. — Текст: электронный. — URL: <https://znanium.com/catalog/product/443221> (дата обращения: 20.05.2021). — Режим доступа: по подписке.
2. Шипачев, В.С. Высшая математика: учебник / В.С. Шипачев. — Москва: ИНФРА-М, 2021. — 479 с. — (Высшее образование). — DOI 10.12737/5394. — ISBN 978-5-16-010072-2. — Текст: электронный. — URL: <https://znanium.com/catalog/product/1185673> (дата обращения: 21.05.2021). — Режим доступа: по подписке.

7.2. Дополнительная литература:

1. Бортаковский, А.С. Аналитическая геометрия в примерах и задачах: учебное пособие / А.С. Бортаковский, А.В. Пантелеев. — 2-е изд., стер. — Москва: ИНФРА-М, 2020. — 496 с. — (Высшее образование: Бакалавриат). — ISBN 978-5-16-011202-2. — Текст: электронный. — URL: <https://znanium.com/catalog/product/1069929> (дата обращения: 19.05.2021). — Режим доступа: по подписке.
2. Бортаковский, А.С. Линейная алгебра и аналитическая геометрия. Практикум: учеб. пособие / А.С. Бортаковский, А.В. Пантелеев. — 2-е изд., стереотип. — М.: ИНФРА-М, 2019. — 352 с. — (Высшее образование: Бакалавриат). — ISBN 978-5-16-010206-1. — Текст: электронный. — URL: <https://znanium.com/catalog/product/1014764> (дата обращения: 20.05.2020). — Режим доступа: по подписке.

7.3. Интернет-ресурсы:

1. Электронная библиотека Попечительского совета механико-математического факультета Московского государственного университета <http://lib.mexmat.ru>.
2. eLIBRARY – Научная электронная библиотека (Москва) <http://elibrary.ru>.

7.4. Современные профессиональные базы данных и информационные справочные системы:

1. Межвузовская электронная библиотека (МЭБ). URL: <https://icdlib.nspu.ru/>.
2. Национальная электронная библиотека. URL: <https://rusneb.ru/>.

8. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине:

- Лицензионное ПО, в том числе отечественного производства:
платформа для электронного обучения Microsoft Teams.

9. Технические средства и материально-техническое обеспечение дисциплины

Аудитория с доской и мультимедийным оборудованием для лекционных и практических занятий.

ФГАОУ ВО «Тюменский государственный университет»

УТВЕРЖДАЮ
Заместитель директора
Физико-технического института
Креков /С.А. Креков/
23 июня 2021 г.

ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ГЛАВЫ МАТЕМАТИКИ ДЛЯ ФИЗИКОВ
Рабочая программа
для обучающихся по направлениям подготовки
03.03.02 Физика, профиль «Фундаментальная физика»,
форма обучения очная

№ п/п	Наименование	Семестр	Среднее значение	Максимальное значение	Минимальное значение
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					
11					
12					
13					
14					
15					
16					
17					
18					
19					
20					
21					
22					
23					
24					
25					
26					
27					
28					
29					
30					
31					
32					
33					
34					
35					
36					
37					
38					
39					
40					
41					
42					
43					
44					
45					
46					
47					
48					
49					
50					
51					
52					
53					
54					
55					
56					
57					
58					
59					
60					
61					
62					
63					
64					
65					
66					
67					
68					
69					
70					
71					
72					
73					
74					
75					
76					
77					
78					
79					
80					
81					
82					
83					
84					
85					
86					
87					
88					
89					
90					
91					
92					
93					
94					
95					
96					
97					
98					
99					
100					

1. Планируемые результаты освоения дисциплины

1.1. Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения данной дисциплины:

- 03.03.02 Физика: ОПК-1;

1.2. Индикаторы достижения компетенций, соотнесенные с планируемыми результатами обучения:

Знания: теоретических основ и практических приложений разделов теории функций комплексного переменного, векторного и тензорного анализа, интегральных уравнений, вариационного исчисления, их взаимосвязи и связи с другими дисциплинами.

Умения: применять полученные знания при решении прикладных задач, самостоятельно осваивать математические методы для использования их в работе и научных исследованиях.

Навыки: владение основными методами решения задач теории функций комплексного переменного, векторного и тензорного анализа, интегральных уравнений, вариационного исчисления.

2. Структура и трудоемкость дисциплины

Таблица 1

Вид учебной работы		Всего (ак.ч.)	Кол-во часов в семестре (ак.ч.)
			3,4 семестр
Общая трудоемкость	зач. ед.	8	8
	ак.ч.	288	288
Из них:			
Часы аудиторной работы (всего):		188	188
Лекции		86	86
Практические занятия		102	102
Лабораторные / практические занятия по подгруппам		0	0
Часы внеаудиторной работы, включая консультации, иную контактную работу и самостоятельную работу обучающегося		100	100
Вид промежуточной аттестации (зачет, диф. зачет, экзамен)			Экзамен

3. Содержание дисциплины

Таблица 2

№	Тематика учебных встреч	Виды аудиторной работы (в ак.час.)			Итого аудиторных ак. часов по теме
		Лекции	Практические занятия	Лабораторные / практические занятия по подгруппам	
1	2	3	4	5	6
1	Комплексные числа. Функции комплексного переменного	10	16	0	14
2	Дифференцирование и интегрирование функций комплексного переменного	14	16	0	20
3	Векторная алгебра и элементы дифференциальной геометрии	8	10	0	12
4	Понятие тензора и закон преобразования его компонент	8	10	0	12
5	Тензорная алгебра	6	8	0	12
6	Векторный и тензорный анализ	12	12	0	20
7	Определение интегральных уравнений. Основные типы уравнений	6	4	0	8
8	Интегральные уравнения Фредгольма	4	8	0	12
9	Функционал. Вариация функционала и ее свойства	6	6	0	6
10	Простейшая задача вариационного исчисления	6	8	0	12
11	Достаточные условия экстремума функционала	6	6	0	6
	Итого (ак. часов)	86	102	0	134

4. Система оценивания

Обучающиеся, не набравшие 61 балла в течение семестра или не согласные с оценкой, полученной по итогам текущего контроля в семестре, проходят промежуточную аттестацию в форме дифференцированного зачета.

При проведении промежуточной аттестации результаты, полученные обучающимся в семестре, переводятся в формат традиционной оценки в соответствии со шкалой перевода баллов:

- 60 баллов и менее – «неудовлетворительно»;
- от 61 до 75 баллов – «удовлетворительно»;
- от 76 до 90 баллов – «хорошо»;
- от 91 до 100 баллов – «отлично».

5. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

5.1 Литература:

1. Гмурман, В. Е. Руководство к решению задач по теории вероятностей и математической статистике: учебное пособие для вузов. — 11-е изд., перераб. и доп. — Москва: Издательство Юрайт, 2022. — 406 с. — ISBN 978-5-534-08389-7. — Текст: электронный. — URL: <https://urait.ru/bcode/488572> (дата обращения: 11.04.2022).
2. Акивис, М. А. Тензорное исчисление: учебное пособие / М. А. Акивис, В. В. Гольдберг. — 3-е изд., перераб. — Москва: ФИЗМАТЛИТ, 2005. — 304 с. — ISBN 5-9221-0424-1. — Текст: электронный. — URL: <https://znanium.com/catalog/product/110700> (дата обращения: 11.04.2022). — Режим доступа: по подписке.
3. Сумин, Е. В. Дифференциальные уравнения: учебно-методическое пособие / Е. В. Сумин, В. Б. Шерстюков. — Москва: Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», 2019. — 168 с. — ISBN 978-5-7262-2546-3. — Текст: электронный. — URL: <https://www.iprbookshop.ru/116394.html> (дата обращения: 11.04.2022). — Режим доступа: для авторизир. пользователей.
4. Свешников, А. Г. Теория функций комплексной переменной: учебник / А. Г. Свешников, А. Н. Тихонов. — 6-е изд. — Москва: ФИЗМАТЛИТ, 2010. — 336 с. — ISBN 978-5-9221-0133-2. — Текст: электронный. — URL: <https://znanium.com/catalog/product/544573> (дата обращения: 11.04.2022). — Режим доступа: по подписке.

5.2 Электронные образовательные ресурсы:

Не требуются для реализации дисциплины.

6. Современные профессиональные базы данных и информационные справочные системы:

Образовательная платформа Юрайт. — <https://urait.ru/>

Электронно-библиотечная система “ЗНАНИУМ”. — <https://znanium.com/>

База данных IPR Books. — <https://www.iprbookshop.ru/>

7. Лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение, в том числе отечественного производства

MS Office, платформа для электронного обучения Microsoft Teams.

8. Технические средства и материально-техническое обеспечение дисциплины

Мультимедийная учебная аудитория для проведения занятий лекционного типа оснащена следующими техническими средствами обучения и оборудованием: учебная мебель, доска аудиторная, мультимедийное проекционное и акустическое оборудование, персональный компьютер.

Учебная аудитория для проведения занятий семинарского типа оснащена следующими техническими средствами обучения и оборудованием: учебная мебель, доска аудиторная.

Аудитория для самостоятельной работы оснащена следующими техническими средствами обучения и оборудованием: учебная мебель, доска аудиторная, мультимедийное проекционное и акустическое оборудование, персональные компьютеры.

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«ТЮМЕНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

УТВЕРЖДАЮ
Заместитель директора
Физико-технического института
по учебной работе


23.06.2021 С.А. Креков

ОПТИКА

Рабочая программа дисциплины
для обучающихся по направлению подготовки
03.03.02 Физика

Профиль: Фундаментальная физика
форма обучения: очная

Креков С. А. Оптика. Рабочая программа для обучающихся по направлению подготовки 03.03.02 Физика, форма обучения очная. Тюмень, 2021

Рабочая программа дисциплины (модуля) опубликована на сайте ТюмГУ: Оптика [электронный ресурс] / Режим доступа: <https://www.utmn.ru/sveden/education/#>.

Рабочая программа дисциплины включает следующие разделы:

1. Пояснительная записка

Цель дисциплины: дать студентам последовательную систему знаний об оптике, необходимых для формирования в сознании физической картины окружающего мира, применения физических понятий и законов к решению конкретных физических задач.

Задачи дисциплины:

- познакомить студентов с основными принципами и законами физики, касающиеся раздела «Оптика» и их математическим выражением;
- познакомить студентов с основными методами наблюдений, измерений, и экспериментирования в области оптических явлений;
- дать представление о теоретических методах исследований в физике;
- дать навык построения математических моделей простейших физических явлений, используя доступный математический аппарат;
- научить правильно соотносить содержание конкретных задач с общими законами физики.

1.1. Место дисциплины в структуре образовательной программы

Данная дисциплина входит в базовую часть блока Б1 Дисциплины. Для ее успешного освоения необходимо предварительное изучение дисциплин «Механика», «Молекулярная физика», «Электричество и магнетизм», «Введение в математический анализ», «Математический анализ».

1.2. Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения данной дисциплины

Код и наименование компетенции (из ФГОС ВО)	Планируемые результаты обучения (знаниевые/функциональные)
ОПК-1: способен применять базовые знания в области физико-математических и (или) естественных наук в сфере своей профессиональной деятельности	Знает фундаментальные разделы общей физики: кинематика, статика, динамика; современные концепции, достижения и ограничения естественных наук
	Умеет применять физические законы и расчетные формулы при решении конкретных задач; пользоваться прикладными методами расчета физико-математических моделей
ОПК-2: способен проводить научные исследования физических объектов, систем и процессов, обрабатывать и представлять экспериментальные данные	Знает методы измерений и исследований, основанные на различных физических эффектах
	Умеет получать расчетные формулы для проведения научных исследований физических объектов; планировать и проводить эксперимент, обрабатывать его результаты, оценивать погрешность полученных результатов; работать с различными установками и измерительными инструментами

2. Структура и объем дисциплины

Таблица 1

Вид учебной работы		Всего часов (академические часы)	Часов в семестре (академические часы)
			4
Общий объем	зач. ед.	8	8
	час	288	288
Из них:			
Часы аудиторной работы (всего):		154	154
Лекции		34	34
Практические занятия		52	52
Лабораторные / практические занятия по подгруппам		68	68
Часы внеаудиторной работы, включая самостоятельную работу обучающегося		134	134
Вид промежуточной аттестации (зачет, диф. зачет, экзамен)			Экзамен

3. Система оценивания

При текущем контроле учитывается несколько видов деятельности обучающихся:

- активность на семинарах (0 – 28 баллов);
- выполнение домашних заданий (0 – 18 баллов);
- разбор (защита) выполненных заданий (0 – 18 баллов);
- контрольные работы (0 – 36 баллов).

Активность на семинаре включает в себя решение задач у доски, участие в решении задачи «с места», решение задач опережающими темпами и т.д. За один семинар обучающийся может набрать до 2,5 баллов.

Выполнение домашних заданий подразумевает проверку в начале занятия наличия выполненных заданий. Оценивается в 1 балл.

Защита выполненных заданий подразумевает, что обучающийся поясняет ход решения задач, обосновывает применения тех или иных формул и законов. 0 – 6 баллов. Рекомендуется устраивать защиту заданий по трем модулям.

Критерии оценивания задач контрольных работ (**условный** максимум за одну задачу – 1 балл):
0 баллов (0%, «-»):

- Решение не приведено.
- Есть попытка решить задачу, но основные формулы или условия задачи приведены ошибочно.

0,3 балла (30%, «+»):

- Правильно приведены основные формулы, но рассуждения содержат грубые ошибки.
- Задача решена в общем виде, но отсутствуют количественные расчеты.
- Отсутствуют необходимые рисунки или построения.

0,7 балла (70%, «+-»):

- Ход решения верный, но в выводах формул или расчетах есть незначительные ошибки.
- Неверно определены размерности используемых/полученных величин.

1 балл (100%, «+»):

- Задача решена правильно, есть все необходимые комментарии, рисунки и расчеты.

По итогам набранных в семестре баллов обучающийся может/не может получить экзаменационную оценку (см. п. 6).

4. Содержание дисциплины

4.1. Тематический план дисциплины

Таблица 2

№ п/п	Наименование тем и/или разделов	Объем дисциплины, час.				
		Всего	Виды аудиторной работы (академические часы)			Иные виды контактной работы
			Лекции	Практические занятия	Лабораторные/ практические занятия по подгруппам	
1	2	3	4	5	6	7
1.	Электромагнитная природа света. Основные характеристики электромагнитных волн.	8	4			
2.	Основные фотометрические понятия и величины.	28	2	8	6	
3.	Преломление и отражение волн на плоской границе двух диэлектриков, на границе с металлом.	28	2	8	6	
4.	Геометрическая оптика. Линзы, зеркала, призмы. Центрированные системы.	44	4	10	10	
5.	Интерференция света.	44	4	8	12	
6.	Дифракция света.	36	4	10	6	
7.	Анизотропные среды. Поляризационные приборы и приспособления.	32	4	4	10	
8.	Рассеяние света.	6	2			
9.	Дисперсия света. Излучение и поглощение света.	14	2		6	
10.	Тепловое излучение.	20	2	2	6	
11.	Фотоэффект.	20	2	2	6	
12.	Квантовые усилители и генераторы.	6	2			
	Итого (часов)	288	34	52	68	2*

* – учитывает контактную работу на консультации перед экзаменом.

4.2. Содержание дисциплины по темам

Темы лекционных занятий:

Тема 1. Электромагнитная природа света. Основные характеристики электромагнитных волн. Структура и характеристики электромагнитных волн: частота, длина волны, волновое число, волновой вектор. Особенности оптического диапазона, видимого диапазона. Волновое уравнение, уравнение плоской бегущей волны. Гауссов пучок. Импульс электромагнитной волны. Сложение электромагнитных волн: биения, стоячая волна. Опыт Винера. Поляризация электромагнитных волн, виды поляризации. Поперечный и продольный эффект Доплера.

Тема 2. Основные фотометрические понятия и величины. Энергетическая и светотехнические характеристики излучения. Соотношение между ними. Абсолютная и относительная световая эффективность.

Тема 3. Преломление и отражение волн на плоской границе двух диэлектриков, на границе с металлом. Формулы Френеля. Интенсивность отраженной и преломленной волн. Закон Брюстера. Фазовые соотношения в падающей, отраженной и преломленной волнах. Потеря полуволны при отражении. Полное внутреннее отражение.

Тема 4. Геометрическая оптика. Линзы, зеркала, призмы. Центрированные системы. Законы геометрической оптики. Преломление на сферической поверхности. Тонкие линзы. Толстые линзы. Центрированные оптические системы. Микроскоп, телескоп. Построение изображений в оптических системах. Аберрации оптических систем.

Тема 5. Интерференция света. Условия наблюдения интерференции. Когерентные источники. Оптическая разность хода. Условия интерференционных максимумов и минимумов. Осуществление когерентных источников в оптике. Интерференция от точечных источников и источников конечного размера. Многолучевая интерференция. Кривые равного наклона и равной толщины. Кольца Ньютона. Просветление оптики. Интерференционные фильтры и зеркала. Интерферометры Фабри-Перо, Релея, Майкельсона.

Тема 6. Дифракция света. Принцип Гюйгенса-Френеля. Метод зон Френеля. Дифракция на круглом отверстии, экране. Зонная пластинка. Дифракция на прямоугольном крае экрана. Дифракция на щели. Распределение интенсивности в дифракционной картине. Дифракционная решетка. Характеристики дифракционных решеток. Критерий Релея. Дифракция на многомерных структурах. Рентгеноструктурный анализ. Физические основы голографии.

Тема 7. Анизотропные среды. Поляризационные приборы и приспособления. Двойное лучепреломление. Обыкновенный и необыкновенный лучи. Поляризация при двойном лучепреломлении. Тензор диэлектрической проницаемости. Эллипсоид лучевых скоростей. Построения Гюйгенса в одноосных кристаллах. Поляризационные призмы. Интерференция поляризованных волн. Пластинка в четверть волны. Вращение плоскости поляризации. Оптические изомеры. Эффект Фарадея. Искусственная анизотропия.

Тема 8. Рассеяние света. Релеевское рассеяние. Законы рассеяния света для среды Тиндаля. Молекулярное рассеяние. Комбинационное рассеяние. Его использование для исследования структуры молекул.

Тема 9. Дисперсия света. Излучение и поглощение света. Фазовая и групповая скорости. Нормальная и аномальная дисперсии. Электронная теория дисперсии. Комплексный показатель преломления. Закон Бугера-Ламберта-Бера. Фотометрический метод анализа.

Тема 10. Тепловое излучение. Излучение абсолютно черного тела. Закон Кирхгофа. Законы Стефана-Больцмана, Вина. Кризис классической теории излучения. Формула Планка. Оптическая пирометрия.

Тема 11. Фотоэффект. Виды фотоэффекта. Экспериментальные законы Столетова. Объяснение фотоэффекта с волновой и с квантовой точек зрения. Фотоэлементы, фотодиоды.

Тема 12. Квантовые усилители и генераторы. Спонтанные и вынужденные переходы. Коэффициенты Эйнштейна. Инверсная заселенность. Оптические резонаторы. Оптические

квантовые генераторы (лазеры). Свойства лазерного излучения. Основные типы лазеров: рубиновые, гелий-неоновые, лазеры на красителях.

Темы семинарских занятий:

Тема 2. Решение задач о нахождении фотометрических величин, освещенности поверхностей, яркости источников.

Тема 3. Решение задач о преломлении и отражении света, нахождении коэффициентов отражения и пропускания.

Тема 4. Решение задач на нахождение фокусных расстояний линз и оптических инструментов, построения в тонких и толстых линзах, определение линейного и углового увеличения оптических.

Тема 5. Решение задач на нахождение масштаба интерференционных картин, условий максимумов-минимумов, определения параметров интерферометров.

Тема 6. Решение задач о дифракции на одной и многих щелях, дифракции на отверстии, разрешающей способности оптических приборов.

Тема 7. Решение задач на применение закона Малюса, нахождения хода лучей при двойном лучепреломлении и угла вращения плоскости поляризации.

Тема 10. Решение задач на применение законов Стефана-Больцмана, Вина, Планка, определение температуры тел по параметрам их излучения.

Тема 11. Решение задач о нахождении работы выхода электрона, величины фототока насыщения.

Темы лабораторных занятий:

Лабораторная работа № 1. Преломление света на сферической поверхности и определение фокусных расстояний тонких линз.

Лабораторная работа № 2. Изучение микроскопа.

Лабораторная работа № 3. Определение показателя преломления стекла интерференционным методом.

Лабораторная работа № 4. Определение длины световой волны с помощью бипризмы Френеля.

Лабораторная работа № 5. Дифракция света.

Лабораторная работа № 6. Изучение с помощью интерферометра Релея зависимости показателя преломления газа от давления.

Лабораторная работа № 7. Определение коэффициента преломления и концентрации веществ в растворе рефрактометрическим методом.

Лабораторная работа № 8. Измерение температуры оптическим пирометром и изучение закона Стефана-Больцмана.

Лабораторная работа № 9. Определение фотометрических характеристик растворов с помощью фотоэлектрического колориметра.

Лабораторная работа № 10. Определение постоянной Планка и работы выхода электрона из металла по внешнему фотоэффекту.

Лабораторная работа № 11. Исследования в плоско-поляризованном свете.

Лабораторная работа № 12. Определение резонансного потенциала атома гелия.

Лабораторная работа № 13. Градуировка спектрометра и изучение серийных закономерностей в спектре атома водорода.

Лабораторная работа № 14. Вращение плоскости поляризации оптически активными веществами и определение концентрации вещества в растворах.

5. Учебно-методическое обеспечение и планирование самостоятельной работы обучающихся

Таблица 3

№ темы	Темы	Формы СРС, включая требования к подготовкам занятиям
1.	Электромагнитная природа света. Основные характеристики электромагнитных волн. Суперпозиция волн. Поляризация. Эффект Доплера.	1. Проработка лекций.
2.	Основные фотометрические понятия и величины.	1. Проработка лекций. 2. Выполнение домашнего задания (проверяется на семинаре). 3. Подготовка лабораторных журналов/отчетов (необходимо для выполнения лабораторной работы).
3.	Преломление и отражение волн на плоской границе двух диэлектриков, на границе с металлом.	1. Проработка лекций. 2. Выполнение домашнего задания (проверяется на семинаре). 3. Подготовка лабораторных журналов/отчетов (необходимо для выполнения лабораторной работы).
4.	Геометрическая оптика. Линзы, зеркала, призмы. Центрированные системы.	1. Проработка лекций. 2. Выполнение домашнего задания (проверяется на семинаре). 3. Подготовка лабораторных журналов/отчетов (необходимо для выполнения лабораторной работы).
5.	Интерференция света.	1. Проработка лекций. 2. Выполнение домашнего задания (проверяется на семинаре). 3. Подготовка лабораторных журналов/отчетов (необходимо для выполнения лабораторной работы).
6.	Дифракция света.	1. Проработка лекций. 2. Выполнение домашнего задания (проверяется на семинаре). 3. Подготовка лабораторных журналов/отчетов.

