

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования  
«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

УТВЕРЖДАЮ

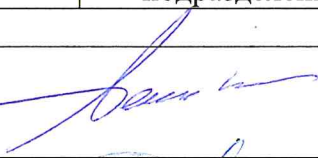
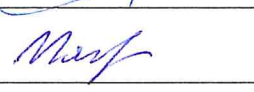
Директор ИЯТШ

 О.Ю. Долматов

«28» 06 2020 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**  
**ПРИЕМ 2019 г.**  
**ФОРМА ОБУЧЕНИЯ очная**

| Векторный и тензорный анализ                            |                                    |         |   |
|---------------------------------------------------------|------------------------------------|---------|---|
| Направление подготовки/<br>специальность                | 03.03.02 Физика                    |         |   |
| Образовательная программа<br>(направленность (профиль)) | Физика конденсированного состояния |         |   |
| Специализация                                           |                                    |         |   |
| Уровень образования                                     | высшее образование - бакалавриат   |         |   |
| Курс                                                    | 2                                  | Семестр | 4 |
| Трудоемкость в кредитах<br>(зачетных единицах)          | 3                                  |         |   |
| Виды учебной деятельности                               | Временной ресурс                   |         |   |
| Контактная (аудиторная)<br>работа, ч                    | Лекции                             | 16      |   |
|                                                         | Практические занятия               | 32      |   |
|                                                         | Лабораторные занятия               | 0       |   |
|                                                         | ВСЕГО                              | 48      |   |
| Самостоятельная работа, ч                               |                                    | 60      |   |
| ИТОГО, ч                                                |                                    | 108     |   |

| Вид промежуточной<br>аттестации                                      | Зачет                                                                                | Обеспечивающее<br>подразделение | ОЭФ ИЯТШ      |
|----------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------|---------------|
| Заведующий кафедрой –<br>руководитель отделения на<br>правах кафедры |  |                                 | Лидер А.М.    |
| Руководитель ООП                                                     |  |                                 | Склярова Е.А. |
| Преподаватель                                                        |  |                                 | Мягкий А.Н.   |

2020 г.

## 1. Цели освоения дисциплины

Целями освоения дисциплины является формирование у обучающихся определенного ООП (п.5 Общей характеристики ООП) состава компетенций для подготовки к профессиональной деятельности.

| Код компетенции | Наименование компетенции                                                                                                                                                                                                                                | Составляющие результатов освоения (дескрипторы компетенций) |                                                                                                                                                                                                                                                                      |
|-----------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                 |                                                                                                                                                                                                                                                         | Код                                                         | Наименование                                                                                                                                                                                                                                                         |
| ОПК(У)-2        | Способность использовать в профессиональной деятельности базовые знания фундаментальных разделов математики, создавать математические модели типовых профессиональных задач интерпретировать полученные результаты с учетом границ применимости моделей | ОПК(У)-2.B1                                                 | Владеет математическим аппаратом алгебры и дифференциального исчисления функции одной переменной для проведения теоретического исследования и моделирования физических и химических процессов и явлений, а также, для решения профессиональных задач                 |
|                 |                                                                                                                                                                                                                                                         | ОПК(У)-2.B2                                                 | Владеет математическим аппаратом дифференциального и интегрального исчисления для проведения теоретического исследования и моделирования физических и химических процессов и явлений, а также, для решения профессиональных задач                                    |
|                 |                                                                                                                                                                                                                                                         | ОПК(У)-2.B3                                                 | Владеет математическим аппаратом комплексного и операционного исчисления, дифференциальными уравнениями и рядами для проведения теоретического исследования и моделирования физических и химических процессов и явлений, а также, для решения профессиональных задач |
|                 |                                                                                                                                                                                                                                                         | ОПК(У)-2.У1                                                 | Умеет применять изученные методы алгебры и анализа для решения стандартных задач                                                                                                                                                                                     |
|                 |                                                                                                                                                                                                                                                         | ОПК(У)-2.У2                                                 | Умеет применять аппарат дифференциального и интегрального исчисления для решения стандартных задач                                                                                                                                                                   |
|                 |                                                                                                                                                                                                                                                         | ОПК(У)-2.У3                                                 | Умеет решать обыкновенные дифференциальные уравнения и их системы, применять аппарат гармонического и комплексного анализа при решении стандартных задач                                                                                                             |
|                 |                                                                                                                                                                                                                                                         | ОПК(У)-2.31                                                 | Знает основные понятия и теоремы линейной и векторной алгебры, аналитической геометрии, теории линейных пространств, дифференциального исчисления функции одной переменной                                                                                           |

## 2. Место дисциплины (модуля) в структуре ООП

Дисциплина относится к базовой части Блока 1 учебного плана образовательной программы.