7.	Анизотропные среды. Поляризационные приборы и приспособления.	1. Проработка лекций. 2. Выполнение домашнего задания (проверяется на семинаре). 3. Подготовка лабораторных журналов/отчетов (необходимо для выполнения лабораторной работы).
8.	Рассеяние света.	1. Проработка лекций.
9.	Дисперсия света. Излучение и поглощение света.	1. Проработка лекций. 2. Подготовка лабораторных журналов/отчетов (необходимо для выполнения лабораторной работы).
10.	Тепловое излучение.	1. Проработка лекций. 2. Выполнение домашнего задания (проверяется на семинаре). 3. Подготовка лабораторных журналов/отчетов (необходимо для выполнения лабораторной работы).
11.	Фотоэффект.	1. Проработка лекций. 2. Выполнение домашнего задания (проверяется на семинаре). 3. Подготовка лабораторных журналов/отчетов (необходимо для выполнения лабораторной работы).
12.	Квантовые усилители и генераторы.	1. Проработка лекций.

6. Промежуточная аттестация по дисциплине

Экзаменационную оценку возможно получить автоматически, при условии, что:
количество баллов, полученных в течение семестра, составляет 61% от максимально возможного при усвоении дисциплины – оценка "удовлетворительно";

количество баллов, полученных в течение семестра, составляет 76% от максимально возможного при усвоении дисциплины – оценка "хорошо".

Если студент желает повысить оценку или претендует на оценку "отлично", то он сдает экзамен в устной форме.

Экзаменационный билет, содержит 2 теоретических вопроса и задачу.

Ответы на экзаменационный билет оцениваются по следующим критериям:

"отлично" - студент дал полный ответ на теоретические вопросы, правильно решил задачу, продемонстрировал взаимосвязь теоретических основ оптических явлений и практики;

"хорошо" - студент показал систематические знания по дисциплине, способность применять их для решения практических задач, но имеются недочеты в ответах и решениях;

"удовлетворительно" - студент имеет представления об основных оптических явлениях и законах, однако недостаточно владеет теоретическим материалом, в ответах и решениях допускает ошибки, которые может исправить под руководством преподавателя;

"неудовлетворительно" - студент не имеет систематических знаний в области оптики, слабо разбирается в теоретических и практических вопросах, допускает принципиальные ошибки в ответах и решениях.

Обязательным условием сдачи экзамена на "отлично" является защита всех лабораторных работ и написание контрольных работ по дисциплине на 90% (или более) баллов.

Студент, не сдавший все лабораторные работы и/или пропустивший более 50% семинаров без уважительной причины считается не освоившим дисциплину и не может получить положительной оценки на экзамене.

6.1 Оценочные материалы для проведения промежуточной аттестации по дисциплине

Примерные вопросы к экзамену

1. Электромагнитная природа света. Характеристика оптического диапазона электромагнитных волн. Особенности видимого диапазона.
2. Структура плоской электромагнитной волны и ее представление в комплексной форме. Сферические волны. Сходящиеся и расходящиеся сферические волны.
3. Биения. Стоячие волны. Экспериментальное доказательство электромагнитной природы света.
4. Оптика движущихся сред. Эффект Доплера. Красные смещения в спектрах Галактик.
5. Плотность потока энергии и импульса электромагнитных волн. Распределение плотности потока энергии по сечению пучка. Гауссов пучок.
6. Плотность импульса электромагнитной волны. Давление света, его открытие, проявление, приложения.
7. Основные фотометрические понятия и величины. Соотношения между энергетическими и световыми характеристиками.
8. Поляризация электромагнитных волн. Виды поляризации. Число независимых поляризаций.
9. Преломление и отражение света на плоской границе двух диэлектриков. Формулы Френеля.
10. Интенсивность отраженной и преломленной волн. Коэффициент отражения и пропускания.
11. Закон Брюстера. Степень поляризации отраженной и преломленной волн.
12. Фазовые соотношения в падающей, отраженной и преломленной волнах. Потеря полуволны при отражении.
13. Полное внутреннее отражение. Световоды. Диффузное отражение.
14. Геометрическая оптика как предельный случай волновой оптики. Преломление на сферической поверхности. Тонкие линзы. Зеркала.
15. Центрированная оптическая система и ее кардинальные элементы.
16. Построение изображений в оптических системах. Аберрации оптических систем (астигматизм, кома, сферическая и хроматическая аберрации, дисторсия). Простейшие оптические приборы (микроскопы, телескопы, лупа).
17. Интерференция света. Необходимые и достаточные условия для ее наблюдения. Условия интерференционных максимумов – минимумов.
18. Осуществление когерентных источников в оптике. Основные характеристики интерференционных схем.
19. Интерференция от двух когерентных источников. Оптическая разность хода, расстояние между интерференционными максимумами.
20. Интерференция от источников конечного размера.
21. Кривые равной толщины и равного наклона (интерференция на плоскопараллельной пластинке и клине).
22. Кольца Ньютона в отраженном и проходящем свете.
23. Просветление оптики. Интерференционные фильтры, зеркала.
24. Интерферометр Фабри-Перо. Разрешающая способность. Область свободной дисперсии.
25. Интерферометр Майкельсона, интерферометр Релея. Применение интерферометров.
26. Метод зон Френеля. Зонная пластинка. Графическое вычисление амплитуды.

27. Дифракция на круглом отверстии, экране. Разрешающая способность микроскопа и телескопа.
28. Дифракция на прямоугольном крае экрана. Спираль Корню.
29. Дифракция Фраунгофера на щели. Распределение интенсивности в дифракционной картине.
30. Дифракционная решетка, дифракционный спектр. Интенсивность в спектре дифракционной решетки.
31. Угловая и линейная дисперсии решетки. Критерий Релея. Разрешающая способность решетки.
32. Дифракция на многомерных решетках. Дифракция рентгеновских лучей на кристаллической решетке. Рентгеноструктурный анализ.
33. Сравнение характеристик спектральных аппаратов.
34. Физические основы голографии. Схема записи и восстановления изображения тонкослойных голограмм. Особенности голограмм как носителей информации. Применение голограмм.
35. Двойное лучепреломление. Обыкновенный и необыкновенный лучи. Двуосные и одноосные кристаллы.
36. Анизотропные среды. Тензор диэлектрической проницаемости. Распространение плоской волны в анизотропной среде.
37. Построения Гюйгенса для различных случаев преломления лучей на поверхности одноосного кристалла.
38. Поляризация при двойном лучепреломлении. Поляроиды. Поляризационные и дwoякопреломляющие призмы. Плеохроизм.
39. Интерференция поляризованных волн при прохождении через кристаллы. Пластика в четверть, половину и целую волну. Анализ состояния поляризации света.
40. Искусственная анизотропия при механических деформациях, в электрическом и магнитном полях.
41. Вращение плоскости поляризации в оптически активных веществах. Элементарная феноменологическая теория вращения плоскости поляризации. Эффект Фарадея.
42. Рассеяние света. Релеевское рассеяние. Зависимость интенсивности света от угла рассеяния. Поляризация света при рассеянии.
43. Комбинационное рассеяние света.
44. Дисперсия света. Нормальная и аномальная дисперсия. Фазовая и групповая скорости.
45. Поглощение света. Закон Ламберта-Бугера-Бера.
46. Излучение абсолютно черного тела. Закон Кирхгофа. Закон Стефана-Больцмана. Закон Вина.
47. Формула Релея-Джинса. Трудности классической теории. Элементарная квантовая теория излучения. Формула Планка.
48. Фотоэффект. Основные экспериментальные закономерности и их истолкование. Определение постоянной Планка из фотоэффекта. Фотоэлектрические приемники света.
49. Спонтанные и вынужденные переходы. Коэффициенты Эйнштейна. Создание инверсной зависимости.
50. Лазеры. Принципиальная схема работы лазера. Характеристики некоторых типов лазеров: рубинового, гелий-неонового. Свойства лазерного луча.

Примерные задачи для контрольной работы/экзамена

1. Какую силу тока J покажет гальванометр, присоединенный к селеновому фотоэлементу, если на расстоянии $r = 75$ см от него поместить лампочку, полный световой поток которой равен $\Phi_0 = 1200$ лм? Рабочая поверхность фотоэлемента $S = 10$ см², чувствительность $i = 300$ мкА/лм.
2. Линза, расположенная на оптической скамье между лампочкой и экраном, дает на экране резкое увеличенное изображение лампочки. Когда линзу передвинули на 40 см ближе к экрану, на нем появилось резкое уменьшенное изображение лампочки. Определить фокусное расстояние f линзы, если расстояние от лампочки до экрана ровно 80 см.
3. Собирающую линзу сложили вплотную с рассеивающей и полученную систему линз поместили на оптической скамье между лампочкой и экраном. Определить фокусное расстояние f

рассеивающей линзы, если расстояние от предмета до системы линз $a = 60$ см, от системы линз до экрана $b = 40$ см и фокусное расстояние собирающей линзы $f_1 = 8$ см.

4. Преломляющий угол призмы $A = 60^\circ$. Угол наименьшего отклонения луча от первоначального направления $\delta = 30^\circ$. Определить показатель преломления стекла, из которого изготовлена призма?

5. Расстояние между двумя когерентными источниками света ($\lambda = 0,5$ мкм) равно $0,1$ мм. Расстояние между светлыми полосами на экране в средней части интерференционной картины равно 1 см. Определить расстояние от источников до экрана.

6. Пучок параллельных лучей ($\lambda = 0,6$ мкм) падает под углом $i = 30^\circ$ на мыльную пленку (показатель преломления принять равным $1,3$). При какой наименьшей толщине пленки отраженные лучи будут максимально ослаблены? Максимально усилены?

7. Между двумя плоскопараллельными стеклянными пластинами положили очень тоненькую проволочку. Проволочка находится на расстоянии $l = 75$ мм от линии соприкосновения пластинок и ей параллельна. В отраженном свете ($\lambda = 0,5$ мкм) на верхней пластинке видны интерференционные полосы. Определить толщину проволочки, если на протяжении $d = 30$ мм насчитывается $m = 16$ светлых полос.

8. На круглое отверстие диаметром $d = 4$ мм падает нормально параллельный пучок лучей ($\lambda = 0,5$ мкм). Точка наблюдения находится на оси отверстия на расстоянии $l = 1$ м от него. Сколько зон Френеля укладывается в отверстие? Темное или светлое пятно получится в центре дифракционной картины, если в месте наблюдения поместить экран?

9. Период дифракционной решетки $a + b = 0,01$ мм. Какое наименьшее число штрихов должна содержать решетка, чтобы две составляющие желтой линии натрия ($\lambda = 5890 \text{ \AA}$ и $\lambda = 5896 \text{ \AA}$) можно было видеть раздельно в спектре первого порядка? Определить наименьшую длину l решетки.

10. Предельный угол полного внутреннего отражения луча на границе жидкости с воздухом равен 43° . Каков должен быть угол падения луча из воздуха на поверхность жидкости, чтобы отраженный луч был максимально поляризован?

6.2 Критерии оценивания компетенций:

Таблица 4

Карта критериев оценивания компетенций

№ п/п	Код и наименование компетенции	Оценочные материалы	Критерии оценивания
1.	ОПК-1: способен применять базовые знания в области физико-математических и (или) естественных наук в сфере своей профессиональной деятельности	<ol style="list-style-type: none"> 1. Контрольная работа № 1, 10 вариантов; 2. Контрольная работа № 2, 7 вариантов; 3. Вопросы к экзамену, 50 вопросов. 	<p>Пороговый (удовл.)</p> <p>Знает – фундаментальные разделы общей и теоретической физики (основы геометрической, волновой и квантовой оптики).</p> <p>Умеет – применять физические законы и расчетные формулы при решении конкретных задач.</p>

			<p style="text-align: center;">Базовый (хор.)</p> <p>Знает – фундаментальные разделы общей и теоретической физики (основы геометрической, волновой и квантовой оптики); – методы измерений и исследований, основанные на различных оптических эффектах.</p> <p>Умеет – применять физические законы и расчетные формулы при решении конкретных задач; – получать расчетные формулы для различных оптических установок и систем.</p> <hr/> <p style="text-align: center;">Повышенный (отл.)</p> <p>Знает – фундаментальные разделы общей и теоретической физики (основы геометрической, волновой и квантовой оптики); – методы измерений и исследований, основанные на различных оптических эффектах;</p> <p>Умеет – применять физические законы и расчетные формулы при решении конкретных задач; – получать расчетные формулы для различных оптических установок и систем; – использовать различные разделы физики для решения комбинированных задач.</p>
2.	ОПК-2: способен проводить научные исследования физических объектов, систем и процессов, обрабатывать и представлять экспериментальные данные	4. Контрольная работа № 1, 10 вариантов; 5. Контрольная работа № 2, 7 вариантов; 6. Вопросы к экзамену, 50 вопросов.	<p style="text-align: center;">Пороговый (удовл.)</p> <p>Знает – основы эксплуатации физической и аналитической аппаратуры для проведения исследований.</p> <p>Умеет – пользоваться и выполнять простые операции на физическом и аналитическом оборудовании.</p>

			<p align="center">Базовый (хор.)</p> <p>Знает – основы эксплуатации физической, аналитической и технологической аппаратуры для проведения исследований; некоторые методы исследований технологических процессов, явлений.</p> <p>Умеет – проводить учебные исследования процессов, явлений с помощью физической, аналитической и технологической аппаратуры.</p>
			<p align="center">Повышенный (отл.)</p> <p>Знает – основы профессиональной эксплуатации физической, аналитической и технологической аппаратуры для проведения исследований; эффективные методы исследований технологических процессов, явлений.</p> <p>Умеет – проводить учебно-научные исследования процессов, явлений с помощью физической, аналитической и технологической аппаратуры.</p>

7. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

7.1. Основная литература:

Ландсберг, Г.С. Оптика : учебное пособие для вузов / Г.С. Ландсберг. — 7-е изд., стер. — Москва: ФИЗМАТЛИТ, 2017. — 852 с. — ISBN 978-5-9221-1742-5. — Текст: электронный. — URL: <https://znanium.com/catalog/product/1223523> (дата обращения: 14.05.2020). — Режим доступа: по подписке.

7.2. Дополнительная литература:

1. Сивухин, Д.В. Общий курс физики: Учебное пособие / Д.В. Сивухин. — 3-е изд. — Москва: ФИЗМАТЛИТ, 2002. — 792 с.: ISBN 5-9221-0228-1. — Текст : электронный. — URL: <https://znanium.com/catalog/product/944794> (дата обращения: 14.05.2020). — Режим доступа: по подписке.

2. Маскевич, А.А. Оптика: Учебное пособие / А.А. Маскевич. — Москва : НИЦ Инфра-М; Минск : Нов. знание, 2012. — 656 с.: ил. — (Высшее образование). ISBN 978-5-16-005678-4. — Текст: электронный. — URL: <https://znanium.com/catalog/product/306513> (дата обращения: 14.05.2020). — Режим доступа: по подписке.

7.3. Интернет-ресурсы:

Нет рекомендаций.

7.4. Современные профессиональные базы данных и информационные справочные системы:
Нет рекомендаций.

8. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине

Лицензионное ПО:

В случае дистанционной формы обучения рекомендуется использовать платформу Microsoft Teams.

9. Технические средства и материально-техническое обеспечение дисциплины

Для проведения лекционных занятий требуется аудитория, оборудованная мультимедийными средствами, а так же меловой или интерактивной доской.

Для проведения семинарских занятий требуется аудитория, оборудованная меловой или интерактивной доской.

Для проведения лабораторного практикума требуется аудитория, подключенная к водопроводу и канализации, и оборудованная устройствами для полного затемнения окон.

Список оборудования для проведения лабораторного практикума:

Лабораторная установка № 1: оптическая скамья, осветитель, коллиматор, объект-сетка, набор линз, экран.

Лабораторная установка № 2: оптическая скамья, набор линз, осветитель, микроскоп МБИ-1, окулярный микрометр, объект-микрометр, образцы калиброванной проволоки.

Лабораторная установка № 3: оптическая скамья, лазер, экран с рассеивающей линзой, толстая стеклянная пластина.

Лабораторная установка № 4: оптическая скамья, осветитель, узкая щель, бипризма, окулярный микроскоп, светофильтры.

Лабораторная установка № 5: оптическая скамья с осветителем, коллиматор, ограничительная щель, рабочая щель, светофильтры, собирающая линза, окулярный микроскоп.

Лабораторная установка № 6: интерферометр ЛИР-1, гофрированный цилиндр, U-образный водный манометр, барометр, термометр.

Лабораторная установка № 7: рефрактометр ИРФ-22, набор калиброванных растворов глицерина в воде.

Лабораторная установка № 8: оптический пирометр ОППИР-17Э, источник постоянного тока, лампа накаливания, реостат, автотрансформатор, амперметр, вольтметр.

Лабораторная установка № 9: фотоколориметр ФЭК-56М, набор кювет, набор окрашенных растворов.

Лабораторная установка № 10: дифракционный монохроматор МУМ-2, источник света, набор нейтральных светофильтров (ослабителей), цифровой вольтметр.

Лабораторная установка № 11: набор стеклянных пластинок, оптическая шайба с устройством отсчета угла падения луча, осветитель, фотоэлемент совмещенный с поляризатором, люксметр.

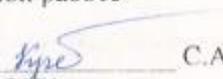
Лабораторная установка № 12: лабораторный комплекс ЛКК-2, состоящий из модуля «опыт Франка-Герца» и сигнального осциллографа СР50-Ш4.

Лабораторная установка № 13: монохроматор УМ-2, ртутная лампа, спектральная водородная трубка, блок питания лампы и трубки, источник сетевого напряжения.

Лабораторная установка № 14: поляриметр СМ-3, наливная кювета, набор растворов сахара.

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«ТЮМЕНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

УТВЕРЖДАЮ
Заместитель директора
Физико-технического института по
учебной работе


_____ С.А. Креков
23.06.2021

ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ МЕХАНИКА
Рабочая программа
для обучающихся по направлению подготовки
03.03.02 Физика
Профиль: Фундаментальная физика
форма обучения очная

Нерадовский Д. Ф. Теоретическая механика. Рабочая программа для обучающихся по направлению подготовки 03.03.02 Фундаментальная физика, академический бакалавриат, форма обучения очная. Тюмень, 2020.

Рабочая программа дисциплины (модуля) опубликована на сайте ТюмГУ: Теоретическая механика [электронный ресурс] / Режим доступа: <https://www.utmn.ru/sveden/education/#>.

Рабочая программа дисциплины включает следующие разделы:

1. Пояснительная записка

Цель дисциплины: дать студентам последовательную систему знаний, необходимых для формирования в сознании физической картины окружающего мира, применения физических понятий и законов к решению конкретных физических задач.

Задачи дисциплины:

- познакомить студентов с фундаментальными положениями классической механики;
- в рамках векторного формализма указать на основные допущения теории, дать глубокое понимание законов Ньютона;
- познакомить студентов с методом Лагранжа, показать возможность ковариантной записи уравнений движения;
- познакомить студентов с методом Гамильтона, каноническими преобразованиями и инвариантами канонических преобразований;
- познакомить студентов с методом Гамильтона-Якоби;
- продемонстрировать применение рассмотренных методов к решению конкретных задач о движении материальной точки, о движении системы материальных точек, о движении твердого тела, малых колебаниях.

1.1. Место дисциплины в структуре образовательной программы

Данная дисциплина входит в вариативную часть блока Б1 Дисциплины, изучается в 4 семестре

Знания, полученные в ходе изучения дисциплины «Теоретическая механика» необходимы для изучения последующих дисциплин «Квантовая теория», «Термодинамика и статистическая физика», «Механика сплошной среды».

1.2. Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения данной дисциплины

Код и наименование компетенции (из ФГОС ВО)	Компонент (знаниевый/функциональный)
ОПК-1: способен применять базовые знания в области физико-математических и (или) естественных наук в сфере своей профессиональной деятельности	<p>Знает</p> <ul style="list-style-type: none"> – фундаментальные разделы общей и теоретической физики (основы ньютоновской механики, формализм Лагранжа и Гамильтона); – методы решения задач теоретической физики, основанные на стандартных математических приемах.
	<p>Умеет</p> <ul style="list-style-type: none"> – применять физические законы и расчетные формулы при решении конкретных задач механики; – получать расчетные формулы для различных механических систем из решения дифференциальных уравнений движения;

2. Структура и объем дисциплины

Таблица 1

Вид учебной работы		Всего часов (академические часы)	Часов в семестре (академические часы)
Общая трудоемкость	зач. ед.	4	4
	час	144	144
Из них:			
Часы аудиторной работы (всего):		72	72
Лекции		36	36
Практические занятия		36	36
Лабораторные / практические занятия по подгруппам		0	0
Часы внеаудиторной работы, включая самостоятельную работу обучающегося		72	72
Вид промежуточной аттестации (зачет, диф. зачет, экзамен)			Экзамен

3. Система оценивания

При текущем контроле учитывается несколько видов деятельности обучающихся:

- активность на семинарах (0 – 2 баллов);
- выполнение домашних заданий (0 – 2 баллов);
- контрольные работы (0 – 30 баллов);

Активность на семинаре включает в себя решение задач у доски, участие в решении задачи «с места», решение задач опережающими темпами и т.д. За один семинар обучающийся может набрать до 2 баллов.

Выполнение домашних заданий подразумевает проверку в начале занятия наличия выполненных заданий. Оценивается до 2 баллов.

Критерии оценивания задач контрольных работ максимум за одну задачу – 10 баллов):

0 баллов (0%, «-»):

- Решение не приведено.
- Есть попытка решить задачу, но основные формулы или условия задачи приведены ошибочно.

3 балла (30%, «-+»):

- Правильно приведены основные формулы, но рассуждения содержат грубые ошибки.
- Задача решена в общем виде, но отсутствуют количественные расчеты.
- Отсутствуют необходимые рисунки или построения.

7 баллов (70%, «+-»):

- Ход решения верный, но в выводах формул или расчетах есть незначительные ошибки.
- Неверно определены размерности используемых/полученных величин.

10 баллов (100%, «+»):

- Задача решена правильно, есть все необходимые комментарии, рисунки и расчеты.

По итогам набранных в семестре баллов обучающийся может получить экзаменационную оценку (см. п. 6).

4. Содержание дисциплины

4.1. Тематический план дисциплины

Таблица 2

№ п/п	Наименование тем и/или разделов	Объем дисциплины, час.				
		Всего	Виды аудиторной работы (академические часы)			Иные виды контактной работы
			Лекции	Практические занятия	Лабораторные/ практические занятия по подгруппам	
1	2	3	4	5	6	7
1.	Основные понятия	4	2	0	0	0
2.	Основные понятия кинематики	6	0	2	0	0
3.	Связь геометрии с механикой.	4	2	0	0	0
4.	Системы координат	4	0	2	0	0
5.	Свойства сил	4	2	0	0	0
6.	Прямая и обратная задача механики	4	0	2	0	0
7.	Движение относительно неинерциальной системы отсчета	6	2	0	0	0
8.	Движение заряженной частицы в электромагнитном поле	4	0	2	0	0
9.	Интегралы движения	4	2	0	0	0
10.	Интегралы движения. Количество движения	4	0	2	0	0
11.	Движение материальной точки в силовом поле	4	2	0	0	0
12.	Интегралы движения. Момент количества движения	4	0	2	0	0
13	Движение материальной точки в силовом поле (продолжение)	4	2	0	0	0
14	Интегралы движения. Механическая энергия	4	0	2	0	0
15	Задача двух тел	4	2	0	0	0
16	Контрольная работа по физическим основам механики	4	0	2	0	0
17	Механические системы со связями	4	2	0	0	0

18	Уравнения Лагранжа 1-го рода	4	0	2	0	0
19	Общее уравнение механики	4	2	0	0	0
20	Общее уравнение динамики	4	0	2	0	0
21	Уравнения Лагранжа в независимых координатах	4	2	0	0	0
22	Уравнения Лагранжа 2-го рода	4	0	2	0	0
23	Движение в окрестности положения равновесия. Линейные колебания	4	2	0	0	0
24	Интегралы движения и их связь со свойствами симметрии	4	0	2	0	0
25	Уравнения Гамильтона	4	2	0	0	0
26	Линейные колебания систем с одной степенью свободы	4	0	2	0	0
27	Канонические преобразования	4	2	0	0	0
28	Линейные колебания систем с несколькими степенями свободы	4	0	2	0	0
29	Уравнение Гамильтона-Якоби	4	2	0	0	0
30	Уравнения Гамильтона	4	0	2	0	0
31	Вариационные принципы в механике	6	2	2	0	0
32	Скобки Пуассона	4	0	2	0	0
33	Канонические переменные	4	2	0	0	0
34	Контрольная работа. Уравнения Лагранжа. Уравнения Гамильтона	6	2	2	0	0
	Итого(часов)	144	36	36	0	2*

* – учитывает контактную работу на консультацию перед экзаменом.

4.2. Содержание дисциплины по темам

Темы лекционных занятий:

1. Основные понятия

Основные понятия (о материальной точке, пространстве, времени, силе, массе и инерциальной системе отсчета) и законы классической механики Ньютона.

2. Связь геометрии с механикой.

Принцип относительности Галилея. Принцип механической причинности. Основные системы координат.

3. Свойства сил

Силы в механике: силы центральные, потенциальные, гироскопические и диссипативные.

4. Движение относительно неинерциальной системы отсчета

Положение системы отсчета и углы Эйлера. Теорема Эйлера и бесконечно малый поворот. Разложение произвольного движения системы отсчета на поступательное движение и изменение ориентации.

5. Интегралы движения

Законы изменения и сохранения импульса, кинетического момента и энергии.

6. Движение материальной точки в силовом поле

Законы Кеплера.

7. Движение материальной точки в силовом поле (продолжение)

Связь законов сохранения с симметрией силовых полей.

8. Задача двух тел

Движение центра масс, законы изменения и сохранения импульса, кинетического момента и энергии относительно инерциальных систем отсчета. Общее решение задачи двух тел. Упругое рассеяние двух частиц. Дифференциальное поперечное сечение рассеяния. Рассеяние частиц, взаимодействующих по кулоновскому закону. Формула Резерфорда.

9. Механические системы со связями

Понятие о связях. Классификация связей. Уравнение Лагранжа с реакциями связей.

10. Общее уравнение механики

Общее уравнение механики. Законы изменения импульса, кинетического момента и энергии для систем со связями.

11. Уравнения Лагранжа в независимых координатах

Циклические координаты и симметрия силовых полей и связей. Функция Лагранжа. Обобщенный потенциал. Законы изменения и сохранения обобщенного импульса и обобщенной энергии.

12. Движение в окрестности положения равновесия. Линейные колебания

Характеристическое уравнение и собственные частоты линейных колебаний. Собственные и вынужденные колебания систем при наличии гироскопических и диссипативных сил. Физические особенности нелинейных колебаний. Собственные и вынужденные колебания.

13. Уравнения Гамильтона

Функция Гамильтона. Канонические уравнения Гамильтона. Скобки и теорема Пуассона.

14. Канонические преобразования

Фазовое пространство. Канонические преобразования. Теорема Лиувилля о сохранении фазового объема ансамбля механических систем.

15. Уравнение Гамильтона-Якоби

Функция действия и уравнение Гамильтона-Якоби. Теорема Якоби.

16. Вариационные принципы в механике

Уравнения Лагранжа и вариационный принцип Гамильтона-Остроградского.

17. Канонические переменные

Переменные действия – угол. Адиабатические инварианты. Точность сохранения адиабатического инварианта. Условно-периодическое движение.

Темы семинарских занятий:

Тема 1. Основные понятия кинематики Перемещение, скорость и ускорение материальной точки в декартовой системе координат. Траектория движения. Радиус кривизны траектории. Сопровождающая система координат.

Тема 2. Системы координат Криволинейные системы координат: цилиндрическая (полярная), сферическая. Якобиан преобразования. Коэффициенты Ляме и выражения для базисных ортов в криволинейных системах координат. Радиус-вектор, скорость и ускорения частицы в криволинейных системах координат.

Тема 3. Прямая и обратная задача механики Интегрирование уравнений движения. Вычисление сил при заданных законах движения.

Тема 4. Движение заряженной частицы в электромагнитном поле Интегрирование уравнений движения заряженной частицы в электрическом и магнитном полях.

Тема 5. Интегралы движения. Количество движения Уравнение изменения и сохранения количества движения материальной точки и системы точек.

Тема 6. Интегралы движения. Момент количества движения Уравнение изменения момента количества движения материальной точки и системы точек.

Тема 7. Интегралы движения. Механическая энергия Уравнение закона изменения и сохранения механической энергии. Одномерное движение частицы в потенциальном поле. Фinitное и инфинитное движения. Точки поворота. Период колебания частицы в потенциальной яме.

Тема 8. Контрольная работа по физическим основам механики

Тема 9. Уравнения Лагранжа 1-го рода Движение со связями. Силы реакции связи. Уравнение Лагранжа с реакциями связей.

Тема 10. Общее уравнение динамики Решение задач механики систем со связями с использованием общего уравнения динамики.

Тема 11. Уравнения Лагранжа 2-го рода Обобщенные координаты. Функция Лагранжа. Уравнения Лагранжа 2-го рода.

Тема 12. Интегралы движения и их связь со свойствами симметрии Циклические координаты. Интегралы движения в лагранжевом формализме.

Тема 13. Линейные колебания систем с одной степенью свободы Собственные колебания. Колебания при наличии диссипативных сил. Вынужденные колебания. Метод функции Грина для интегрирования уравнений вынужденных колебаний. Функция источника.

Тема 14. Линейные колебания систем с несколькими степенями свободы Функция Лагранжа системы с несколькими степенями свободы. Секулярное уравнение. Нормальные моды колебаний.

Тема 15. Уравнения Гамильтона Функция Гамильтона. Канонические переменные. Уравнения Гамильтона.

Тема 16. Скобки Пуассона Скобки Пуассона. Канонические преобразования. Теорема Лиувилля. Проверка применимости теоремы Лиувилля для консервативных систем.

Тема 17. Контрольная работа. Уравнения Лагранжа. Уравнения Гамильтона.

5. Учебно-методическое обеспечение и планирование самостоятельной работы обучающихся

Таблица 3

№ Темы	Темы	Формы СРС, включая требования к подготовкам занятиям
1	Основные понятия	Чтение обязательной и дополнительной литературы
2	Основные понятия кинематики	Проработка лекций
3	Связь геометрии с механикой.	Чтение обязательной и дополнительной литературы
4	Системы координат	Проработка лекций
5	Свойства сил	Чтение обязательной и дополнительной литературы
6	Прямая и обратная задача механики	Проработка лекций
7	Движение относительно неинерциальной системы отсчета	Чтение обязательной и дополнительной литературы
8	Движение заряженной частицы в электромагнитном поле	Проработка лекций
9	Интегралы движения	Чтение обязательной и дополнительной литературы
10	Интегралы движения. Количество движения	Проработка лекций
11	Движение материальной точки в силовом поле	Чтение обязательной и дополнительной литературы
12	Интегралы движения. Момент количества движения	Проработка лекций
13	Движение материальной точки в силовом поле (продолжение)	Чтение обязательной и дополнительной литературы
14	Интегралы движения. Механическая энергия	Проработка лекций
15	Задача двух тел	Чтение обязательной и дополнительной литературы

16	Контрольная работа по физическим основам механики	Проработка лекций
17	Механические системы со связями	Чтение обязательной и дополнительной литературы
18	Уравнения Лагранжа 1-го рода	Проработка лекций
19	Общее уравнение механики	Чтение обязательной и дополнительной литературы
20	Общее уравнение динамики	Проработка лекций
21	Уравнения Лагранжа в независимых координатах	Чтение обязательной и дополнительной литературы
22	Уравнения Лагранжа 2-го рода	Проработка лекций
23	Движение в окрестности положения равновесия. Линейные колебания	Чтение обязательной и дополнительной литературы
24	Интегралы движения и их связь со свойствами симметрии	Проработка лекций
25	Уравнения Гамильтона	Чтение обязательной и дополнительной литературы
26	Линейные колебания систем с одной степенью свободы	Проработка лекций
27	Канонические преобразования	Чтение обязательной и дополнительной литературы
28	Линейные колебания систем с несколькими степенями свободы	Проработка лекций
29	Уравнение Гамильтона-Якоби	Чтение обязательной и дополнительной литературы
30	Уравнения Гамильтона	Проработка лекций
31	Вариационные принципы в механике	Чтение обязательной и дополнительной литературы
32	Скобки Пуассона	Проработка лекций
33	Канонические переменные	Чтение обязательной и дополнительной литературы
34	Контрольная работа. Уравнения Лагранжа. Уравнения Гамильтона	Проработка лекций

6. Промежуточная аттестация по дисциплине

Экзаменационную оценку возможно получить автоматически, при условии, что:

количество баллов, полученных в течение семестра, составляет 61% от максимально возможного при усвоении дисциплины – оценка "удовлетворительно";

количество баллов, полученных в течение семестра, составляет 76% от максимально возможного при усвоении дисциплины – оценка "хорошо".

Если студент желает повысить оценку или претендует на оценку "отлично", то он сдает экзамен в устной форме.

Экзаменационный билет, содержит 2 теоретических вопроса и задачу.

Ответы на экзаменационный билет оцениваются по следующим критериям:

"отлично" - студент дал полный ответ на теоретические вопросы, правильно решил задачу, продемонстрировал взаимосвязь теоретических основ механики;

"хорошо" - студент показал систематические знания по дисциплине, способность применять их для решения практических задач, но имеются недочеты в ответах и решениях;

"удовлетворительно" - студент имеет представления об основных законах и теоремах механики, однако недостаточно владеет теоретическим материалом, в ответах и решениях допускает ошибки, которые может исправить под руководством преподавателя;

"неудовлетворительно" - студент не имеет систематических знаний в области механики, слабо разбирается в теоретических и практических вопросах, допускает принципиальные ошибки в ответах и решениях.

Студент пропустивший более 50% семинаров без уважительной причины считается не освоившим дисциплину и не может получить положительной оценки на экзамене.

6.1. Оценочные материалы для проведения промежуточной аттестации по дисциплине

Примерные вопросы к экзамену

1. Кинематика материальной точки. Способы задания движения материальной точки.
2. Механические системы. Взаимодействие в классической механике. Инерциальные системы отсчета. Законы Ньютона.
3. Принцип относительности Галилея. Инвариантность и ковариантность уравнений движения.
4. Закон изменения и сохранения энергии.
5. Закон изменения и сохранения импульса.
6. Закон изменения и сохранения момента импульса.
7. Одномерное движение. Финитное и инфинитное движение. Период колебаний
8. Движение частицы в центральном поле.
9. Общие свойства движения частиц в центральном поле.
10. Задача Кеплера.
11. Задача двух тел.
12. Рассеяние частицы на силовом центре.
13. Упругое рассеяние двух частиц. Диаграмма скоростей.
14. Рассеяние пучка частиц на силовом центре и на пучке частиц. Дифференциальное и полное сечение рассеяния.
15. Формула Резерфорда.
16. Классификация связей. Примеры.
17. Принцип Даламбера. Уравнения Лагранжа первого рода.
18. Принцип наименьшего действия Гамильтона.
19. Уравнения Лагранжа второго рода. Обобщенные импульсы. Свойства функции Лагранжа.
20. Циклические координаты и законы сохранения.
21. Малые колебания систем с одной степенью свободы.
22. Затухающие колебания ЛГО. Функция Рэлея.
23. Вынужденные колебания ЛГО. Явления резонанса.
24. Вынужденные колебания ЛГО при наличии трения.
25. Малые колебания систем со многими степенями свободы. Нормальные координаты.

26. Кинематика твердого тела. Углы Эйлера.
27. Теоремы Эйлера и Шаля о движении твердого тела.
28. Угловая скорость. Кинематические формулы Эйлера.
29. Кинетическая энергия твердого тела. Тензор моментов инерции.
30. Момент импульса твердого тела. Уравнения движения твердого тела.
31. Свободное движение шарового и симметричного волчков.
32. Движение тяжелого симметричного волчка с одной неподвижной точкой.
33. Движение в неинерциальной системе отсчета.
34. Переход от уравнений Лагранжа к уравнениям Гамильтона. Функция Гамильтона.
35. Принцип наименьшего действия в гамильтоновой формулировке.
36. Канонические преобразования. Производящие функции канонического преобразования.
37. Скобки Пуассона и уравнения движения.
38. Уравнения Гамильтона-Якоби. Главная и характеристическая функции Гамильтона-Якоби.
39. Разделение переменных в уравнении Гамильтона-Якоби.
40. Переменные действие – угол.
41. Адиабатические инварианты.

Примерные задачи для контрольной работы/экзамена

1. При естественном способе задания движения необходимо указать
 - а) $\rho = \rho(t)$, $\varphi = \varphi(t)$, $z = z(t)$, где ρ , φ , z – радиус, азимут и аппликата;
 - б) $r = r(t)$, $\varphi = \varphi(t)$, $\theta = \theta(t)$, где r , φ , θ – радиус, азимутальный угол и полюсный угол;
 - в) $x = x(t)$, $y = y(t)$, $z = z(t)$, где x , y , z – абсцисса, ордината и аппликата;
 - г) $f_1(x, y, z) = 0$, $f_2(x, y, z) = 0$ – уравнения траектории; $\sigma = \sigma(t)$, σ – дуга, отсчитываемая от начального положения точки в направлении ее движения.

2. Закон движения материальной точки имеет вид: $\vec{r}(t) = 5t^3 \cdot \vec{n}_x + 10t \cdot \vec{n}_z$
 Ускорение точки направлено:
 - а) параллельно оси Ox ;
 - б) параллельно оси Oy ;
 - в) параллельно оси Oz ;
 - г) параллельно плоскости Oxz .

3. Закон движения материальной точки задан в координатной форме:

$$x = \sqrt{2} \cdot \sin t, y = 5 \cdot \cos 2t.$$
 Траекторией движения точки является:
 - а) эллипс;
 - б) окружность;
 - в) участок параболы;
 - г) участок прямой.

4. Теорема об изменении импульса в дифференциальной форме имеет вид:
 - а) $d\vec{Q} = d\vec{F}$;
 - б) $d(m\vec{v}) = \vec{F}dt$;
 - в) $d\vec{Q} = d(m\vec{v})$;

г) $d\vec{Q} = 0$.

5. Материальная точка массой m движется в плоскости Oxy по закону: $x = \frac{5\sqrt{3}}{2}t$, $y = 2,5t$. Вектор импульса точки в момент времени $t = 1$ с направлен:

- а) вертикально вниз;
- б) под углом 30° к оси Ox ;
- в) под углом 30° к оси Oy ;
- г) горизонтально вправо.

6. Радиус-вектор центра инерции тела определяется выражением:

а) $\vec{r}_c = \left(\sum_{k=1}^n m_k \vec{r}_k \right) / R$;

б) $\vec{r}_c = \left(\sum_{k=1}^n m_k \vec{r}_k \right) / M$;

в) $\vec{r}_c = \left(\sum_{k=1}^n \vec{r}_k \right) / n$;

г) $\vec{r}_c = \sum_{k=1}^n m_k \vec{r}_k$.

7. Импульс системы сохраняется, если равна нулю:

- а) геометрическая сумма всех внутренних сил;
- б) геометрическая сумма всех внешних сил;
- в) равнодействующая всех реакций связи;
- г) константа интегрирования.

8. Каким уравнением определяются голономные связи, наложенные на положение системы? При этом связи могут изменяться со временем.

а) $f(x_1, x_2, \dots, x_n) = 0$;

б) $f(x_1, x_2, \dots, x_n, \dot{x}_1, \dot{x}_2, \dots, \dot{x}_n, t) = 0$;

в) $f(x_1, x_2, \dots, x_n, t) = 0$;

г) $f(x_1, x_2, \dots, x_n, \dot{x}_1, \dot{x}_2, \dots, \dot{x}_n) = 0$.

9. Как определяется функция Лагранжа частицы массы m и потенциалом $U(|\vec{r}|, t)$ со скоростью $\dot{\vec{r}}$?

а) $L = \frac{1}{2}m\dot{\vec{r}}^2 + U(|\vec{r}|, t)$;

б) $L = \frac{1}{2}m\dot{\vec{r}}^2 - U(|\vec{r}|, t)$;

в) $L = \frac{1}{2}m\ddot{\vec{r}}^2 + U(|\vec{r}|, t)$;

$$\text{г) } L = \frac{1}{2} m \dot{r}^2 - U(|\vec{r}|, t).$$

10. Какая величина называется обобщенным импульсом?

- а) $P_k = \frac{\partial L}{\partial \dot{q}_k}$;
 б) $P_k = \frac{\partial L}{\partial q_k}$;
 в) $P_k = \frac{\partial Q}{\partial \dot{q}_k}$;
 г) $P_k = \frac{\partial(Q+L)}{\partial q_k}$.

11. В уравнение гармонического осциллятора без потерь $\ddot{x} + \omega_0^2 x = 0$, подставили искомое решение в виде $x(t) = e^{\lambda t}$. Характеристическое уравнение имеет вид:

- а) $\lambda + \omega_0^2 = 0$;
 б) $-\lambda + \omega_0^2 = 0$;
 в) $\lambda^2 + \omega_0^2 = 0$;
 г) $-\lambda^2 + \omega_0^2 = 0$.

12. Дано уравнение движения линейной консервативной системы с одной степенью свободы. Сделана стандартная подстановка и найдены корни λ в следующем виде:

$$\begin{aligned} \ddot{x} + 2\delta \dot{x} + \omega_0^2 x &= 0 \\ x(t) &= a e^{\lambda t} \quad \lambda_{1,2} = -\delta \pm \sqrt{\delta^2 - \omega_0^2} \\ \delta \ll \omega_0 \quad \sqrt{\omega_0^2 - \delta^2} &\approx \omega_0 \end{aligned}$$

Рассматривается случай очень слабого затухания, в котором изменением частоты движения можно пренебречь. Каким из ниже приведенных выражений будет описываться движение системы:

- а) $x(t) = A e^{(-\delta - \omega_0)t} + B e^{(-\delta + \omega_0)t}$
 б) $x(t) = A \cos(\omega_0 t + \Phi)$
 в) $x(t) = A e^{\delta t} \cos(\omega_0 t + \Phi)$
 г) $x(t) = A e^{-\delta t} \cos(\omega_0 t + \Phi)$

13. Как определяется функция Лагранжа математического маятника? Нулевой уровень отсчета потенциальной энергии выбирается в точке подвеса маятника.

- а) $L = \frac{1}{2} m l^2 \dot{\varphi}^2 - mgl \cos \varphi$;
 б) $L = \frac{1}{2} m l^2 \dot{\varphi}^2 + mgl \cos \varphi$;
 в) $L = \frac{1}{2} m l^2 \dot{\varphi}^2$;
 г) $L = \frac{1}{2} mgl \cos \varphi$.

14. Функция Гамильтона одномерного гармонического осциллятора имеет вид:

- а) $H = \frac{p^2}{2m} + \frac{m\omega^2 x^2}{2}$;
 б) $H = \frac{p^2}{2m} - \frac{m\omega^2 x^2}{2}$;
 в) $H = \frac{mv^2}{2} + \frac{m\omega^2 x^2}{2}$;

$$г) H = \frac{mv^2}{2} - \frac{m\omega^2 x^2}{2}.$$

15. Даны уравнения движения точки:

$$x = 2a \cos^2(kt/2), \quad y = a \sin kt,$$

где a, k – положительные постоянные. Определите траекторию и закон движения точки по траектории, отсчитывая расстояние от начального положения точки.

16. На материальную точку $m = 2 \text{ кг}$ действует сила, проекции которой на координатные оси равны: $F_x = 6 \cos 2t$; $F_y = 6 \sin 2t$; $F_z = 6 \cos 2t$. Определите скорость точки в момент $t_1 = \pi \approx 3,14 \text{ с}$, если в момент времени $t_0 = \pi/2 \text{ с}$ ее скорость равна по модулю 2 м/с и составляет с осями x, y, z углы равные соответственно $\alpha = 30^\circ, \beta = 60^\circ, \gamma = 90^\circ$.

17. Частица с зарядом q , имеющая импульс $\vec{p}_0 = (p_x, p_y, p_z)$ влетает в однородное нестационарное электрическое поле, напряженность которого равна $\vec{E}(t) = (E_0 (\frac{t}{\tau})^2, 0, 0)$, где E_0, τ – постоянные величины. Определите импульс частицы \vec{p} спустя время τ после влета в поле в момент времени $t = 0$. Действием магнитного поля на частицу пренебречь.

18. Твердое тело, находившееся в покое, приводят во вращение вокруг неподвижной вертикальной оси постоянным моментом силы, равным L . При этом возникает момент сил сопротивления L_1 , пропорциональный угловой скорости вращения твердого тела: $L_1 = a\omega$. Определите закон изменения угловой скорости вращения твердого тела, если его момент инерции относительно оси вращения равен I .