## 3. Планируемые результаты обучения по дисциплине

После успешного освоения дисциплины будут сформированы результаты обучения:

| Планируемые результаты обучения по дисциплине |                                                                                                                                                                           | Компетенция |
|-----------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|
| Код                                           | Наименование                                                                                                                                                              |             |
| РД-1                                          | Знать базовые понятия, определения и основные теоремы векторного анализа (теоремы Грина, Остроградского-Гаусса, Стокса и др.).                                            | ОПК(У)-2    |
| РД-2                                          | Знать основные понятия тензорного анализа, законы преобразования векторных и тензорных полей при преобразовании координат, основы теории ковариантного дифференцирования. | ОПК(У)-2    |
| РД-3                                          | Владеть навыками использования математического аппарата векторного и тензорного анализа для решения физических задач.                                                     | ОПК(У)-2    |

Оценочные мероприятия текущего контроля и промежуточной аттестации представлены в календарном рейтинг-плане дисциплины.

#### 4. Структура и содержание дисциплины

##### Основные виды учебной деятельности

| Разделы дисциплины                             | Формируемый результат обучения по дисциплине | Виды учебной деятельности | Объем времени, ч. |
|------------------------------------------------|----------------------------------------------|---------------------------|-------------------|
| <b>Раздел (модуль) 1.<br/>Векторный анализ</b> | РД-1<br>РД-3                                 | Лекции                    | 6                 |
|                                                |                                              | Практические занятия      | 10                |
|                                                |                                              | Лабораторные занятия      | –                 |
|                                                |                                              | Самостоятельная работа    | 20                |
| <b>Раздел (модуль) 2.<br/>Тензорный анализ</b> | РД-2<br>РД-3                                 | Лекции                    | 10                |
|                                                |                                              | Практические занятия      | 22                |
|                                                |                                              | Лабораторные занятия      | –                 |
|                                                |                                              | Самостоятельная работа    | 40                |

Содержание разделов дисциплины:

##### Раздел 1. Векторный анализ

Скалярное поле. Производная по направлению. Градиент скалярного поля. Векторное поле. Векторные линии. Поток векторного поля и дивергенция. Циркуляция векторного поля и ротор. Производная по направлению векторного поля. Потенциальное векторное поле. Скалярный потенциал. Соленоидальное векторное поле. Векторный потенциал. Оператор Гамильтона и его свойства. Дифференциальные операции 2-го порядка. Оператор Лапласа. Лапласово векторное поле. Гармонические функции и их свойства. Интегральные теоремы векторного анализа. Обратная задача теории поля. Криволинейные ортогональные системы координат. Выражение элементов длины дуги для координатных кривых, элементов площадей для координатных поверхностей и элемента объема через коэффициенты Ламе. Основные дифференциальные операции теории поля в ортогональных криволинейных координатах.

##### Темы лекций:

1. Оператор Гамильтона и его свойства.
2. Интегральные формулы.
3. Дифференциальные операции в ортогональных криволинейных координатах.

##### Темы практических занятий:

1. Скалярное и векторное поле. Дифференциальные операции 1-го порядка. Векторные линии. Скалярный потенциал. Векторный потенциал.
2. Дифференциальные операции 2-го порядка. Оператор Гамильтона и Лапласа.
3. Первая и вторая интегральные формулы Грина. Обратная задача теории поля.
4. Дифференциальные операции 1-го и 2-го порядка в криволинейных координатах.
5. Контрольная работа по теме “Векторный анализ”.