19. Найдите ускорения, если задана функция Лагранжа:

$$L = \frac{1}{2} \dot{u}\dot{v} + \frac{1}{\sqrt{uv}}$$

20. Напишите функцию Гамильтона ангармонического осциллятора, функция Лагранжа которого

$$L = \frac{\dot{x}^2}{2} - \frac{\omega_0^2 x^2}{2} - \alpha x^3 + \beta x \dot{x}^2.$$

6.2 Критерии оценивания компетенций:

Таблица 4

Карта критериев оценивания компетенций

№ п/п	Код и наименование компетенции	Компонент (знаниевый/функциональный)	Оценочные материалы	Критерии оценивания
-------	--------------------------------	--------------------------------------	---------------------	---------------------

1.	<p>ОПК-1: способность использовать в профессиональной деятельности базовые естественнонаучные знания, включая знания о предмете и объектах изучения, методах исследования, современных концепциях, достижениях и ограничениях естественных наук (прежде всего химии, биологии, экологии, наук о земле и человеке)</p>	<p>Знает – фундаментальные разделы общей и теоретической физики (основы ньютоновской механики, формализм Лагранжа и Гамильтона); – методы решения задач теоретической физики, основанные на стандартных математических приемах.</p> <p>Умеет – применять физические законы и расчетные формулы при решении конкретных задач механики; – получать расчетные формулы для различных механических систем из решения дифференциальных уравнений движения;</p>	<p>1. Контрольная работа № 1, 7 вариантов; 2. Контрольная работа № 2, 7 вариантов; 3. Вопросы к экзамену, 41 вопрос.</p>	<p>Пороговый(удовл.) Знает – фундаментальные разделы общей и теоретической физики(основы ньютоновской, лагранжевой и гамильтоновой механики). Умеет – применять физические законы и расчетные формулы при решении конкретных задач.</p> <p>Базовый (хор.) Знает – фундаментальные разделы общей и теоретической физики(основы ньютоновской, лагранжевой и гамильтоновой механики); – методы решения задач, основанные на математическом анализе, теории дифференциальных уравнений и методах теории аналитических функций. Умеет – применять физические законы и расчетные формулы при решении конкретных задач; – получать расчетные формулы для описания движения механических систем.</p> <p>Повышенный (отл.) Знает – фундаментальные разделы общей и теоретической физики(основы ньютоновской,</p>
----	--	--	--	---

				лагранжевой и гамильтоновой механики); – методы решения задач, основанные на математическом анализе, теории дифференциальных уравнений и методах теории аналитических функций; Умеет – применять физические законы и расчетные формулы при решении конкретных задач; – получать расчетные формулы для описания движения механических систем; – использовать различные разделы физики для решения комбинированных задач.
--	--	--	--	---

7. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

7.1 Основная литература:

1. Мкртычев, О. В. Теоретическая механика : учебник / О.В. Мкртычев. — Москва : Вузовский учебник : ИНФРА-М, 2019. — 359 с. — (Высшее образование: Бакалавриат). — www.dx.doi.org/10.12737/textbook_59d71fe9ac68f2.88299087. - ISBN 978-5-9558-0546-7. - Текст : электронный. - URL: <https://znanium.com/catalog/product/1039251> (дата обращения: 17.04.2020). — Режим доступа: по подписке.

7.2. Дополнительная литература

1. Ландау Л.Д. Теоретическая физика: учеб. пособие для студ. физ. спец. ун-тов: в 10 т./ Л. Д. Ландау, Е. М. Лифшиц. - 5-е изд., стер.. - Москва: Физматлит. - Т.1: Механика/ ред. Л. П. Питаевский. - 2007. - 224 с.
2. Ольховский И.И. Курс теоретической механики для физиков /И. И. Ольховский. - Санкт-Петербург: Лань, 2009. - 576 с.
3. Цывильский, В. Л. Теоретическая механика: Учебник / Цывильский В.Л., - 5-е изд., перераб. и доп. - Москва :КУРС, НИЦ ИНФРА-М, 2018. - 368 с.: - ISBN 978-5-906923-71-4. - Текст : электронный. - URL: <https://znanium.com/catalog/product/939531> (дата обращения: 17.04.2020). — Режим доступа: по подписке.

4. Белов, М. И. Теоретическая механика / М. И. Белов, Б. В. Пылаев. - 2-е изд. - Москва : РИОР : ИНФРА-М, 2020. - 336 с. - (Высшее образование: Бакалавриат). - ISBN 978-5-369-01574-2. - Текст : электронный. - URL: <https://znanium.com/catalog/product/1048445> (дата обращения: 17.04.2020). – Режим доступа: по подписке.

8. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине

– **Лицензионное ПО:**

платформа для электронного обучения Microsoft Teams

9. Технические средства и материально-техническое обеспечение дисциплины

Для проведения лекционных занятий требуется аудитория, рассчитанная на 60-80 человек, оборудованная мультимедийными средствами, а так же меловой или интерактивной доской.

Для проведения семинарских занятий требуется аудитория, рассчитанная на 20-30 человек, оборудованная меловой или интерактивной доской.

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«ТЮМЕНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

УТВЕРЖДАЮ
Заместитель директора
Физико-технического института по
учебной работе


23.06.2021 С.А. Креков

ЭЛЕКТРОДИНАМИКА
Рабочая программа
для обучающихся по направлению подготовки
03.03.02 Физика
Профиль: Фундаментальная физика
форма обучения очная

Ганопольский Р. М. Электродинамика Рабочая программа для обучающихся по направлению подготовки 03.03.02 Физика, академический бакалавриат, форма обучения очная. Тюмень, 2020.

Рабочая программа дисциплины (модуля) опубликована на сайте ТюмГУ: Физика конденсированного состояния [электронный ресурс] / Режим доступа: <https://www.utmn.ru/sveden/education/#>.

Рабочая программа дисциплины включает следующие разделы:

1. Пояснительная записка

Целью дисциплины является довести до студентов главные положения классической теории одной из важнейших форм материи, электромагнитного поля, изучить основные приложения этой теории.

Задачи дисциплины:

- студент должен овладеть математическим аппаратом электродинамики и свободно применять его на практике;
- при изложении электродинамики поля зарядов и токов в вакууме главное внимание должно быть уделено основным физическим понятиям теории электромагнитного поля Максвелла – Лоренца;
- изложить основные приближения для решения уравнений Максвелла;
- при изложении электродинамики поля зарядов и токов в среде обратить внимание на усреднение микроскопических уравнений Максвелла и различным вариантам макроскопических уравнений;
- уделить внимание физическим аспектам и методам расчета полей в материальных средах.

1.1. Место дисциплины в структуре образовательной программы

Данная дисциплина входит в вариативную часть блока Б.1 Дисциплины, изучается в 5 семестре.

Знания, полученные в ходе изучения дисциплины «Электродинамика» необходимы для изучения последующих дисциплин: «Квантовая механика», «Термодинамика и статистическая физика», «Физика конденсированного состояния».

1.2. Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения данной дисциплины

Код и наименование компетенции (из ФГОС ВО)	Компонент (знаниевый/функциональный)
ОПК-1: способен применять базовые знания в области физико-математических и (или) естественных наук в сфере своей профессиональной деятельности	<p>Знает</p> <ul style="list-style-type: none"> – основные положения теории электромагнитного поля Максвелла, – математическую форму записи полевых и материальных уравнений Максвелла в интегральной и дифференциальной формах, – структуру и свойства системы уравнений Максвелла, – условия на границах раздела сред в, – основные представления о решении уравнений Максвелла в виде запаздывающих потенциалов. – приближения электростатики и магнитостатики для уравнений Максвелла.
	<p>Умеет</p> <ul style="list-style-type: none"> – использовать методы теории векторного и тензорного анализа и теории дифференциальных уравнений для решения задач электродинамики в различных приближениях, – использовать методы анализа и оценки сложных математических выражений.

2. Структура и трудоемкость дисциплины

Таблица 1

Вид учебной работы		Всего часов	Часов в семестре
			5
Общая трудоемкость	зач. ед.	4	4
	час	144	144
Из них:			
Часы аудиторной работы (всего):		68	68
Лекции		34	34
Практические занятия		36	36
Лабораторные / практические занятия по подгруппам		0	0
Часы внеаудиторной работы, включая самостоятельную работу обучающегося		76	76
Вид промежуточной аттестации (зачет, диф. зачет, экзамен)			Экзамен

3. Система оценивания

При текущем контроле учитывается несколько видов деятельности обучающихся:

- активность на семинарах (0 – 3 баллов);
- выполнение домашних заданий (0 – 7 баллов);
- контрольная работа (0 – 10 баллов);

Активность на семинаре включает в себя решение задач у доски, участие в решении задачи «с места», решение задач опережающими темпами и т.д. За один семинар обучающийся может набрать до 2 баллов.

Выполнение домашних заданий подразумевает проверку в начале занятия наличия выполненных заданий. Оценивается до 2 баллов.

Критерии оценивания задач контрольных работ (максимум за одну задачу – 5 баллов):

0 баллов (0%, «-»):

- Решение не приведено.
- Есть попытка решить задачу, но основные формулы или условия задачи приведены ошибочно.

2 балла (30%, «-+»):

- Правильно приведены основные формулы, но рассуждения содержат грубые ошибки.
- Задача решена в общем виде, но отсутствуют количественные расчеты.
- Отсутствуют необходимые рисунки или построения.

3-4 балла (70%, «+-»):

- Ход решения верный, но в выводах формул или расчетах есть незначительные ошибки.
- Неверно определены размерности используемых/полученных величин.

5 баллов (100%, «+»):

- Задача решена правильно, есть все необходимые комментарии, рисунки и расчеты.

По итогам набранных в семестре баллов обучающийся может получить экзаменационную оценку (см. п. 6).

4. Содержание дисциплины

4.1. Тематический план дисциплины

Таблица 2

№ п/п	Наименование тем и/или разделов	Объем дисциплины, час.				
		Всего	Виды аудиторной работы (академические часы)			Иные виды контактной работы
			Лекции	Практические занятия	Лабораторные/ практические занятия по подгруппам	
1	2	3	4	5	6	7
1.	Вводная лекция	2	2	0	0	0
2.	Основы векторного анализа	2	0	2	0	0
3.	Уравнения Максвелла	2	2	0	0	0
4.	Основы тензорного анализа	2	0	2	0	0
5.	Электростатическое поле	2	2	0	0	0
6.	Электростатическое поле	2	0	2	0	0
7.	Электростатическое поле. Граничные условия	2	2	0	0	0
8.	Мультипольное разложение	2	0	2	0	0
9.	Законы сохранения	2	2	0	0	0
10.	Электростатическое поле в среде	2	0	2	0	0
11.	Мультипольное разложение	2	2	0	0	0
12.	Электростатическое поле	2	0	2	0	0
13	Электростатическое поле в среде	2	2	0	0	0
14	Мультипольное разложение	2	0	2	0	0
15	Законы постоянного электрического тока	2	2	0	0	0
16	Закон Ома, закон Джоуля-Ленца, правила Кирхгофа	2	0	2	0	0
17	Магнитное поле постоянного тока	2	2	0	0	0
18	Контрольная работа	2	0	2	0	0
19	Магнитное поле. Граничные условия	2	2	0	0	0
20	Магнитное поле постоянного тока	2	0	2	0	0
21	Магнитный момент	2	2	0	0	0
22	Магнитное поле постоянного тока	2	0	2	0	0
23	Потенциалы электромагнитного поля	2	2	0	0	0
24	Магнитное поле в среде	2	0	2	0	0
25	Потенциалы электромагнитного поля, калибровочная инвариантность	2	2	0	0	0

26	Потенциалы электромагнитного поля в дипольном приближении	2	0	2	0	0
27	Произвольные поля	2	2	0	0	0
28	Электромагнитное поле электрического дипольного излучения	2	0	2	0	0
29	Произвольные поля	2	2	0	0	0
30	Магнитное дипольное и электрическое квадрупольное излучение	2	0	2	0	0
31	Теория излучения	2	2	0	0	0
32	Свойства излучения	2	0	2	0	0
33	Теория излучения	2	2	0	0	0
34	Электромагнитные волны в сплошных однородных средах.	2	0	2	0	0
35	Консультация				0	2*
36	Экзамен				0	0
	Итого (часов)	68	34	34	0	2

* – учитывает контактную работу на консультации.

4.2. Содержание дисциплины по темам

1. Вводная лекция

Лекция посвящена основным законам электромагнетизма, понятиям электродинамики, единицам измерения.

2. Основы векторного анализа 1

Рассматриваются криволинейные координаты и основные положения векторного анализа:

- криволинейные координаты, коэффициенты Ламе;
- векторы;
- дифференциальные векторные операторы;
- интегральные теоремы.

Решаются задачи по данным темам.

3. Уравнения Максвелла

Уравнения Максвелла. Возможные приближения. Электростатическое поле.

4. Основные положения векторного анализа 2

Рассматриваются криволинейные координаты и основные положения векторного анализа:

- криволинейные координаты, коэффициенты Ламе;
- векторы;
- дифференциальные векторные операторы;
- интегральные теоремы.

Решаются задачи по данным темам.

5. Электростатическое поле

Электростатическое поле. Уравнение Пуассона. Теорема Гаусса. Методы решения задач.

6. Электростатическое поле 1

Решение задач для электростатического поля

7. Электростатическое поле. Граничные условия

Граничные условия для электростатического поля

8. Мультипольное разложение

Мультипольное разложение

9. Законы сохранения

Законы сохранения энергии и импульса

10. Электростатическое поле в среде

Электростатическое поле в среде. Граничные условия.

11. Мультипольное разложение

Мультипольное разложение. Дипольный момент. Квадрупольный момент

12. Электростатическое поле 4

Решение задач электростатики с помощью теоремы Гаусса и уравнение Пуассона.

13. Электростатическое поле в среде

Электростатическое поле в среде

14. Мультипольное разложение

Решение задач по мультипольным моментам

15. Законы постоянного электрического тока

Закон Ома, закон Джоуля-Ленца, правила Кирхгофа

16. Закон Ома, закон Джоуля-Ленца, правила Кирхгофа

Решение задач для участка цепи, для полной цепи. Использование правил Кирхгофа, законов Ома и Джоуля-Ленца для решения задач.

17. Магнитное поле постоянного тока

Магнитное поле постоянного тока. Закон Био – Савара

18. Контрольная работа

Решение задач на темы: электростатическое поле, мультипольные моменты и электрические цепи

19. Магнитное поле. Граничные условия

Магнитное поле постоянного тока. Граничные условия

20. Магнитное поле постоянного тока 1

Решение задач для магнитного поля постоянного тока

21. Магнитный момент

Магнитный момент

22. Магнитное поле постоянного тока 2

Решение задач для магнитного поля постоянного тока

23. Потенциалы электромагнитного поля

Потенциалы электромагнитного поля. Калибровочная инвариантность.

24. Магнитный момент

Решение задач на магнитный момент

25. Магнитное поле в среде

Магнитное поле в среде

26. Потенциалы электромагнитного поля, калибровочная инвариантность

Решение задач на потенциалы электромагнитного поля и калибровочную инвариантность

27. Потенциалы электромагнитного поля в дипольном приближении

Потенциалы электромагнитного поля в дипольном приближении

28. Произвольные поля 1

Решение задач для произвольных полей

29. Электромагнитное поле электрического дипольного излучения

Электромагнитное поле электрического дипольного излучения, интенсивность излучения, угловая зависимость интенсивности излучения

30. Магнитное дипольное и электрическое квадрупольное излучение

Магнитное дипольное и электрическое квадрупольное излучение

31. Теория излучения 1

Решение задач на потенциалы электромагнитного поля в дипольном приближении

32. "Свойства излучения"

Рассматриваются свойства излучения и волновое уравнение

33. Теория излучения 2

Решение задач на исследование свойств излучения

34. Электромагнитные волны в сплошных однородных средах

Вводится понятие сплошной однородной среды. Выводится уравнение для электромагнитного поля. Вводится функция диэлектрической проницаемости.

36. Консультация перед экзаменом

38. Экзамен

5. Учебно-методическое обеспечение и планирование самостоятельной работы обучающихся

Таблица 3

№ Темы	Темы	Виды СРС
	5 семестр	
	Электродинамика	
1	Вводная лекция	Чтение обязательной и дополнительной литературы
2	Основы векторного анализа	Проработка лекций
3	Уравнения Максвелла	Чтение обязательной и дополнительной литературы
4	Основы тензорного анализа	Проработка лекций
5	Электростатическое поле	Чтение обязательной и дополнительной литературы
6	Электростатическое поле	Проработка лекций
7	Электростатическое поле. Граничные условия	Чтение обязательной и дополнительной литературы
8	Мультипольное разложение	Проработка лекций
9	Законы сохранения	Чтение обязательной и дополнительной литературы
10	Электростатическое поле в среде	Проработка лекций
11	Мультипольное разложение	Чтение обязательной и дополнительной литературы
12	Электростатическое поле	Проработка лекций
13	Электростатическое поле в среде	Чтение обязательной и дополнительной литературы
14	Мультипольное разложение	Проработка лекций
15	Законы постоянного электрического тока	Чтение обязательной и дополнительной литературы
16	Закон Ома, закон Джоуля-Ленца, правила Кирхгофа	Проработка лекций
17	Магнитное поле постоянного тока	Чтение обязательной и дополнительной литературы
18	Контрольная работа	Проработка лекций
19	Магнитное поле. Граничные условия	Чтение обязательной и дополнительной литературы
20	Магнитное поле постоянного тока	Проработка лекций
21	Магнитный момент	Чтение обязательной и дополнительной литературы
22	Магнитное поле постоянного тока	Проработка лекций
23	Потенциалы электромагнитного поля	Чтение обязательной и дополнительной литературы
24	Магнитное поле в среде	Проработка лекций
25	Потенциалы электромагнитного поля, калибровочная инвариантность	Чтение обязательной и дополнительной литературы
26	Потенциалы электромагнитного поля в дипольном приближении	Проработка лекций
27	Произвольные поля	Чтение обязательной и дополнительной литературы

28	Электромагнитное поле электрического дипольного излучения	Проработка лекций
29	Произвольные поля	Чтение обязательной и дополнительной литературы
30	Магнитное дипольное и электрическое квадрупольное излучение	Проработка лекций
31	Теория излучения	Чтение обязательной и дополнительной литературы
32	Свойства излучения	Проработка лекций
33	Теория излучения	Чтение обязательной и дополнительной литературы
34	Электромагнитные волны в сплошных однородных средах.	Проработка лекций
35	Консультация	Чтение обязательной и дополнительной литературы
36	Экзамен	Проработка лекций

6. Промежуточная аттестация по дисциплине

В случае, если сумма баллов составляет не менее 61, и студент согласен с итоговой оценкой, ему выставляется оценка согласно шкале перевода:

- от 61 до 75 баллов – «удовлетворительно»;
- от 76 до 90 баллов – «хорошо»;
- от 91 до 100 баллов – «отлично».

В случае, если студент набрал менее 61 балла или не согласен с итоговой оценкой, ему предоставляется право сдавать экзамен, и оценка выставляется непосредственно по результатам экзамена.

Экзамен проводится в устно-письменной форме. На экзамене студент должен устно ответить на **два вопроса** и решить **одну задачу**.

Ответы на экзаменационный билет оцениваются по следующим критериям:

"отлично" - студент дал полный ответ на теоретические вопросы, правильно решил задачу, продемонстрировал взаимосвязь законов и уравнений электродинамики;

"хорошо" - студент показал систематические знания по дисциплине, способность применять их для решения практических задач, но имеются недочеты в ответах и решениях;

"удовлетворительно" - студент имеет представления об основных законах теории электромагнитного поля, однако недостаточно владеет теоретическим материалом, в ответах и решениях допускает ошибки, которые может исправить под руководством преподавателя;

"неудовлетворительно" - студент не имеет систематических знаний в области электродинамики, слабо разбирается в теоретических и практических вопросах, допускает принципиальные ошибки в ответах и решениях.

Студент, пропустивший более 50% семинаров без уважительной причины, считается не освоившим дисциплину и не может получить положительной оценки на экзамене.

6.1. Оценочные материалы для проведения промежуточной аттестации по дисциплине

Список возможных вопросов:

1. Система уравнений Максвелла
2. Общие свойства уравнений Максвелла
3. Калибровочная инвариантность потенциалов
4. Закон сохранения энергии и импульса электромагнитного поля
5. Электростатическое поле. Теорема Гаусса. Уравнение Пуассона

6. Мультипольное разложение потенциала. Дипольный момент.
7. Электрический квадрупольный момент.
8. Уравнения Максвелла в среде.
9. Система уравнений Максвелла в среде
10. Граничные условия для электростатического поля.
11. Граничные условия для магнитного поля.
12. Электростатика проводников.
13. Магнитное поле постоянного тока. Закон Био – Савара.
14. Магнитный момент.
15. Диамагнетизм, парамагнетизм, ферромагнетизм.
16. Электромагнитное поле системы произвольно движущихся зарядов. Запасывающие потенциалы.
17. Потенциалы электромагнитного поля в дипольном приближении.
18. Электромагнитное поле дипольного излучения.
19. Магнитное дипольное и электрическое квадрупольное излучение.
20. Реакция излучения. Форма линии излучения. Спектральная функция.

Примерные задачи для контрольной работы/экзамена

Элементы векторного анализа

1. Вычислите $\nabla\varphi(r)$, где $r = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2}$
2. Вычислите $\text{grad}(\mathbf{d} \cdot \mathbf{r})$.
3. Вычислите $\text{grad}\left(\frac{\mathbf{d} \cdot \mathbf{r}}{r^3}\right)$.
4. Векторный потенциал магнитного диполя определяется выражением $\mathbf{A} = \frac{\mathbf{p} \times \mathbf{r}}{r^3}$, где \mathbf{p} – магнитный момент диполя. Вычислите напряженность магнитного поля диполя, используя определение векторного потенциала $\mathbf{H} = \text{rot}\mathbf{A}$.
5. Вычислите $(\mathbf{d} \cdot \nabla)\mathbf{r}$.
6. Вычислите $\text{rot}(\mathbf{d} \times \mathbf{r})$.
7. Вычислите $\text{div}(\varphi\mathbf{A})$, $\text{rot}(\varphi\mathbf{A})$.
8. Вычислите $\text{div}(\mathbf{A} \times \mathbf{B})$, $\text{rot}(\mathbf{A} \times \mathbf{B})$.
9. Вычислите $\text{div}(\varphi(r) \cdot (\mathbf{a} \times \mathbf{r}))$, $\text{rot}(\varphi(r) \cdot (\mathbf{a} \times \mathbf{r}))$.
10. Вычислите $\text{div}(\mathbf{r} \times (\mathbf{a} \times \mathbf{r}))$, $\text{rot}(\mathbf{r} \times (\mathbf{a} \times \mathbf{r}))$.
11. Вычислите $\text{div}((\mathbf{a} \cdot \mathbf{r})\mathbf{r})$, $\text{rot}((\mathbf{a} \cdot \mathbf{r})\mathbf{r})$.
12. Вычислите градиент комплексной экспоненты $e^{i(k \cdot \mathbf{r})}$, где $i^2 = -1$.
13. Считая вектор \mathbf{A} постоянным, вычислите $\text{div}(\mathbf{A} \cdot e^{i(k \cdot \mathbf{r})})$.
14. Считая вектор \mathbf{A} постоянным, вычислите $\text{rot}(\mathbf{A} \cdot e^{i(k \cdot \mathbf{r})})$.
15. Вычислить интеграл $\oint \mathbf{r}(\mathbf{a} \cdot \mathbf{n})dS$, где \mathbf{a} – постоянный вектор, \mathbf{n} – единичная нормаль к поверхности.
16. Интеграл по замкнутой поверхности $\oint \mathbf{n} \cdot \varphi dS$, где \mathbf{n} – единичная нормаль к поверхности, преобразовать в интеграл по объему, заключенному внутри этой поверхности.
17. Используя теорему Гаусса, вычислите интеграл $\oint \frac{Q}{r^3} \mathbf{r} \cdot \mathbf{n} dS$, где \mathbf{n} – единичная нормаль к поверхности, а интегрирование ведется по поверхности эллипсоида $\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} + \frac{z^2}{c^2} = 1$ с центром в начале координат.
18. Интеграл по замкнутой поверхности $\oint (\mathbf{n} \times \mathbf{a})dS$, где \mathbf{n} – единичная нормаль к поверхности, преобразовать в интеграл по объему, заключенному внутри этой поверхности.

Теорема Гаусса

19. Используя теорему Гаусса, вычислите напряженность электрического поля заряда q равномерно распределенного по объему шара радиуса R . Нарисуйте график зависимости напряженности поля от расстояния до центра шара.

20. Используя теорему Гаусса, вычислите напряженность электрического поля бесконечно протяженной, равномерно заряженной нити, с линейной плотностью заряда $\tau = \text{const}$.
21. Используя теорему Гаусса, вычислите напряженность электрического поля внутри и вне равномерно заряженного бесконечного цилиндра с объемной плотностью заряда ρ . Нарисуйте график зависимости напряженности поля от расстояния до оси цилиндра.
22. Используя теорему Гаусса, вычислите напряженность электрического поля бесконечной плоскости, равномерно заряженной с поверхностной плотностью σ .
23. Используя теорему Гаусса, определите напряженность электрического поля внутри и вне заряженной сферы, если ее заряд q .

Принцип суперпозиции. Решение уравнения Пуассона

24. Найдите потенциал и напряженность электрического поля на оси равномерно заряженного кольца радиуса R . Электрический заряд кольца q .
25. Определите потенциал электрического поля, создаваемого прямолинейным отрезком длиной $2L$ равномерно заряженным с плотностью τ .
26. Определите потенциал электрического поля на оси симметрии половины шара радиуса R , равномерно заряженного с объемной плотностью ρ .
27. Найдите потенциал и напряженность электрического поля на оси плоского кольца, равномерно заряженного с поверхностной плотностью σ . Внутренний радиус кольца R_1 , внешний R_2 . Рассмотрите предельный случай: поле плоского диска $R_1 \rightarrow 0$.

Разложение потенциала по мультиполям

28. Тонкое круглое кольцо радиуса R состоит из двух равномерно и противоположно заряженных полуколец с зарядами q и $-q$. Вычислите потенциал электрического поля на больших расстояниях от кольца. Подсказка: В разложении потенциала учитывайте только члены до дипольного приближения включительно.
29. Одна половины сферы радиуса R равномерно заряжена с плотностью $+\sigma$, а другая с плотностью $-\sigma$. Найдите потенциал электрического поля на большом расстоянии от центра сферы ($r \gg R$), в дипольном приближении.
30. Найдите потенциал электрического поля на больших расстояниях от системы, состоящей из зарядов $q, -2q, q$, которые расположены на оси Z на расстоянии a друг от друга (линейны квадруполь).
31. Найдите потенциал электрического поля на больших расстояниях от системы, состоящей из зарядов $\pm q$, которые расположены в вершинах квадрата, со сторонами параллельными осям X и Y , а в начале координат расположен заряд $+q$ (плоский квадруполь). Сторона квадрата a .
32. Найдите заряд, дипольный и квадрупольный моменты диска радиуса R , равномерно заряженного с поверхностной плотностью σ , расположенного на расстоянии a от начала координат.
33. Вычислите квадрупольный момент цилиндрической поверхности радиуса R , высоты $2h$, равномерно заряженной с поверхностной плотностью σ .
34. Вычислите квадрупольный момент цилиндра радиуса R , высоты $2h$, равномерно заряженной с объемной плотностью ρ .

6.2 Критерии оценивания компетенций:

Карта критериев оценивания компетенций

№ п/п	Код и наименование компетенции	Компонент (знаниевый/функциональный)	Оценочные материалы	Критерии оценивания
1.	ОПК-1: способен применять базовые знания в области физико-математических и (или) естественных наук в сфере своей профессиональной деятельности	<p>Знает</p> <ul style="list-style-type: none"> – основные положения теории электромагнитного поля Максвелла, – математическую форму записи полевых и материальных уравнений Максвелла в интегральной и дифференциальной формах, – структуру и свойства системы уравнений Максвелла, – условия на границах раздела сред в, – основные представления о решении уравнений Максвелла в виде запаздывающих потенциалов. – приближения электростатики и магнитостатики для уравнений Максвелла. <p>Умеет</p> <ul style="list-style-type: none"> – использовать методы теории векторного и тензорного анализа и теории дифференциальных уравнений для решения задач электродинамики в различных приближениях, – использовать методы анализа и оценки сложных математических выражений. <p>Знает:</p> <ul style="list-style-type: none"> - постановки граничных задач электродинамики, - методы расчета электромагнитных полей в ограниченных колебательных системах с распределенными параметрами (прямоугольные резонаторы, волноводы, коаксиальные кабели и антенны) <p>Умеет:</p> <ul style="list-style-type: none"> - использовать мультипольные разложения потенциалов для построения 	1. Контрольная работа, 17 вариантов	<p>Пороговый(удовл.)</p> <p>Знает</p> <ul style="list-style-type: none"> – фундаментальные разделы общей и теоретической физики (электродинамика и классическая механика). <p>Умеет</p> <ul style="list-style-type: none"> – применять физические законы и расчетные формулы при решении конкретных задач. <p>Базовый (хор.)</p> <p>Знает</p> <ul style="list-style-type: none"> – фундаментальные разделы общей и теоретической физики (электродинамика и классическая механика); – методы решения задач, основанные на математическом анализе, теории дифференциальных уравнений и методах теории аналитических функций. <p>Умеет</p> <ul style="list-style-type: none"> – применять физические законы и расчетные формулы при решении конкретных задач; – получать расчетные формулы для описания электромагнитных полей в средах

		<p>приближенных решений уравнений Максвелла, - специальные методы математической физики (метод изображений, метод функций Грина, методы конформного отображения и т.д.) для решения граничных задач электростатики</p>	<p>Повышенный (отл.) Знает – фундаментальные разделы общей и теоретической физики (электродинамика и классическая механика); – методы решения задач, основанные на математическом анализе, теории дифференциальных уравнений и методах теории аналитических функций; Умеет – применять физические законы и расчетные формулы при решении конкретных задач; – получать расчетные формулы для описания электромагнитных полей в средах; – использовать различные разделы физики для решения комбинированных задач.</p>
--	--	---	--

7. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

7.1 Основная литература:

1. Яцкевич, В. А. Классическая электродинамика : учебное пособие / В. А. Яцкевич. - Москва ; Вологда : Инфра-Инженерия, 2020. - 140 с. - ISBN 978-5-9729-0477-8. - Текст : электронный. - URL: <https://znanium.com/catalog/product/1167739> (дата обращения: 29.05.2020). – Режим доступа: по подписке.

7.2. Дополнительная литература

1. Ан, А. Ф. Основы классической электродинамики : учебное пособие / А. Ф. Ан, А. В. Самохин. - Москва ; Вологда : Инфра-Инженерия, 2020. - 204 с. - ISBN 978-5-9729-0485-3. - Текст :

электронный. - URL: <https://znanium.com/catalog/product/1168500> (дата обращения: 29.05.2020). – Режим доступа: по подписке.

2. Электродинамика. Специальная теория относительности. Теория электромагнитного поля : учебно-методическое пособие / составители Е. А. Памятных. — Екатеринбург : Уральский федеральный университет, ЭБС АСВ, 2014. — 72 с. — ISBN 978-5-7996-1105-7. — Текст : электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS : [сайт]. — URL: <http://www.iprbookshop.ru/68416.html> (дата обращения: 29.05.2020). — Режим доступа: для авторизир. Пользователей

7.3. Программное обеспечение и Интернет – ресурсы:

1. Электронная библиотека Попечительского совета механико-математического факультета Московского государственного университета <http://lib.mexmat.ru>
2. Образовательная платформа Юрайт <https://urait.ru/>
3. eLIBRARY – Научная электронная библиотека (Москва) <http://elibrary.ru/>

7.4 Современные профессиональные базы данных и информационные справочные системы: не требуются

7.4 Современные профессиональные базы данных и информационные справочные системы: не требуются

8. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине

В случае дистанционной формы обучения рекомендуется использовать Microsoft Teams.

– Лицензионное ПО:

платформа для электронного обучения Microsoft Teams

9. Технические средства и материально-техническое обеспечение дисциплины

Для проведения лекционных занятий требуется аудитория, рассчитанная на 60-80 человек, оборудованная мультимедийными средствами, а так же меловой или интерактивной доской. Для проведения семинарских занятий требуется аудитория, рассчитанная на 20-30 человек, оборудованная меловой или интерактивной доской.

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«ТЮМЕНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

УТВЕРЖДАЮ
Заместитель директора
Физико-технического института по
учебной работе


С.А. Креков
23.06.2021

ФИЗИКА КОНДЕНСИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ

Рабочая программа
для обучающихся по направлению подготовки
03.03.02 Физика
Профиль: Фундаментальная физика
форма обучения очная

Екомасов Е. Г. Физика конденсированного состояния. Рабочая программа для обучающихся по направлению подготовки 03.03.02 фундаментальная физика, академический бакалавриат, форма обучения очная. Тюмень, 2020.

Рабочая программа дисциплины (модуля) опубликована на сайте ТюмГУ: Физика конденсированного состояния [электронный ресурс] / Режим доступа: <https://www.utmn.ru/sveden/education/#>.

Рабочая программа дисциплины включает следующие разделы:

1. Пояснительная записка

Цель дисциплины: является изучение основ современных методов теории конденсированного состояния, без которых невозможно использование в практической деятельности известных физических явлений.

Задачи дисциплины:

- познакомить студентов с методами, используемыми в теории конденсированного состояния;
- расширить сведения об области применения уже известных студентам методов квантовой теории;
- дать навык использования приближенных и модельных методов исследования физических процессов в сложных системах;

1.1. Место дисциплины в структуре образовательной программы

Данная дисциплина входит в вариативную часть блока Б1 Дисциплины, изучается в 7 семестре.

Знания, полученные в ходе изучения дисциплины «Физика конденсированного состояния» необходимы для изучения последующих дисциплины «Термодинамика и статистическая физика».

1.2. Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения данной дисциплины

Код и наименование компетенции (из ФГОС ВО)	Компонент (знаниевый/функциональный)
ОПК-1: способен применять базовые знания в области физико-математических и (или) естественных наук в сфере своей профессиональной деятельности	<p>Знает</p> <ul style="list-style-type: none"> – основные положения квантовой теории конденсированных состояний, – основные положения зонной модели электронных состояний, – связь прямой и обратной решеток кристалла, – структуру и свойства зон Бриллюэна, – характер колебательного спектра кристалла, – основные представления о спектре возбуждений сверхтекучей жидкости и сверхпроводящего электронного газа. – основные представления об оптических свойствах кристаллов.
	<p>Умеет</p> <ul style="list-style-type: none"> – использовать методы теории возмущений и вариационные методы квантовой механики для анализа процессов в конденсированных состояниях, – использовать методы анализа и оценки сложных математических выражений.

2. Структура и объем дисциплины

Таблица 1

Вид учебной работы		Всего часов (академические часы)	Часов в семестре (академические часы)
Общая трудоемкость	зач. ед.	5	5
	час	180	180
Из них:			
Часы аудиторной работы (всего):		68	68
Лекции		34	34
Практические занятия		34	34
Лабораторные / практические занятия по подгруппам		0	0
Часы внеаудиторной работы, включая самостоятельную работу обучающегося		112	112
Вид промежуточной аттестации (зачет, диф. зачет, экзамен)			Экзамен

3. Система оценивания

При текущем контроле учитывается несколько видов деятельности обучающихся:

- активность на семинарах (0 – 3 баллов);
- выполнение домашних заданий (0 – 7 баллов);
- контрольная работа (0 – 10 баллов);

Активность на семинаре включает в себя решение задач у доски, участие в решении задачи «с места», решение задач опережающими темпами и т.д. За один семинар обучающийся может набрать до 2 баллов.

Выполнение домашних заданий подразумевает проверку в начале занятия наличия выполненных заданий. Оценивается до 2 баллов.

Критерии оценивания задач контрольных работ (максимум за одну задачу – 5 баллов):

0 баллов (0%, «-»):

- Решение не приведено.
- Есть попытка решить задачу, но основные формулы или условия задачи приведены ошибочно.

2 балла (30%, «-+»):

- Правильно приведены основные формулы, но рассуждения содержат грубые ошибки.
- Задача решена в общем виде, но отсутствуют количественные расчеты.
- Отсутствуют необходимые рисунки или построения.

3-4 балла (70%, «+-»):

- Ход решения верный, но в выводах формул или расчетах есть незначительные ошибки.
- Неверно определены размерности используемых/полученных величин.

5 баллов (100%, «+»):

- Задача решена правильно, есть все необходимые комментарии, рисунки и расчеты.

По итогам набранных в семестре баллов обучающийся может получить экзаменационную оценку (см. п. 6).

4. Содержание дисциплины

4.1. Тематический план дисциплины

Таблица 2

№ п/п	Наименование тем и/или разделов	Объем дисциплины, час.				
		Всего	Виды аудиторной работы (академические часы)			Иные виды контактной работы
			Лекции	Практические занятия	Лабораторные/ практические занятия по подгруппам	
1	2	3	4	5	6	7
1.	Адиабатический принцип Борна-Эренфеста	4	2	0	0	0
2.	Адиабатический принцип	4	0	2	0	0
3.	Зоны Бриллюэна	4	2	0	0	0
4.	Зоны Бриллюэна	4	0	2	0	0
5.	Энергетические зоны в твердых телах	4	2	0	0	0
6.	Энергетические зоны	4	0	2	0	0
7.	Статистика носителей зарядов	4	2	0	0	0
8.	Системы тождественных частиц	4	0	2	0	0
9.	Метод вторичного квантования	6	2	0	0	0
10.	Электроны и дырки	4	0	2	0	0
11.	Акустические и оптические фононы	4	2	0	0	0
12.	Волны в одномерной решетке	4	0	2	0	0
13	Квазичастицы в твердых телах	4	2	0	0	0
14	Волны в трехмерной решетке	4	0	2	0	0
15	Конденсация бозонов	4	2	0	0	0
16	Распределение Бозе-Эйнштейна	4	0	2	0	0
17	Сверхтекучесть	4	2	0	0	0
18	Конденсация в пространстве импульсов	4	0	2	0	0

19	Электрон-фононные взаимодействия	6	2	0	0	0
20	Рассеяние электронов	4	0	2	0	0
21	Электрон-фононные взаимодействия	4	2	0	0	0
22	Магнетосопротивление	4	0	2	0	0
23	Сверхпроводники	4	2	0	0	0
24	Теория Лондонов	4	0	2	0	0
25	Сверхпроводники	4	2	0	0	0
26	Теория Гинзбурга-Ландау	4	0	2	0	0
27	Современная теория сверхпроводимости	4	2	0	0	0
28	Куперовские пары	4	0	2	0	0
29	Современная теория сверхпроводимости	4	2	0	0	0
30	Поверхностные состояния.	4	0	2	0	0
31	Оптические свойства твердых тел	6	2	2	0	0
32	Взаимодействие света с кристаллической решеткой	6	2	2	0	0
33	Оптические свойства твердых тел	4	2	0	0	0
34	Поляритоны	4	0	2	0	0
	Итого(часов)	180	34	34	0	2*

* – учитывает контактную работу на консультацию перед экзаменом.

4.2. Содержание дисциплины по темам

1. Адиабатический принцип Борна-Эренфеста

Состояния электронов в кристаллической решетке. Модулированные плоские волны. Функции Ванье.

2. Адиабатический принцип

Невозмущенный гамильтониан и возмущение.

3. Зоны Бриллюэна

Особые точки зоны Бриллюэна. Перекрывание энергетических зон.

4. Зоны Бриллюэна

Обратные решетки

5. Энергетические зоны в твердых телах

Перекрывание энергетических зон. Примеси и примесные уровни. Дефекты структуры и локализованные состояния.

6. Энергетические зоны

Пересечение энергетических зон

7. Статистика носителей зарядов

Система тождественных частиц. Фермионы и бозоны. Принцип Паули.

8. Системы тождественных частиц

Детерминанты Слэтера, метод вторичного квантования

9. Метод вторичного квантования

Метод вторичного квантования, операторы рождения и уничтожения. Представление взаимодействия. Электроны и дырки.

10. Электроны и дырки

Кулоновское и обменное взаимодействие.

11. Акустические и оптические фононы

Волны в одномерной и трехмерной решетках, квантование звуковых колебаний в твердых телах.

12. Волны в одномерной решетке

Акустические и оптические волны

13. "Квазичастицы в твердых телах"

Возбужденные состояния, как квазичастицы. Спиновые волны. Магноны.

14. Волны в трехмерной решетке

Приближение Эйнштейна и Дебая

15. Конденсация бозонов

Распределение Бозе-Эйнштейна, конденсация в пространстве импульсов.

16. "Распределение Бозе-Эйнштейна"

Теплоемкость твердых тел

17. "Сверхтекучесть"

Сверхтекучесть. Свойства сверхтекучего гелия. Ротоны.

18. Конденсация в пространстве импульсов

Температура конденсации. Преобразования Боголюбова

19. Электрон-фононные взаимодействия

Рассеяние электронов. Оператор взаимодействия. Матрица рассеяния. Вычисление матричных элементов. Графическое представление матричных элементов.

20. Рассеяние электронов

Электрон-фононное рассеяние, Рассеяние на примесях.

21. **Электрон-фононные взаимодействия**
Собственное и примесное сопротивление проводника, Магнетосопротивление.
22. **Магнетосопротивление**
Электрон в магнитном поле.
23. **Сверхпроводники**
Свойства сверхпроводников. Теория Лондонов.
24. **Теория Лондонов**
Свойства сверхпроводников, Поверхностный эффект.
25. **Сверхпроводники**
Феноменологическая теория сверхпроводимости Гинзбурга-Ландау.
26. **Теория Гинзбурга-Ландау**
Самосогласованное поле Гинзбурга-Ландау.
27. **Современная теория сверхпроводимости**
Теория сверхпроводимости Бардина, Купера, Шриффера. Куперовские пары.
28. **"Куперовские пары"**
Преобразования Боголюбова для фермионов.
29. **Современная теория сверхпроводимости**
Структура высокотемпературных сверхпроводников. Поверхностные состояния электронов.
30. **Поверхностные состояния.**
Уровни Тамма.
31. **Оптические свойства твердых тел**
Оптические свойства диэлектриков, металлов и полупроводников
32. **Взаимодействие света с кристаллической решеткой**
Высокочастотная диэлектрическая проницаемость. Дисперсионные соотношения.
33. **Оптические свойства твердых тел**
Взаимодействие света с кристаллической решеткой, поляритоны.
34. **Поляритоны**
Волны в ионной решетке.

5. Учебно-методическое обеспечение и планирование самостоятельной работы обучающихся

Таблица 3

№ Темы	Темы	Формы СРС, включая требования к подготовке к занятиям
1	Адиабатический принцип Борна-Эренфеста	Чтение обязательной и дополнительной литературы
2	Адиабатический принцип	Проработка лекций
3	Зоны Бриллюэна	Чтение обязательной и дополнительной литературы
4	Зоны Бриллюэна	Проработка лекций
5	Энергетические зоны в твердых телах	Чтение обязательной и дополнительной литературы
6	Энергетические зоны	Проработка лекций
7	Статистика носителей зарядов	Чтение обязательной и дополнительной литературы
8	Системы тождественных частиц	Проработка лекций

9	Метод вторичного квантования	Чтение обязательной и дополнительной литературы
10	Электроны и дырки	Проработка лекций
11	Акустические и оптические фононы	Чтение обязательной и дополнительной литературы
12	Волны в одномерной решетке	Проработка лекций
13	Квазичастицы в твердых телах	Чтение обязательной и дополнительной литературы
14	Волны в трехмерной решетке	Проработка лекций
15	Конденсация бозонов	Чтение обязательной и дополнительной литературы
16	Распределение Бозе-Эйнштейна	Проработка лекций
17	Сверхтекучесть	Чтение обязательной и дополнительной литературы
18	Конденсация в пространстве импульсов	Проработка лекций
19	Электрон-фононные взаимодействия	Чтение обязательной и дополнительной литературы
20	Рассеяние электронов	Проработка лекций
21	Электрон-фононные взаимодействия	Чтение обязательной и дополнительной литературы
22	Магнетосопротивление	Проработка лекций
23	Сверхпроводники	Чтение обязательной и дополнительной литературы
24	Теория Лондонов	Проработка лекций
25	Сверхпроводники	Чтение обязательной и дополнительной литературы
26	Теория Гинзбурга-Ландау	Проработка лекций
27	Современная теория сверхпроводимости	Чтение обязательной и дополнительной литературы
28	Куперовские пары	Проработка лекций
29	Современная теория сверхпроводимости	Чтение обязательной и дополнительной литературы
30	Поверхностные состояния.	Проработка лекций
31	Оптические свойства твердых тел	Чтение обязательной и дополнительной литературы
32	Взаимодействие света с кристаллической решеткой	Проработка лекций
33	Оптические свойства твердых тел	Чтение обязательной и дополнительной литературы
34	Поляритоны	Проработка лекций

6. Промежуточная аттестация по дисциплине

Экзаменационную оценку возможно получить автоматически, при условии, что: количество баллов, полученных в течение семестра, составляет 61% от максимально возможного при усвоении дисциплины – оценка "удовлетворительно";

количество баллов, полученных в течение семестра, составляет 76% от максимально возможного при усвоении дисциплины – оценка "хорошо".

Если студент желает повысить оценку или претендует на оценку "отлично", то он сдает экзамен в устной форме.

Экзаменационный билет, содержит 2 теоретических вопроса и задачу.

Ответы на экзаменационный билет оцениваются по следующим критериям:

"отлично" - студент дал полный ответ на теоретические вопросы, правильно решил задачу, продемонстрировал взаимосвязь теоретических основ механики;

"хорошо" - студент показал систематические знания поддисциплине, способность применять их для решения практических задач, но имеются недочеты в ответах и решениях;

"удовлетворительно" - студент имеет представления об основных законах и теоремах механики, однако недостаточно владеет теоретическим материалом, в ответах и решениях допускает ошибки, которые может исправить под руководством преподавателя;

"неудовлетворительно" - студент не имеет систематических знаний в области механики, слабо разбирается в теоретических и практических вопросах, допускает принципиальные ошибки в ответах и решениях.

Студент пропустивший более 50% семинаров без уважительной причины считается не освоившим дисциплину и не может получить положительной оценки на экзамене.

6.1. Оценочные материалы для проведения промежуточной аттестации по дисциплине

Вопросы к экзамену

1. Адиабатическое приближение.
2. Уравнение Хартри и Хартри-Фока.
3. Электрон в периодическом поле.
4. Обратные решетки и зоны Бриллюэна.
5. Энергетические зоны.
6. Детерминанты Слэтера.
7. Операторы вторичного квантования.
8. Электроны и дырки.
9. Обменное взаимодействие.
10. Колебания в одномерной решетке.
11. Колебания трехмерной решетки.
12. Распределение Бозе-Эйнштейна и Ферми-Дирака.
13. Теплоемкость твердых тел. Приближение Эйнштейна и Дебая.
14. Бозе-эйнштейновская конденсация.
15. Преобразования Боголюбова для бозонов.
16. Рассеяние электронов в металлах.
17. Движение электрона в магнитном поле.
18. Сверхпроводимость. Теория Лондонов.
19. Уравнение Гинзбурга-Ландау.
20. Взаимодействие электронов в сверхпроводниках.
21. Преобразование Боголюбова для электронов.
22. Уровни Тамма.
23. Диэлектрическая проницаемость кристалла.
24. Волны в полярных и неполярных кристаллах.

Примерные задачи для контрольной работы/экзамена

1. Ребро ячейки кубического кристалла равно a . Определите расстояние l между точками с индексами:

а) $\left[\left[\frac{1}{2} 0 \frac{1}{2} \right] \right]$, $\left[\left[\frac{1}{2} 1 \frac{1}{2} \right] \right]$; б) $[[000]]$, $[[111]]$; в) $\left[\left[10 \frac{1}{2} \right] \right]$, $\left[\left[\frac{1}{2} 1 \frac{1}{2} \right] \right]$.

2. Определите угол между направлениями $[236]$ и $[321]$ в кубическом кристалле.

3. Плоскость отсекает на осях координат отрезки $s_1 = 0,5$, $s_2 = 1,25$, $s_3 = 1,5$ в единицах длин ребер элементарной ячейки. Определите индексы Миллера этой плоскости.

4. Расстояние d между атомными плоскостями в кристалле поваренной соли равно $0,281 \text{ мкм}$. Определите, при каком максимальном угле падения будет наблюдаться усиление, в первом порядке, отраженных рентгеновских лучей с длиной волны $\lambda = 0,1 \text{ нм}$.

5. Определите постоянную решетки AgBr , если известно, что K_α -линия ванадия отражается в первом порядке от системы плоскостей (100) под углом скольжения $\theta = 25,9^\circ$.

6. Упругое тело объема V имеет форму прямоугольного параллелепипеда. Скорость распространения поперечных колебаний в теле равна v . Определите число dN_ω нормальных колебаний тела с частотами в интервале $(\omega, \omega + d\omega)$. Сравните полученный результат с предыдущими примерами.

7. Определите температуру Дебая θ_D для трехмерного химически чистого простого кристалла. Равновесные положения атомов находятся в вершинах прямоугольных кристаллических ячеек. Концентрация атомов $n = 1,25 \cdot 10^{29} \text{ м}^{-3}$, скорости поперечных и продольных волн одинаковы и равны $v_\perp = v_\parallel = 3,0 \cdot 10^3 \frac{\text{м}}{\text{с}}$.

8. В таблице приведены значения скоростей поперечных волн v_\perp , скорости продольных волн v_\parallel и концентрация n атомов для: а) бериллия, б) серебра, в) свинца. Определите температуру Дебая θ для этих металлов.

Металл	v_\perp , м/с	v_\parallel , м/с	n , 10^{29} м^{-3}
Бериллий	8830	12550	1,23
Серебро	1590	3600	0,586
Свинец	700	2160	0,328

9. Определите приближенное значение молярной теплоемкости аргона ($\theta_D = 92 \text{ K}$) при $T = 4,0 \text{ K}$, используя интеграл Дебая:

$$K'_n = \int_0^\infty \frac{x^4 e^x dx}{(e^x - 1)^2} = \frac{4}{15} \pi^4.$$

10. Приняв для серебра значение температуры Дебая $\theta = 208 \text{ K}$, определите:

а) максимальное значение энергии E_m фонона,

б) среднее число $\langle n_m \rangle$ фононов с энергией E_m при температуре $T = 300 \text{ K}$.

11. Полагая, что на каждый атом меди приходится один свободный электрон, определите:
- Уровень Ферми E_{f0} при температуре 0 K для меди;
 - Среднюю кинетическую энергию $\langle E \rangle$ свободных электронов при температуре 0 K ;
 - Температуру T , при которой средняя кинетическая энергия классического электронного газа равнялась бы средней кинетической энергии свободных электронов при температуре 0 K
12. Положив уровень Ферми при температуре 0 K равным $E_{f0} = 5\text{ эВ}$, определите уровень Ферми при температуре $T = 300\text{ K}$.
13. Определите, какая доля δn свободных электронов в металле имеет при абсолютном нуле кинетическую энергию, превышающую половину максимальной.
14. Оцените критическую температуру для меди T_f , при которой снимается вырождение электронного газа в проводнике.
15. Вычислите среднюю длину свободного пробега электронов λ , в полупроводнике, в сильном электрическом поле, если критическая напряженность поля $E_{кр} = 2 \cdot 10^4\text{ В/см}$. Температура полупроводника 20°C .
16. Красная граница фотопроводимости чистого беспримесного германия при низких температурах соответствует длине волны $\lambda_0 = 1,76\text{ мкм}$. Вычислите температурный коэффициент сопротивления этого полупроводника при $T = 300\text{ K}$.
17. Кривую напряженности критического магнитного поля можно представить квадратичной зависимостью:
- $$H_k = H_0 \left(1 - \left(\frac{T}{T_k} \right)^2 \right).$$
- Определите разность значений удельных энтропий и удельных теплоемкостей в n и S – состояниях.
18. Найдите выражение для скачка коэффициента теплового расширения $\Delta\alpha = \alpha_n - \alpha_S$ при сверхпроводящем переходе.
19. Один из способов получения предельно низких температур заключается в использовании адиабатического размагничивания парамагнитных кристаллов. Определите количественную характеристику этого эффекта $\left(\frac{\partial T}{\partial H} \right)_S$ для парамагнетика, подчиняющегося закону Кюри-Вейса.
20. В 1 см^3 парамагнитной соли содержится 10^{22} атомов с магнитным моментом в один магнетон Бора каждый. Соль помещается в однородное магнитное поле напряженностью 10000 Гс . Определите в процентах избыток параллельных полю спинов при комнатной температуре и температуре жидкого гелия.

6.2 Критерии оценивания компетенций:

Таблица 4

Карта критериев оценивания компетенций

№ п/п	Код и наименование компетенции	Компонент (знаниевый/функциональный)	Оценочные материалы	Критерии оценивания
-------	--------------------------------	--------------------------------------	---------------------	---------------------

1.	ОПК-1: способен применять базовые знания в области физико-математических и (или) естественных наук в сфере своей профессиональной деятельности	<p>Знает</p> <ul style="list-style-type: none"> – основные положения квантовой теории конденсированных состояний, – основные положения зонной модели электронных состояний, – связь прямой и обратной решеток кристалла, – структуру и свойства зон Бриллюэна, – характер колебательного спектра кристалла, – основные представления о спектре возбуждений сверхтекучей жидкости и сверхпроводящего электронного газа. <ul style="list-style-type: none"> – основные представления об оптических свойствах кристаллов. <p>Умеет</p> <ul style="list-style-type: none"> – использовать методы теории возмущений и вариационные методы квантовой механики для анализа процессов в конденсированных состояниях, – использовать методы анализа и оценки сложных математических выражений. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Контрольная работа № 1, 5 вариантов; 2. Контрольная работа № 2, 5 вариантов; 3. Вопросы к экзамену, 24 вопроса. 	<p>Пороговый(удовл.)</p> <p>Знает</p> <ul style="list-style-type: none"> – фундаментальные разделы общей и теоретической физики (основы квантовой механики и теории твердого тела). <p>Умеет</p> <ul style="list-style-type: none"> – применять физические законы и расчетные формулы при решении конкретных задач. <hr/> <p>Базовый (хор.)</p> <p>Знает</p> <ul style="list-style-type: none"> – фундаментальные разделы общей и теоретической физики (основы квантовой механики и теории твердого тела); – методы решения задач, основанные на математическом анализе, теории дифференциальных уравнений и методах теории аналитических функций. <p>Умеет</p> <ul style="list-style-type: none"> – применять физические законы и расчетные формулы при решении конкретных задач; – получать расчетные формулы для описания состояния конденсированных систем. <hr/> <p>Повышенный (отл.)</p> <p>Знает</p> <ul style="list-style-type: none"> – фундаментальные разделы общей и теоретической физики (основы квантовой механики и
----	--	---	--	---

				<p>теории твердого тела);</p> <p>– методы решения задач, основанные на математическом анализе, теории дифференциальных уравнений и методах теории аналитических функций;</p> <p>Умеет</p> <p>– применять физические законы и расчетные формулы при решении конкретных задач;</p> <p>– получать расчетные формулы для описания состояния конденсированных систем;</p> <p>– использовать различные разделы физики для решения комбинированных задач.</p>
--	--	--	--	---

7. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

7.1 Основная литература:

1. Аринштейн, Э. А. Элементы теоретической физики : учебное пособие / Э. А. Аринштейн. — Тюмень : ТюмГУ, 2011. — 164 с. — ISBN 978-5-400-00524-4. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/109687> (дата обращения: 17.04.2020). — Режим доступа: для авториз. пользователей.
2. Гольдаде, В. А. Физика конденсированного состояния / В. А. Гольдаде, Л. С. Пинчук. — Минск : Белорусская наука, 2009. — 648 с. — ISBN 2227-8397. — Текст : электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS : [сайт]. — URL: <http://www.iprbookshop.ru/11505.html> (дата обращения: 17.04.2020). — Режим доступа: для авторизир. пользователей

7.2. Дополнительная литература

1. Давыдов А. С. Квантовая механика /А. С. Даваыдов. – Москва: Наука, 1973. – 703 с.
2. Стрекалов, Ю. А. Физика твердого тела: Учебное пособие / Ю.А. Стрекалов, Н.А. Тенякова. - М.: ИЦ РИОР: НИЦ Инфра-М, 2018. - 307 с.: - (Высшее образование: Бакалавриат). - ISBN 978-5-369-00967-3. - Текст : электронный. - URL: <https://znanium.com/catalog/product/959952> (дата обращения: 17.04.2020). – Режим доступа: по подписке.

3. Корнилович, А. А. Физика твердого тела : учебное пособие / А. А. Корнилович, В. И. Ознобихин, И. И. Суханов. - Новосибирск : НГТУ, 2012. - 71 с. - ISBN 978-5-7782-2160-4. - Текст : электронный. - URL: <https://znanium.com/catalog/product/556765> (дата обращения: 17.04.2020). – Режим доступа: по подписке.

7.3. Программное обеспечение и Интернет – ресурсы:

1. Электронная библиотека Попечительского совета механико-математического факультета Московского государственного университета <http://lib.mexmat.ru>
2. Образовательная платформа Юрайт <https://urait.ru/>
2. eLIBRARY – Научная электронная библиотека (Москва) <http://elibrary.ru/>

7.4 Современные профессиональные базы данных и информационные справочные системы: не требуются

8. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине

– **Лицензионное ПО:**

платформа для электронного обучения Microsoft Teams

9. Технические средства и материально-техническое обеспечение дисциплины

Для проведения лекционных занятий требуется аудитория, рассчитанная на 60-80 человек, оборудованная мультимедийными средствами, а так же меловой или интерактивной доской.

Для проведения семинарских занятий требуется аудитория, рассчитанная на 20-30 человек, оборудованная меловой или интерактивной доской.

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«ТЮМЕНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

УТВЕРЖДАЮ
Заместитель директора
Физико-технического института
по учебной работе


23.06.2021 С.А. Креков

ТЕРМОДИНАМИКА И СТАТИСТИЧЕСКАЯ ФИЗИКА

Рабочая программа
для обучающихся по направлению подготовки
03.03.02 Физика
Профиль: Фундаментальная физика
очная форма обучения

Вершинин В. Е. Термодинамика и статистическая физика. Рабочая программа для обучающихся по направлению подготовки 03.03.02 Физика: Фундаментальная физика, форма обучения очная. Тюмень, 2021.

Рабочая программа дисциплины (модуля) опубликована на сайте ТюмГУ: Термодинамика [электронный ресурс] / Режим доступа: <https://www.utmn.ru/sveden/education/#>.

Рабочая программа дисциплины включает следующие разделы:

1. Пояснительная записка

Целью дисциплины является изучение фундаментальных принципов (начал) термодинамики и их применение для описания свойств макроскопических равновесных и неравновесных систем, фазовых переходов первого и второго рода, критических состояний вещества.

Изучение основных статистических закономерностей и их применение для описания свойств макроскопических равновесных и неравновесных систем.

Задачи учебного курса:

- расширить знания студентов по аксиоматике термодинамики;
- сформировать понятие энтропии как функции состояния, характеризующей направленность процессов;
- познакомить студентов с различными методами термодинамики;
- овладеть навыками построения основных термодинамических потенциалов;
- научить применять общие условия равновесия к различным системам;
- изучить понятие и классификацию фазовых переходов.
- изучить основные представления статистической физики: статистические ансамбли и статистические функции распределения;
- познакомить студентов с различными методами статистической физики: каноническими распределениями Гиббса, частичными функциями распределения Боголюбова.

1.1. Место дисциплины в структуре образовательной программы Данная дисциплина входит в вариативную часть блока Б1.

1.2. Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения данной дисциплины

Формируемые компетенции:

способен применять базовые знания в области физико-математических и (или) естественных наук в сфере своей профессиональной деятельности (ОПК-1);

1.3. Перечень планируемых результатов освоения дисциплины:

В результате освоения дисциплины обучающийся должен:

Знать:

- аксиоматику термодинамики;
- основные термодинамические процессы и их уравнения
- основные термодинамические потенциалы открытых и закрытых систем;
- классификацию фазовых переходов;
- условия устойчивого равновесия различных систем;
- термодинамику диэлектриков и магнетиков;
- термодинамику плазмы;
- основные представления статистической физики: статистические ансамбли и статистические функции распределения;
- различные методы статистической физики: канонические распределения Гиббса, частичные функции распределения Боголюбова;

Уметь:

- применять методы термодинамики для определения калорических и термических свойств равновесных систем;
- получать расчетные формулы для теплоемкостей системы в различных процессах;
- исследовать условия устойчивого равновесия различных систем;
- применять второе начало термодинамики для расчета КПД идеальных тепловых циклов;
- применять метод потенциалов к расчету термодинамики диэлектриков и магнетиков;
- описывать фазовые переходы вещества;
- определять коэффициенты переноса необратимых процессов.
- применять методы статистической физики к классическим макроскопическим системам и давать физическую интерпретацию полученным результатам;

2. Структура и трудоемкость дисциплины

Таблица 1

Вид учебной работы		Всего часов	Часов в семестре	
			7	8
Общая трудоемкость	зач. ед.	10	5	5
	час	360	180	180
Из них:				
Часы аудиторной работы (всего):		140	68	72
Лекции		36	34	36
Практические занятия		36	34	36
Лабораторные / практические занятия по подгруппам		0	0	0
Часы внеаудиторной работы, включая самостоятельную работу обучающегося		220	112	108
Вид промежуточной аттестации (зачет, диф. зачет, экзамен)			Экзамен	Экзамен

3. Система оценивания

При текущем контроле учитывается несколько видов деятельности обучающихся:

- активность на семинарах (0 – 0,5 баллов);
- выполнение домашних заданий (0 – 2 баллов);
- разбор (защита) выполненных заданий (0 – 1 баллов);
- контрольные работы (0 – 2 баллов);

Активность на семинаре включает в себя решение задач у доски, участие в решении задачи «с места», решение задач опережающими темпами и т.д. За один семинар обучающийся может набрать до 3 баллов.

Выполнение домашних заданий подразумевает проверку в начале занятия наличия выполненных заданий. Оценивается до 2 баллов.

Защита выполненных заданий подразумевает, что обучающийся поясняет ход решения задач, обосновывает применения тех или иных формул и законов. 0 – 0,5 баллов.

Критерии оценивания задач контрольных работ (**условный** максимум за одну задачу – 1 балл):

0 баллов (0%, «-»):

- Решение не приведено.

- Есть попытка решить задачу, но основные формулы или условия задачи приведены ошибочно.

0,3 балла (30%, «-+»):

- Правильно приведены основные формулы, но рассуждения содержат грубые ошибки.
- Задача решена частично.
- Отсутствуют необходимые рисунки или построения.

0,7 балла (70%, «+-»):

- Ход решения верный, но в выводах формул или расчетах есть незначительные ошибки.

1 балл (100%, «+»):

- Задача решена правильно, есть все необходимые комментарии, рисунки и расчеты.

По итогам набранных в семестре баллов обучающийся может/не может получить экзаменационную оценку (см. п. 6). В случае, если сумма баллов составляет не менее 61, и студент согласен с итоговой оценкой, ему выставляется оценка согласно шкале перевода:

- от 61 до 75 баллов – «удовлетворительно»;
- от 76 до 90 баллов – «хорошо»;
- от 91 до 100 баллов – «отлично».

В случае, если студент набрал менее 61 балла или не согласен с итоговой оценкой, ему предоставляется право сдавать экзамен, и оценка выставляется непосредственно по результатам экзамена.

4. Содержание дисциплины
4.1. Тематический план дисциплины

Таблица 2

№ п/п	Наименование тем и/или разделов	Объем дисциплины (модуля), час.				
		Всего	Виды аудиторной работы (академические часы)			Иные виды контактной работы
			Лекции	Практические занятия	Лабораторные/практические занятия по подгруппам	
1	2	3	4	5	6	7
1	Основные определения и исходные положения термодинамики. Равновесные и неравновесные процессы. Внутренняя энергия системы, работа и теплота.	4	2	0	0	0
2	Функциональные определители и их свойства	4	0	2	0	0
3	Калорическое и термические уравнения состояния системы. Первое начало термодинамики.	4	2	0	0	0
4	Функциональные определители и их свойства	4	0	2	0	0
5	Теплоемкости системы. Основные термодинамические процессы и их уравнения.	4	2	0	0	0
6	Калорические свойства простых систем	4	0	2	0	0
7	Круговые процессы. Второе начало термодинамики. Математическая формулировка второго начала термодинамики.	4	2	0	0	0
8	Калорические свойства простых систем	4	0	2	0	0
9	Основное уравнение термодинамики для равновесных процессов. Второе начало термодинамики для неравновесных процессов.	4	2	0	0	0
10	Термодинамические процессы и их уравнения	4	0	2	0	0
11	Цикл Карно. Теоремы Карно. Термодинамические потенциалы (внутренняя энергия, свободная энергия).	4	2	0	0	0
12	Термодинамические процессы и их уравнения	4	0	2	0	0
13	Термодинамические потенциалы (энергия Гиббса, энтальпия).	4	2	0	0	0

	Термодинамические потенциалы открытых систем. Химический потенциал.					
14	Идеальные циклы тепловых машин	4	0	2	0	0
15	Условия равновесия и устойчивости равновесия термодинамических систем. Условия равновесия двухфазной однокомпонентной системы.	4	2	0	0	0
16	Идеальные циклы тепловых машин	4	0	2	0	0
17	Условия устойчивого равновесия однородной системы. Фазовые переходы первого рода. Уравнения Клапейрона-Клаузиуса.	4	2	0	0	0
18	Термодинамические потенциалы закрытых систем	4	0	2	0	0
19	Фазовый переход жидкость-пар. Роль поверхностного натяжения при образовании новой фазы.	4	2	0	0	0
20	Термодинамические потенциалы закрытых систем	4	0	2	0	0
21	Фазовые переходы второго рода. Уравнения Эренфеста. Третье начало термодинамики.	4	2	0	0	0
22	Термодинамические потенциалы закрытых систем	4	0	2	0	0
23	Основные представления статистической физики. Общие свойства статистического интеграла.	4	2	0	0	0
24	Термодинамические потенциалы открытых систем. Химический потенциал	4	0	2	0	0
25	Микроканоническое распределение. Каноническое распределение Гиббса.	4	2	0	0	0
26	Термодинамические потенциалы открытых систем. Химический потенциал	4	0	2	0	0
27	Теоремы о равнораспределении. Статистическая теория реальных газов	4	2	0	0	0
28	Условия устойчивости и равновесия. Фазовые переходы	4	0	2	0	0
29	Групповое и вириальное разложение.	4	2	0	0	0
30	Условия устойчивости и равновесия. Фазовые переходы	4	0	2	0	0
31	Частичные функции распределения и цепочка уравнений Боголюбова	4	2	0	0	0

	для равновесных функций распределения.					
32	Микроканоническое распределение. Каноническое распределение Гиббса.	4	0	2	0	0
33	КУС, ТУС, химический потенциал в методе Боголюбова. Флуктуации числа частиц в жидкости.	4	2	0	0	0
34	Каноническое распределение Гиббса. Большое каноническое распределение. Большая статистическая сумма и термодинамический потенциал.	4	0	2	0	0
35	Рассеяние рентгеновского излучения жидкостями. Цепочка уравнений Боголюбова для равновесных функций распределения.	4	2	0	0	0
36	Статистическая теория реальных газов	2	0	2	0	0
	Итого (часов)	144	36	36		2*

* – учитывает контактную работу на консультацию перед экзаменом

4.2. Содержание дисциплины по темам

1. "Основные определения и исходные положения термодинамики. Равновесные и неравновесные процессы. Внутренняя энергия системы, работа и теплота."

1. Основные определения и исходные положения термодинамики.
2. Равновесные и неравновесные процессы. Внутренняя энергия системы, работа и теплота.

2. "Функциональные определители и их свойства "

Функциональные определители и их свойства

3. "Калорическое и термические уравнения состояния системы. Первое начало термодинамики."

3. Калорическое и термические уравнения состояния системы.
4. Первое начало термодинамики.

4. "Теплоемкости системы. Основные термодинамические процессы и их уравнения."

5. Теплоемкости системы.
6. Основные термодинамические процессы и их уравнения.

5. "Калорические свойства простых систем "

Калорические свойства простых систем

6. "Круговые процессы. Второе начало термодинамики. Математическая формулировка второго начала термодинамики."

7. Круговые процессы. Второе начало термодинамики.
8. Математическая формулировка второго начала термодинамики.

7. "Основное уравнение термодинамики для равновесных процессов. Второе начало термодинамики для неравновесных процессов."

9. Основное уравнение термодинамики для равновесных процессов.
10. Второе начало термодинамики для неравновесных процессов.

8. " Термодинамические процессы и их уравнения "

Термодинамические процессы и их уравнения

9. "Цикл Карно. Теоремы Карно. "

Цикл Карно. Теоремы Карно. Идеальные циклы тепловых машин

10. "Термодинамические потенциалы (внутренняя энергия, свободная энергия, энергия Гиббса, энтальпия). Термодинамические потенциалы открытых систем. Химический потенциал."

11. Термодинамические потенциалы (внутренняя энергия, свободная энергия, энергия Гиббса, энтальпия).
12. Термодинамические потенциалы открытых систем. Химический потенциал.

11. "Условия равновесия и устойчивости равновесия термодинамических систем. Условия равновесия двухфазной однокомпонентной системы."

13. Условия равновесия и устойчивости равновесия термодинамических систем.
14. Условия равновесия двухфазной однокомпонентной системы.

12. "Условия устойчивого равновесия однородной системы. Фазовые переходы первого рода. Уравнения Клапейрона-Клаузиуса."

15. Условия устойчивого равновесия однородной системы.
16. Фазовые переходы первого рода. Уравнения Клапейрона-Клаузиуса.

13. "Фазовый переход жидкость-пар. Роль поверхностного натяжения при образовании новой фазы."

17. Фазовый переход жидкость-пар.
18. Роль поверхностного натяжения при образовании новой фазы.

14. "Фазовые переходы второго рода. Уравнения Эренфеста. Третье начало термодинамики."

19. Фазовые переходы второго рода. Уравнения Эренфеста.
20. Третье начало термодинамики.

15. " Основные представления статистической физики. "

Статистические ансамбли и статистические функции распределения. Статистическое усреднение. Классическое уравнения Лиувилля.

16. "Микроканоническое распределение. Каноническое распределение Гиббса. "

Микроканоническое распределение. Статистический вес и энтропия. Каноническое распределение Гиббса. Статистическая сумма и свободная энергия.

Большое каноническое распределение. Большая статистическая сумма и термодинамический потенциал. Распределения Максвелла и Максвелла-Больцмана. Теорема о равномерном распределении кинетической энергии по степеням свободы и теорема о вириале.

17. " Статистическая теория реальных газов "

Статистическая теория реальных газов. Групповое и вириальное разложение.

18. "Корреляционные функции и цепочка уравнений Боголюбова для равновесных функций распределения. "

Частичные функции распределения и цепочка уравнений Боголюбова для равновесных функций распределения. Парная корреляционная функция и ее связь с внутренней и свободной энергией системы. КУС, ТУС, химический потенциал в методе Боголюбова. Флуктуации числа частиц в жидкости. Рассеяние рентгеновского излучения жидкостями. Цепочка уравнений Боголюбова для равновесных функций распределения.

5. Учебно-методическое обеспечение и планирование самостоятельной работы обучающихся

Таблица 3

№ Темы	Темы	Виды СРС
1	Основные определения и исходные положения термодинамики. Равновесные и неравновесные процессы. Внутренняя энергия системы, работа и теплота.	Чтение обязательной и дополнительной литературы
2	Функциональные определители и их свойства	Проработка лекций
3	Калорическое и термические уравнения состояния системы. Первое начало термодинамики.	Чтение обязательной и дополнительной литературы
4	Функциональные определители и их свойства	Проработка лекций
5	Теплоемкости системы. Основные термодинамические процессы и их уравнения.	Чтение обязательной и дополнительной литературы
6	Калорические свойства простых систем	Проработка лекций

7	Круговые процессы. Второе начало термодинамики. Математическая формулировка второго начала термодинамики.	Чтение обязательной и дополнительной литературы
8	Калорические свойства простых систем	Проработка лекций
9	Основное уравнение термодинамики для равновесных процессов. Второе начало термодинамики для неравновесных процессов.	Чтение обязательной и дополнительной литературы
10	Термодинамические процессы и их уравнения	Проработка лекций
11	Цикл Карно. Теоремы Карно. Термодинамические потенциалы (внутренняя энергия, свободная энергия).	Чтение обязательной и дополнительной литературы
12	Термодинамические процессы и их уравнения	Проработка лекций
13	Термодинамические потенциалы (энергия Гиббса, энтальпия). Термодинамические потенциалы открытых систем. Химический потенциал.	Чтение обязательной и дополнительной литературы
14	Идеальные циклы тепловых машин	Проработка лекций
15	Условия равновесия и устойчивости равновесия термодинамических систем. Условия равновесия двухфазной однокомпонентной системы.	Чтение обязательной и дополнительной литературы
16	Идеальные циклы тепловых машин	Проработка лекций
17	Условия устойчивого равновесия однородной системы. Фазовые переходы первого рода. Уравнения Клапейрона-Клаузиуса.	Чтение обязательной и дополнительной литературы
18	Термодинамические потенциалы закрытых систем	Проработка лекций
19	Фазовый переход жидкость-пар. Роль поверхностного натяжения при образовании новой фазы.	Чтение обязательной и дополнительной литературы
20	Термодинамические потенциалы закрытых систем	Проработка лекций
21	Фазовые переходы второго рода. Уравнения Эренфеста. Третье начало термодинамики.	Чтение обязательной и дополнительной литературы
22	Термодинамические потенциалы закрытых систем	Проработка лекций
23	Основные представления статистической физики. Общие свойства статистического интеграла.	Чтение обязательной и дополнительной литературы

24	Термодинамические потенциалы открытых систем. Химический потенциал	Проработка лекций
25	Микроканоническое распределение. Каноническое распределение Гиббса.	Чтение обязательной и дополнительной литературы
26	Термодинамические потенциалы открытых систем. Химический потенциал	Проработка лекций
27	Теоремы о равнораспределении. Статистическая теория реальных газов	Чтение обязательной и дополнительной литературы
28	Условия устойчивости и равновесия. Фазовые переходы	Проработка лекций
29	Групповое и вириальное разложение.	Чтение обязательной и дополнительной литературы
30	Условия устойчивости и равновесия. Фазовые переходы	Проработка лекций
31	Частичные функции распределения и цепочка уравнений Боголюбова для равновесных функций распределения.	Чтение обязательной и дополнительной литературы
32	Микроканоническое распределение. Каноническое распределение Гиббса.	Проработка лекций
33	КУС, ТУС, химический потенциал в методе Боголюбова. Флуктуации числа частиц в жидкости.	Чтение обязательной и дополнительной литературы
34	Каноническое распределение Гиббса. Большое каноническое распределение. Большая статистическая сумма и термодинамический потенциал.	Проработка лекций
35	Рассеяние рентгеновского излучения жидкостями. Цепочка уравнений Боголюбова для равновесных функций распределения.	Чтение обязательной и дополнительной литературы
36	Статистическая теория реальных газов	Проработка лекций

6. Промежуточная аттестация по дисциплине

Форма промежуточной аттестации – экзамен.

Экзаменационную оценку возможно получить автоматически, при условии, что: количество баллов, полученных в течение семестра, составляет 61% от максимально возможного при усвоении дисциплины – оценка "удовлетворительно"; количество баллов, полученных в течение семестра, составляет 76% от максимально возможного при усвоении дисциплины – оценка "хорошо".

В случае, если студент набрал менее 61 балла или не согласен с итоговой оценкой, ему предоставляется право сдавать экзамен, и оценка выставляется непосредственно по результатам экзамена. Согласно «Положению о текущем контроле успеваемости и промежуточной аттестации студентов федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Тюменский государственный университет» на экзамен на группу отводится не более 8 часов, поэтому время ответа обучающегося строго ограничено. Экзамен проводится в устно-письменной форме. На экзамене студент должен устно ответить на **вопросы билета** и решить **одну задачу**. Студент, имеющий задолженности и невыполненные задания в семестре, обязан ликвидировать эти задолженности на экзамене, выполнив эти задания и ответив на дополнительные вопросы по пропущенным темам. В случае, если студент за время экзамена не ликвидирует все задолженности, ему ставится оценка «неудовлетворительно».

Экзаменационный билет, содержит 2 теоретических вопроса и задачу.

Ответы на экзаменационный билет оцениваются по следующим критериям:

"отлично" - студент дал полный ответ на теоретические вопросы, правильно решил задачу, продемонстрировал взаимосвязь теоретических основ и практики;

"хорошо" - студент показал систематические знания по дисциплине, способность применять их для решения практических задач, но имеются недочеты в ответах и решениях;

"удовлетворительно" - студент имеет представления об основных понятиях и законах термодинамики, однако недостаточно владеет теоретическим материалом, в ответах и решениях допускает ошибки, которые может исправить под руководством преподавателя;

"неудовлетворительно" - студент не имеет систематических знаний по дисциплине, слабо разбирается в теоретических и практических вопросах, допускает принципиальные ошибки в ответах и решениях.

6.1 Оценочные материалы для проведения промежуточной аттестации по дисциплине

Примерные вопросы к экзамену

1. Основные определения и исходные положения термодинамики.
2. Равновесные и неравновесные процессы. Внутренняя энергия системы, работа и теплота.
3. Калорическое и термические уравнения состояния системы.
4. Первое начало термодинамики.
5. Теплоемкости системы.
6. Основные термодинамические процессы и их уравнения.
7. Круговые процессы. Второе начало термодинамики.
8. Математическая формулировка второго начала термодинамики.
9. Основное уравнение термодинамики для равновесных процессов.
10. Второе начало термодинамики для неравновесных процессов.
11. Цикл Карно. Теоремы Карно.
12. Термодинамические потенциалы (внутренняя энергия, свободная энергия).
13. Термодинамические потенциалы (энергия Гиббса, энтальпия).

14. Термодинамические потенциалы открытых систем. Химический потенциал.
15. Условия равновесия и устойчивости равновесия термодинамических систем.
16. Условия равновесия двухфазной однокомпонентной системы.
17. Условия устойчивого равновесия однородной системы.
18. Фазовые переходы первого рода. Уравнения Клапейрона-Клаузиуса.
19. Фазовый переход жидкость-пар.
20. Роль поверхностного натяжения при образовании новой фазы.
21. Фазовые переходы второго рода. Уравнения Эренфеста.
22. Фазовые переходы проводник-сверхпроводник.
23. Третье начало термодинамики.
24. Основные представления классической статистической физики. Уравнение Лиувилля.
25. Микроканоническое распределение Гиббса.
26. Каноническое распределение Гиббса.
27. Физический смысл параметров канонического распределения Гиббса.
28. Теоремы равномерного распределения и их применения.
29. Статистическая теория реальных газов.
30. Групповое разложение
31. Определение и общие свойства частичных функций распределения Боголюбова.
32. Вычисление средних в методе Боголюбова.
33. КУС и ТУС системы в методе Боголюбова.
34. Уравнения для частичных функций распределения Боголюбова.

Примерные задания для аудиторной контрольной работы

1. Доказать, что

$$\left(\frac{\partial x}{\partial y}\right)_z = \frac{D(x, z)}{D(y, z)};$$

2. Используя свойства функциональных определителей (якобианов перехода) показать справедливость равенства

$$\left(\frac{\partial p}{\partial V}\right)_S = \frac{C_p}{C_v} \left(\frac{\partial p}{\partial V}\right)_T$$

3. Определить, как изменяется энтропия однородной системы при изобарном расширении.
4. Определить теплоемкость идеального газа в процессах:
1) $PV^2 = \text{Const}$; 2) $P^2V = \text{Const}$;
5. Вычислить теплоемкость 1 моля идеального газа, находящегося в вертикальном, неограниченном сверху цилиндре. Вся система находится в однородном поле силы тяжести.
6. Вычислить разность теплоемкостей $C_p - C_v$ для идеального газа и газа Ван-дер-Ваальса.

7. Вычислить внутреннюю энергию (калорическое уравнение состояния) для идеального газа и газа Ван-дер-Ваальса.

8. Вычислить энтропию газа Ван-дер-Ваальса и найти уравнение адиабаты, считая $C_v = \text{const}$.

9. Определите энтропию вещества, которое описывается уравнениями:

$$V = V_0(1 + \alpha(T - T_0)), \quad \left(\frac{\partial V}{\partial p}\right)_T = 0, \quad c_p = \text{const}, \quad \text{где } V_0, \alpha, T_0 - \text{const}$$

10. Определите КПД идеального цикла, состоящего из адиабатного сжатия, изобарного подвода теплоты, адиабатного расширения, изобарного отвода теплоты. Параметр цикла $\beta = P_2/P_1$.

11. Определите КПД идеального цикла, состоящего из адиабатного сжатия, изохорного подвода теплоты, изобарного подвода теплоты, адиабатного расширения продуктов сгорания, изохорного отвода теплоты. Параметры цикла: $\varepsilon = V_1/V_2$, $\lambda = P_3/P_2$, $\rho = V_4/V_3$.

12. Найдите КПД идеального цикла, состоящего из адиабатного сжатия, изохорного нагревания, адиабатного расширения и изобарного охлаждения. Параметры цикла: $\beta = P_2/P_1$, $\lambda = P_3/P_2$.

13. Найти свободную энергию, энергию Гиббса и энтальпию газа Ван-дер-Ваальса с постоянной теплоемкостью C_v .

14. Докажите тождество:

$$\left(\frac{\partial V}{\partial P}\right)_S = \left(\frac{\partial V}{\partial P}\right)_T + \frac{T}{c_p} \left(\frac{\partial V}{\partial T}\right)_P^2$$

15. Докажите тождество:

$$\left(\frac{\partial H}{\partial V}\right)_T = T \left(\frac{\partial P}{\partial T}\right)_V + V \left(\frac{\partial P}{\partial V}\right)_T$$

16. Покажите, что

$$c_p - c_v = \left(V - \left(\frac{\partial H}{\partial P}\right)_T \right) \left(\frac{\partial P}{\partial T}\right)_V$$

17. Докажите, что

$$\frac{\partial(T, S)}{\partial(P, V)} = 1$$

18. Найти свободную энергию равновесного излучения поля, пользуясь тем, что плотность внутренней энергии излучения u определяется законом Стефана-Больцмана $u = \sigma T^4$, а давление излучения P определяется уравнением $P = u/3$.
19. Считая удельную теплоту фазового перехода постоянной, определите давление насыщенного пара.
20. Для однородного изотропного диэлектрика определите найти разность $C_E - C_D$ между теплоемкостями при постоянной напряженности электрического поля E и при постоянной индукции D .

6.2 Критерии оценивания компетенций:

Карта критериев оценивания компетенций

№ п/п	Код и наименование компетенции	Оценочные материалы	Критерии оценивания		
			пороговый (удовл.)	базовый (хор.)	повышенный (отл.)
1	ОПК-1	Задачи, экзаменационные вопросы	Знать: аксиоматику термодинамики; основные термодинамические процессы; основные термодинамические потенциалы закрытых систем;	Знать: аксиоматику термодинамики; основные термодинамические процессы и их уравнения; основные термодинамические потенциалы закрытых систем; классификацию фазовых переходов; условия устойчивого равновесия различных систем;	Знать: аксиоматику термодинамики; основные термодинамические процессы и их уравнения; основные термодинамические потенциалы открытых и закрытых систем; классификацию фазовых переходов; условия устойчивого равновесия различных систем;

7. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

7.1 Основная литература:

1. Лоренц, Г. А. Лекции по термодинамике / Г. А. Лоренц; перевод М. Е. Гинцбург; под редакцией К. В. Астахова. — Лекции по термодинамике, 2023-02-12. — Электрон. дан. (1 файл). — Ижевск: Регулярная и хаотическая динамика, Институт компьютерных исследований, 2019 — 172 с. — Гарантированный срок размещения в ЭБС до 12.02.2023 (автопродлонгация). — Книга находится в премиум-версии ЭБС IPR BOOKS. — Текст. — электронный. — <URL:<http://www.iprbookshop.ru/92045.html>>. (дата обращения: 01.04.2020). — Режим доступа: для авторизир. пользователей
2. Московский, С. Б. Курс статистической физики и термодинамики: учебник для вузов / С. Б. Московский. — Курс статистической физики и термодинамики, 2021-02-01. — Электрон. дан. (1 файл). — Москва: Академический Проект, Фонд «Мир», 2015 — 317 с. — Гарантированный срок размещения в ЭБС до 01.02.2021 (автопродлонгация). — Книга

находится в премиум-версии ЭБС IPR BOOKS. — Текст. — электронный. — <URL:<http://www.iprbookshop.ru/36735.html>> (дата обращения: 01.04.2020). — Режим доступа: для авторизир. пользователей

7.2 Дополнительная литература:

1. Замураев В.П. Задачи с решениями по термодинамике и статистической физике (микростатистическое распределение) [Электронный ресурс]: учебное пособие/ Замураев В.П., Калинина А.П.— Электрон. текстовые данные.— Новосибирск: Новосибирский государственный университет, 2016.— 83 с.— Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/93488.html>.— ЭБС «IPRbooks» (дата обращения: 01.04.2020). — Режим доступа: для авторизир. пользователей
2. Зоммерфельд А. Термодинамика и статистическая физика [Электронный ресурс]/ Арнольд Зоммерфельд— Электрон. текстовые данные.— Москва, Ижевск: Регулярная и хаотическая динамика, Институт компьютерных исследований, 2019.— 480 с.— Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/92115.html>.— ЭБС «IPRbooks» (дата обращения: 01.04.2020). — Режим доступа: для авторизир. пользователей
3. Ландау, Л. Д. Теоретическая физика : учебное пособие для вузов : в 10 т. Том 5. Статистическая физика. Часть 1 / Л. Д. Ландау, Е. М. Лифшиц ; под. ред. Л. П. Питаевского. — 6-е изд., стер. - Москва : ФИЗМАТЛИТ, 2018. - 620 с. - ISBN 978-5-9221-1510-0. - Текст : электронный. - URL: <https://znanium.com/catalog/product/1223531> (дата обращения: 01.04.2020). – Режим доступа: по подписке
4. Лоренц Г.А. Статистические теории в термодинамике [Электронный ресурс]/ Лоренц Г.А.— Электрон. текстовые данные.— Ижевск: Регулярная и хаотическая динамика, Институт компьютерных исследований, 2019.— 184 с.— Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/92063.html>.— ЭБС «IPRbooks» (дата обращения: 01.04.2020). – Режим доступа: по подписке

7.3 Интернет-ресурсы:

<http://elibrary.ru/defaultx.asp>
<http://link.springer.com> javascript:void(0);
<http://www.iprbookshop.ru/>
<https://e.lanbook.com/>
<https://znanium.com/>

7.4 Современные профессиональные базы данных и информационные справочные системы:

Не используются в данной дисциплине.

8. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине

– Лицензионное ПО:

платформа для электронного обучения Microsoft Teams

9. Технические средства и материально-техническое обеспечение дисциплины (указывается в соответствии с ФГОС ВО)

Для проведения лекционных занятий требуется аудитория на 75 посадочных мест, оснащенная меловой доской.

Для проведения практических занятий требуется аудитория на 30 посадочных мест, оснащенная меловой доской.

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«ТЮМЕНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

УТВЕРЖДАЮ
Заместитель директора
Физико-технического института по
учебной работе


23.06.2021 С.А. Креков

ЛИНЕЙНЫЕ И НЕЛИНЕЙНЫЕ УРАВНЕНИЯ ФИЗИКИ

Рабочая программа
для обучающихся по направлению подготовки
03.03.02 Физика
Профиль: Фундаментальная физика
очная форма обучения

Вершинин В.Е. Линейные и нелинейные уравнения физики Рабочая программа для обучающихся по направлению подготовки (специальности) 03.03.02 Физика, форма обучения очная. Тюмень, 2020.

Рабочая программа дисциплины (модуля) опубликована на сайте ТюмГУ: Линейные и нелинейные уравнения физики [электронный ресурс] / Режим доступа: <https://www.utmn.ru/sveden/education/#>.

Рабочая программа дисциплины (модуля) включает следующие разделы:

1. Пояснительная записка

Дисциплина «Линейные и нелинейные уравнения физики» призвана сформировать у студентов навыки построения математических моделей различных физических явлений и нахождения решения получающихся при этом краевых задач для уравнений в частных производных. Дисциплина составляет математическую основу дисциплин «Теоретическая физика», «Вычислительная физика», а также различных специальных дисциплин. Кроме того, она позволяет студентам достаточно свободно работать со специальной научной литературой

Целью дисциплины является формирование у студентов общих знаний по методам решения задач математической физики.

Задачи дисциплины:

- формирование целостного представления о построении математической модели физического явления или процесса;
- изучение методов решения краевых задач для уравнений в частных производных.

1.1. Место дисциплины (модуля) в структуре образовательной программы (выбирается в соответствии с действующим стандартом)

Стандарт ФГОС ВО 3+

Данная дисциплина входит в базовую часть блока Б1 Дисциплины, изучается в 5 семестре.

Знания, полученные в ходе изучения дисциплины «Линейные и нелинейные уравнения физики» необходимы для изучения последующих дисциплин «Квантовая теория», «Физика конденсированного состояния», «Термодинамика и статистическая физика 1», «Термодинамика и статистическая физика 2», «Физика нефтяного и газового пласта 1», «Физика нефтяного и газового пласта 2», «Физика нефтяного и газового пласта 3».

1.2. Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения данной дисциплины (модуля)

В результате освоения дисциплины выпускник должен обладать следующими компетенциями:

Код и наименование компетенции (из ФГОС ВО)	Компонент (знаниевый/функциональный)
ОПК-3 Способен использовать современные информационные технологии и программные средства при решении задач профессиональной деятельности, соблюдая требования информационной безопасности	Знает – фундаментальные разделы математики;
	Умеет – создавать математические модели типовых задач; – интерпретировать полученные результаты с учетом границ применимости моделей.

2. Структура и объем дисциплины

Таблица 1

Вид учебной работы	Всего часов (академические часы)	Часов в семестре (академические часы)
		5
Общий объем зач. ед. час	4	4
	144	144
Из них:		
Часы аудиторной работы (всего):	72	72
Лекции	36	36
Практические занятия	36	36
Лабораторные / практические занятия по подгруппам	0	0
Часы внеаудиторной работы, включая самостоятельную работу обучающегося	72	72
Вид промежуточной аттестации (зачет, диф. зачет, экзамен)		экзамен

3. Система оценивания

При текущем контроле учитывается несколько видов деятельности обучающихся:

- активность на семинарах (0 – 0,5 баллов);
- выполнение домашних заданий (0 – 2 баллов);
- разбор (защита) выполненных заданий (0 – 1 баллов);
- контрольные работы (0 – 2 баллов);

Активность на семинаре включает в себя решение задач у доски, участие в решении задачи «с места», решение задач опережающими темпами и т.д. За один семинар обучающийся может набрать до 3 баллов.

Выполнение домашних заданий подразумевает проверку в начале занятия наличия выполненных заданий. Оценивается до 2 баллов.

Защита выполненных заданий подразумевает, что обучающийся поясняет ход решения задач, обосновывает применения тех или иных формул и законов. 0 – 0,5 баллов.

Критерии оценивания задач контрольных работ (**условный** максимум за одну задачу – 1 балл):

0 баллов (0%, «-»):

- Решение не приведено.
- Есть попытка решить задачу, но основные формулы или условия задачи приведены ошибочно.

0,3 балла (30%, «-+»):

- Правильно приведены основные формулы, но рассуждения содержат грубые ошибки.
- Задача решена частично.
- Отсутствуют необходимые рисунки или построения.

0,7 балла (70%, «+-»):

- Ход решения верный, но в выводах формул или расчетах есть незначительные ошибки.

1 балл (100%, «+»):

- Задача решена правильно, есть все необходимые комментарии, рисунки и расчеты.

По итогам набранных в семестре баллов обучающийся может/не может получить экзаменационную оценку (см. п. 6).

4. Содержание дисциплины

4.1. Тематический план дисциплины

Таблица 2

№ п/п	Наименование тем и/или разделов	Объем дисциплины (модуля), час.				
		Всего	Виды аудиторной работы (академические часы)			Иные виды контактно й работы
			Лекции	Практич еские занятия	Лабораторные/ практические занятия по подгруппам	
1	2	3	4	5	6	7
1.	Лекция 1. Физические задачи, приводящие к уравнениям в частных производных	4	2	0	0	0
2.	Семинар 1. Физические задачи, приводящие к уравнениям в частных производных	4	0	2	0	0

3.	Лекция 2. Классификация УЧП. Приведение УЧП второго порядка к каноническому виду	4	2	0	0	0
4.	Семинар 2. Приведение УЧП второго порядка к каноническому виду	4	0	2	0	0
5.	Лекция 3. Методы решения задач для УЧП первого порядка.	4	2	0	0	0
6.	Семинар 3. Методы решения задач для УЧП первого порядка.	4	0	2	0	0
7.	Лекция 4. Метод бегущих волн при решении задач гиперболического типа.	4	2	0	0	0
8.	Семинар 4. Метод бегущих волн при решении задач гиперболического типа.	4	0	2	0	0
9.	Лекция 5. Решение полуограниченных краевых задач гиперболического типа	4	2	0	0	0
10.	Семинар 5. Решение полуограниченных краевых задач гиперболического типа	4	0	2	0	0
11.	Лекция 6. Метод разделения переменных при решении ограниченных краевых задач гиперболического типа	4	2	0	0	0
12.	Семинар 6. Метод разделения переменных при решении ограниченных краевых задач гиперболического типа	4	0	2	0	0
13.	Лекция 7. Уравнения параболического тип. Принцип максимума.	4	2	0	0	0
14.	Семинар 7. Краевые задачи для уравнений	4	0	2	0	0

	параболического типа. Метод разделения переменных					
15.	Лекция 8. Неоднородные краевые задачи для уравнений параболического типа	4	2	0	0	0
16.	Семинар 8. Неоднородные краевые задачи для уравнений параболического типа	4	0	2	0	0
17.	Лекция 9. Задача Коши для уравнений параболического типа	4	2	0	0	0
18.	Семинар 9. Задача Коши для уравнений параболического типа	4	0	2	0	0
19.	Лекция 10. Фундаментальные решения уравнений эллиптического типа	4	2	0	0	0
20.	Семинар 10. Фундаментальные решения уравнений эллиптического типа	4	0	2	0	0
21.	Лекция 11. Интегральное представление гармонических функций. Функция источника для краевых задач эллиптического типа	4	2	0	0	0
22.	Семинар 11. Интегральное представление гармонических функций. Функция источника для краевых задач эллиптического типа	4	0	2	0	0
23.	Лекция 12. Применение специальных функций для решения краевых задач УЧП	4	2	0	0	0

24.	Семинар 12. Применение специальных функций для решения краевых задач УЧП	4	0	2	0	0
25.	Лекция 13. Методы интегральных преобразований	4	2	0	0	0
26.	Семинар 13. Методы интегральных преобразований	4	0	2	0	0
27.	Лекция 14. Методы интегральных преобразований	4	2	0	0	0
28.	Семинар 14. Методы интегральных преобразований	4	0	2	0	0
29.	Лекция 15. Методы решений нелинейных УЧП 1 порядка	4	2	0	0	0
30.	Семинар 15. Методы решений нелинейных УЧП 1 порядка	4	0	2	0	0
31.	Лекция 16. Нелинейные УЧП 2 порядка и выше	4	2	0	0	0
32.	Семинар 16. Нелинейные УЧП 2 порядка	4	0	2	0	0
33.	Лекция 17. Численные методы решения нелинейных уравнений математической физики.	4	2	0	0	0
34.	Семинар 17. Численные методы решения нелинейных уравнений математической физики.	4	0	2	0	0
35.	Лекция 18. Численные методы решения нелинейных уравнений математической физики высокого порядка.	4	2	0	0	0
36.	Семинар 18. Численные методы решения	2	0	2	0	0

	нелинейных уравнений математической физики высокого порядка.					
	Итого (часов)	144	36	36	0	2*

*

4.2. Содержание дисциплины по темам

1. "Лекция 1. Физические задачи, приводящие к уравнениям в частных производных"
2. "Семинар 1. Физические задачи, приводящие к уравнениям в частных производных"
3. "Лекция 2. Классификация УЧП. Приведение УЧП второго порядка к каноническому виду"
4. "Семинар 2. Приведение УЧП второго порядка к каноническому виду"
5. "Лекция 3. Методы решения задач для УЧП первого порядка."
6. "Семинар 3. Методы решения задач для УЧП первого порядка."
7. "Лекция 4. Метод бегущих волн при решении задач гиперболического типа."
8. "Семинар 4. Метод бегущих волн при решении задач гиперболического типа."
9. "Лекция 5. Решение полуограниченных краевых задач гиперболического типа "
10. "Семинар 5. Решение полуограниченных краевых задач гиперболического типа "
11. "Лекция 6. Метод разделения переменных при решении ограниченных краевых задач гиперболического типа"
12. "Семинар 6. Метод разделения переменных при решении ограниченных краевых задач гиперболического типа"
13. "Лекция 7. Уравнения параболического типа. Принцип максимума."
14. "Семинар 7. Краевые задачи для уравнений параболического типа. Метод разделения переменных"
15. "Лекция 8. Неоднородные краевые задачи для уравнений параболического типа "
16. "Семинар 8. Неоднородные краевые задачи для уравнений параболического типа "
17. "Лекция 9. Задача Коши для уравнений параболического типа "
18. "Семинар 9. Задача Коши для уравнений параболического типа "
19. "Лекция 10. Фундаментальные решения уравнений эллиптического типа "
20. "Семинар 10. Фундаментальные решения уравнений эллиптического типа "
21. "Лекция 11. Интегральное представление гармонических функций. Функция источника для краевых задач эллиптического типа"
22. "Семинар 11. Интегральное представление гармонических функций. Функция источника для краевых задач эллиптического типа"
23. "Лекция 12. Применение специальных функций для решения краевых задач УЧП"

24. "Семинар 12. Применение специальных функций для решения краевых задач УЧП"
25. "Лекция 13. Методы интегральных преобразований"
26. "Семинар 13. Методы интегральных преобразований"
27. "Лекция 14. Методы интегральных преобразований"
28. "Семинар 14. Методы интегральных преобразований"
29. "Лекция 15. Методы решений нелинейных УЧП 1 порядка"
30. "Семинар 15. Методы решений нелинейных УЧП 1 порядка"
31. "Лекция 16. Нелинейные УЧП 2 порядка и выше"
32. "Семинар 16. Нелинейные УЧП 2 порядка"
33. "Лекция 17. Численные методы решения нелинейных уравнений математической физики."
34. "Семинар 17. Численные методы решения нелинейных уравнений математической физики."
35. "Лекция 18. Численные методы решения нелинейных уравнений математической физики высокого порядка."
36. "Семинар 18. Численные методы решения нелинейных уравнений математической физики высокого порядка."

5. Учебно-методическое обеспечение и планирование самостоятельной работы обучающихся

Таблица 3

№ темы	Темы	Формы СРС, включая требования к подготовке к занятиям
1	Лекция 1. Физические задачи, приводящие к уравнениям в частных производных	Чтение обязательной и дополнительной литературы
2	Семинар 1. Физические задачи, приводящие к уравнениям в частных производных	Проработка лекций
3	Лекция 2. Классификация УЧП. Приведение УЧП второго порядка к каноническому виду	Чтение обязательной и дополнительной литературы
4	Семинар 2. Приведение УЧП второго порядка к каноническому виду	Проработка лекций
5	Лекция 3. Методы решения задач для УЧП первого порядка.	Чтение обязательной и дополнительной литературы

6	Семинар 3. Методы решения задач для УЧП первого порядка.	Проработка лекций
7	Лекция 4. Метод бегущих волн при решении задач гиперболического типа.	Чтение обязательной и дополнительной литературы
8	Семинар 4. Метод бегущих волн при решении задач гиперболического типа.	Проработка лекций
9	Лекция 5. Решение полуограниченных краевых задач гиперболического типа	Чтение обязательной и дополнительной литературы
10	Семинар 5. Решение полуограниченных краевых задач гиперболического типа	Проработка лекций
11	Лекция 6. Метод разделения переменных при решении ограниченных краевых задач гиперболического типа	Чтение обязательной и дополнительной литературы
12	Семинар 6. Метод разделения переменных при решении ограниченных краевых задач гиперболического типа	Проработка лекций
13	Лекция 7. Уравнения параболического тип. Принцип максимума.	Чтение обязательной и дополнительной литературы
14	Семинар 7. Краевые задачи для уравнений параболического типа. Метод разделения переменных	Проработка лекций
15	Лекция 8. Неоднородные краевые задачи для уравнений параболического типа	Чтение обязательной и дополнительной литературы
16	Семинар 8. Неоднородные краевые задачи для уравнений параболического типа	Проработка лекций
17	Лекция 9. Задача Коши для уравнений параболического типа	Чтение обязательной и дополнительной литературы
18	Семинар 9. Задача Коши для уравнений параболического типа	Проработка лекций

19	Лекция 10. Фундаментальные решения уравнений эллиптического типа	Чтение обязательной и дополнительной литературы
20	Семинар 10. Фундаментальные решения уравнений эллиптического типа	Проработка лекций
21	Лекция 11. Интегральное представление гармонических функций. Функция источника для краевых задач эллиптического типа	Чтение обязательной и дополнительной литературы
22	Семинар 11. Интегральное представление гармонических функций. Функция источника для краевых задач эллиптического типа	Проработка лекций
23	Лекция 12. Применение специальных функций для решения краевых задач УЧП	Чтение обязательной и дополнительной литературы
24	Семинар 12. Применение специальных функций для решения краевых задач УЧП	Проработка лекций
25	Лекция 13. Методы интегральных преобразований	Чтение обязательной и дополнительной литературы
26	Семинар 13. Методы интегральных преобразований	Проработка лекций
27	Лекция 14. Методы интегральных преобразований	Чтение обязательной и дополнительной литературы
28	Семинар 14. Методы интегральных преобразований	Проработка лекций
29	Лекция 15. Методы решений нелинейных УЧП 1 порядка	Чтение обязательной и дополнительной литературы
30	Семинар 15. Методы решений нелинейных УЧП 1 порядка	Проработка лекций
31	Лекция 16. Нелинейные УЧП 2 порядка и выше	Чтение обязательной и дополнительной литературы
32	Семинар 16. Нелинейные УЧП 2 порядка	Проработка лекций

33	Лекция 17. Численные методы решения нелинейных уравнений математической физики.	Чтение обязательной и дополнительной литературы
34	Семинар 17. Численные методы решения нелинейных уравнений математической физики.	Проработка лекций
35	Лекция 18. Численные методы решения нелинейных уравнений математической физики высокого порядка.	Чтение обязательной и дополнительной литературы
36	Семинар 18. Численные методы решения нелинейных уравнений математической физики высокого порядка.	Проработка лекций

Характеризуется порядок выполнения каждого вида самостоятельной работы обучающегося и контроля за ней.

6. Промежуточная аттестация по дисциплине (модулю)

Экзаменационную оценку возможно получить автоматически, при условии, что: количество баллов, полученных в течение семестра, составляет 61% от максимально возможного при усвоении дисциплины – оценка "удовлетворительно";

количество баллов, полученных в течение семестра, составляет 76% от максимально возможного при усвоении дисциплины – оценка "хорошо".

Если студент желает повысить оценку или претендует на оценку "отлично", то он сдает экзамен в устной форме.

Экзаменационный билет, содержит 2 теоретических вопроса и задачу.

Ответы на экзаменационный билет оцениваются по следующим критериям:

"отлично" - студент дал полный ответ на теоретические вопросы, правильно решил задачу, продемонстрировал взаимосвязь теоретических основ и практики;

"хорошо" - студент показал систематические знания по дисциплине, способность применять их для решения практических задач, но имеются недочеты в ответах и решениях;

"удовлетворительно" - студент имеет представления об основных типах краевых задач для УЧП и методах их решения, однако недостаточно владеет теоретическим материалом, в ответах и решениях допускает ошибки, которые может исправить под руководством преподавателя;

"неудовлетворительно" - студент не имеет систематических знаний по дисциплине, слабо разбирается в теоретических и практических вопросах, допускает принципиальные ошибки в ответах и решениях.

6.1 Оценочные материалы для проведения промежуточной аттестации по дисциплине (модулю)

Примерные вопросы для экзамена.

1. Задачи, приводящие к уравнениям в частных производных (на примере задачи о малых колебаниях струны). Классификация УЧП.
2. Классификация УЧП 2-го порядка. Канонический вид уравнений 2-го порядка и способы приведения к нему.
3. Приведение к каноническому виду уравнений гиперболического типа.
4. Приведение к каноническому виду уравнений параболического и эллиптического типов.
5. Типы граничных условий и виды задач для УЧП 2-го порядка.
6. Физический смысл краевых условий для задач гиперболического типа.
7. Решение задачи Коши для одномерного волнового уравнения методом бегущих волн. Понятие о характеристиках Формула Даламбера.
8. Решение однородных краевых задач для полубесконечной струны методом бегущих волн.
9. Распространение краевого режима для полубесконечной струны.
10. Решение задачи Коши для 2-3 мерного волнового уравнения. Формула Пуассона. Цилиндрические волны.
11. Решение одномерных краевых задач для волнового уравнения методом разделения переменных. (на примере I-краевой задачи для уравнения $U_{tt}=a^2U_{xx}$). Понятие о гармониках.
12. Решение неоднородного волнового уравнения методом разложения по собственным функциям.
13. Общая схема решения неоднородных краевых задач для волнового уравнения
14. Колебания прямоугольной пластины
15. Колебания круглой мембраны. Уравнение Бесселя. Функции Бесселя.
16. Физические задачи, приводящие к уравнениям параболического типа. Виды краевых условий.
17. Постановка краевых задач для уравнений параболического типа. Принцип максимума и его следствия.
18. Решение одномерных краевых задач параболического типа методом разделения переменных.
19. Решение неоднородных уравнений параболического типа методом разложения по собственным функциям. Функция источника. Ее физический смысл.

20. Задача Коши для уравнения теплопроводности. Функция источника задачи Коши.
21. Физический смысл и свойства функции источника задачи Коши.
22. Решение одномерной краевой задачи для уравнения теплопроводности в случае полубесконечной среды. Распространение краевого режима.
23. Задачи эллиптического типа. Частные решения уравнения Лапласа. Постановка внутренних и внешних краевых задач для уравнения Лапласа.*
24. Формулы Грина. Свойства гармонических функций.
25. Функция источника для краевых задач уравнения Лапласа.
26. Метод электростатических изображений. Функция источника для сферы и плоскости.
27. Сферические функции и их свойства
28. Применение сферических функций к решению задач Дирихле и Неймана для шара.
29. Методы интегральных преобразований при решении краевых задач и задач Коши.
30. Понятие о нелинейных уравнениях математической физики.
31. Автомодельные решения нелинейных уравнений.

Примерные задачи для контрольной работы/экзамена

1. Привести к каноническому виду уравнение $y^2 U_{xx} - x^2 U_{yy} = 0$
2. Неограниченной струне сообщена на отрезке $-c < x < c$ поперечная начальная скорость $V_0 = \text{const}$: вне этого отрезка начальная скорость равна нулю. Найти формулы, представляющие закон движения точек струны с различными абсциссами при $t > 0$, и построить (начертить) положения струны для моментов времени $t_k = kc/4a$, где $k = 0, 2, 4, 6$.
3. В начальный момент времени $t = 0$ неограниченная струна получает в точке $x = x_0$ поперечный удар, передающий струне импульс I . Найти отклонение $U(x, t)$ точек струны от положения равновесия при $t > 0$, предполагая, что начальные отклонения точек струны и начальные скорости равны нулю.
4. Концы струны ($0 < x < l$) закреплены жестко, а начальное отклонение имеет форму квадратичной параболы, симметричной относительно перпендикуляра к середине струны. Найти колебания струны, если начальные скорости равны нулю.
5. Неподвижная струна ($0 < x < l$) с жестко закрепленными концами возбуждается ударом жесткого плоского молоточка, сообщаящего ей начальную скорость V_0 в пределах участка: $0 < x_1 < x < x_2 < l$. Найти колебания струны, если начальное отклонение равно нулю.
6. Струна ($0 < x < l$) с жестко закрепленными концами до момента $t = 0$ находилась в состоянии равновесия под действием поперечной силы $F_0 = \text{const}$, приложенной к точке x_0 струны перпендикулярно к невозмущенному положению струны. В начальный момент времени $t = 0$ действие силы F_0 мгновенно прекращается. Найти колебания струны при $t > 0$.
7. Найти продольные колебания упругого стержня со свободными концами, если начальные скорости и начальные смещения в продольном направлении произвольны. Учесть возможность равномерного прямолинейного движения стержня.

8. Найти температуру стержня $0 \leq x \leq l$ с теплоизолированной боковой поверхностью и теплоизолированными концами, если его начальная температура является произвольной функцией $f(x)$. Перейти затем к случаю, когда на боковой поверхности происходит конвективный теплообмен (по закону Ньютона) со средой, температура которой равна нулю.
9. Начальная температура стержня $0 < x < l$ с теплоизолированной боковой поверхностью равна $U_0 = \text{const}$, а на концах его поддерживается постоянная температура $U(0, t) = U_1 = \text{const}$, и $U(l, t) = U_2 = \text{const}$, $0 < t < +\infty$. Найти температуру $U(x, t)$ стержня при $t > 0$; найти также стационарную температуру
10. Начальная температура стержня $0 < x < l$ является произвольной функцией $f(x)$. Температуры концов постоянны: $U(0, t) = U_1 = \text{const}$, и $U(l, t) = U_2 = \text{const}$, $0 < t < +\infty$. На боковой поверхности происходит теплообмен по закону Ньютона со средой, температура которой равна $U_0 = \text{const}$. Найти температуру стержня.
11. Найти распределение температуры в тонком однородном кольце единичного радиуса, на поверхности которого происходит конвективный теплообмен с окружающей средой, имеющей постоянную температуру; начальная температура кольца произвольна. Рассмотреть, в частности, случай, когда в начальный момент времени кольцо было равномерно нагрето.
12. Применяя интегральное преобразование Фурье, решить краевую задачу. $U_t = a^2 U_{xx}$, $-\infty < x < +\infty$, $0 < t < +\infty$, $U(x, 0) = f(x)$, $-\infty < x < +\infty$.
13. Применяя интегральное преобразование Фурье, решить краевую задачу. $U_t = a^2 U_{xx} + f(x, t)$, $-\infty < x < +\infty$, $0 < t < +\infty$, $U(x, 0) = 0$, $-\infty < x < +\infty$.
14. Применяя интегральное преобразование Фурье, решить краевую задачу. $U_t = a^2 U_{xx}$, $0 < x < +\infty$, $0 < t < +\infty$, $U(0, t) = 0$, $0 < t < +\infty$. $U(x, 0) = f(x)$, $0 < x < +\infty$.
15. Рассмотрим круг радиуса a с центром в начале координат. Пусть (ρ, φ) - полярные, а (x, y) - прямоугольные координаты. Найти решение первой внутренней краевой задачи для уравнения Лапласа, если заданы следующие граничные условия:
- $U|_{\rho=a} = A$; б) $U|_{\rho=a} = A \cos \varphi$; в) $U|_{\rho=a} = A + B\varphi$; г) $U|_{\rho=a} = A\varphi$;
 - д) $U|_{\rho=a} = A + B \sin \varphi$; е) $U|_{\rho=a} = A \sin 2\varphi + B \cos 2\varphi$,
 - где A и B - постоянные.
16. Решить вторую внутреннюю краевую задачу $\Delta U = 0$, $dU/dn|_{\rho=a} = f(M)$ для круга S радиуса a с центром в точке $\rho = 0$ для следующих частных случаев: а) $f(M) = A$;
- б) $f(M) = Ax$; в) $f(M) = A(x^2 - y^2)$; г) $f(M) = A \cos \varphi + B$; д) $f(M) = A \sin \varphi + B \sin^3 \varphi$.
- б. Отметить неправильно поставленные задачи.

6.2 Критерии оценивания компетенций:

Таблица 4

Карта критериев оценивания компетенций

№ п/п	Код и наименование компетенции	Компонент (знаниевый/функциональный)	Оценочные материалы	Критерии оценивания		
				пороговый (удовл.)	базовый (хор.)	повышенный (отл.)
1	ОПК-3 Способен использовать	Знает – фундаментал	Вопросы семинарских занятий;	Знает: классификацию	Знает: классификацию	Знает: классификацию уравнений

<p>современные информационные технологии и программные средства при решении задач профессиональной деятельности, соблюдая требования информационной безопасности</p>	<p>льные разделы математики;</p>	<p>контрольные работы; коллоквиумы; экзаменационные вопросы.</p>	<p>уравнений в частных производных .</p>	<p>уравнений в частных производных и методы решения основных классических уравнений математической физики</p>	<p>в частных производных и методы решения основных классических уравнений математической физики, теорию специальных функций</p>
	<p>Умеет – создавать математические модели типовых задач; – интерпретировать полученные результаты с учетом границ применимости и моделей.</p>				

7. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины (модуля)

При формировании перечня основной и дополнительной литературы используются информационные ресурсы Библиотечно-музейного комплекса ТюмГУ, размещенные на сайте БМК в разделе «Электронные ресурсы».

7.1 Основная литература:

1. Лесин, В. В. Уравнения математической физики : учебное пособие / В. В. Лесин. - Москва : КУРС : ИНФРА-М, 2020. - 240 с. - ISBN 978-5-906818-61-4. - Текст : электронный. - URL: <https://znanium.com/catalog/product/961832> (дата обращения: 01.04.2020). – Режим доступа: по подписке.
2. Владимиров, В. С. Уравнения математической физики : учебник для вузов / В. С. Владимиров, В. В. Жаринов. - 2-е изд., стер. - Москва : ФИЗМАТЛИТ, 2008. - 400 с. - ISBN 978-5-9221-0310-7. - Текст : электронный. - URL: <https://znanium.com/catalog/product/169279> (дата обращения: 01.04.2020). – Режим доступа: по подписке.

7.2 Дополнительная литература:

1. Сухинов, А. И. Курс лекций по уравнениям математической физики с примерами и задачами: учебное пособие / А.И. Сухинов, В.Н. Зуев, В.В. Семенистый. - Ростов н/Д: Издательство ЮФУ, 2009. - 307 с. ISBN 978-5-9275-0669-9. - Текст : электронный. - URL: <https://znanium.com/catalog/product/549839> (дата обращения: 01.04.2020). – Режим доступа: по подписке.
2. Торшина. О. А. Уравнения математической физики : учебное пособие / О. А. Торшина. — Москва : ИНФРА-М, 2020. — 59 с. - ISBN 978-5-16-108561-5. - Текст : электронный. - URL: <https://znanium.com/catalog/product/1089483> (дата обращения: 01.04.2020). – Режим доступа: по подписке.

7.3 Интернет-ресурсы: *(при необходимости)*

<http://elibrary.ru/defaultx.asp>

http://www.tmnlib.ru/jirbis/index.php?option=com_bookmarks&Itemid=6119&task=view&id=1449

<http://link.springer.com> javascript:void(0);

7.4 Современные профессиональные базы данных и информационные справочные системы:

Не используются в данной дисциплине.

8. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине (модулю) *(при необходимости)*:

- **Лицензионное ПО:**
платформа для электронного обучения Microsoft Teams

**9. Технические средства и материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля)
(указывается в соответствии с ФГОС ВО)**

Для проведения лекционных занятий требуется аудитория на 75 посадочных мест, оснащенная меловой доской.

Для проведения практических занятий требуется аудитория на 30 посадочных мест, оснащенная меловой доской.