##### Раздел 2. Тензорный анализ

Линейное (векторное) пространство. Базис и координаты. Линейные формы. Линейные операторы. Сопряженные линейные пространства. Взаимные базисы. Линейные формы. Полилинейные формы. Понятие тензора. Линейное пространство тензоров. Координаты тензора и их преобразование. Инвариантность тензорных уравнений. Алгебраические операции над тензорами: сложение, умножение тензоров, свертка, перестановка индексов, симметрирование и альтернация. Евклидовы векторные пространства. Метрический тензор.

Ковариантные и контравариантные координаты векторов. Операции поднятия и опускания индексов. Главные оси тензора. Приведение тензора к главным осям. Инварианты тензора. Дискриминантный тензор. Псевдотензоры. Аффинное (точечное) пространство. Тензоры в точечном пространстве. Тензорные поля. Тензоры в криволинейных координатах. Метрический тензор в точечном пространстве. Символы Кристоффеля. Операция ковариантного дифференцирования и ее свойства. Тензор Римана-Кристоффеля. Римановы пространства. Касательное пространство. Преобразование координат в римановом и касательном пространствах. Параллельный перенос векторов и тензоров в римановом пространстве. Риманова связность. Абсолютный дифференциал и абсолютная производная. Тензор кривизны. Геодезические линии в римановом пространстве. Приложение тензоров к физическим задачам.

#### **Темы лекций:**

1. Линейное (векторное) пространство. Линейные формы. Линейные операторы.
2. Понятие тензора. Алгебраические операции над тензорами.
3. Тензоры в евклидовом векторном пространстве. Метрический тензор.
4. Аффинное (точечное) пространство. Тензорные поля в криволинейных координатах.
5. Операция ковариантного дифференцирования и ее свойства. Тензор Римана-Кристоффеля.

#### **Темы практических занятий:**

1. Линейные пространства. Сопряженные пространства. Преобразование базиса и координат вектора.
2. Преобразование матрицы линейного оператора при переходе к новому базису.
3. Операции над тензорами: сложение, умножение, свертка, симметрирование и альтернирование.
4. Метрический тензор. Поднятие и опускание индексов.
5. Главные оси тензора. Приведение тензора к главным осям. Инварианты тензора.
6. Признак тензорности величин. Дискриминантный тензор. Псевдотензоры.
7. Тензорные поля в криволинейных координатах. Ковариантная производная.
8. Римановы пространства. Касательное пространство. Преобразование координат.
9. Параллельный перенос тензоров в римановом пространстве. Абсолютный дифференциал и абсолютная производная.
10. Приложение тензоров к физическим задачам.
11. Контрольная работа по теме “Тензорный анализ”.

### **5. Организация самостоятельной работы студентов**

Самостоятельная работа студентов при изучении дисциплины (модуля) предусмотрена в следующих видах и формах:

- Работа с лекционным материалом, поиск и обзор литературы и электронных источников информации по индивидуально заданной проблеме курса;
- Изучение тем, вынесенных на самостоятельную проработку;
- Поиск, анализ, структурирование и презентация информации;
- Выполнение домашних заданий и домашних контрольных работ;
- Подготовка к практическим и семинарским занятиям;
- Подготовка к оценивающим мероприятиям.

### **6. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины**

#### **6.1. Учебно-методическое обеспечение**

### Основная литература

1. Келлер, И. Э. Тензорное исчисление: учебное пособие / И. Э. Келлер. – Санкт-Петербург: Лань, 2012. – 176 с. – ISBN 978-5-8114-1352-2. – Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com/book/3814>. – Режим доступа: для авториз. пользователей.
2. Аникин, А. Ю. Теория поля: учебное пособие / А. Ю. Аникин. – Москва: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2013. – 106 с. – ISBN 978-5-7038-3763-4. – Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com/book/52075>. – Режим доступа: для авториз. пользователей.
3. Горлач, Б. А. Тензорная алгебра и тензорный анализ: учебное пособие / Б. А. Горлач. – Санкт-Петербург: Лань, 2015. – 160 с. – ISBN 978-5-8114-1834-3. – Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com/book/56160>. – Режим доступа: для авториз. пользователей.
4. Щетинин, А. Н. Введение в тензорный анализ: учебное пособие / А. Н. Щетинин, Е. А. Губарева. – Москва: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2012. – 35 с. – Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com/book/58471>. – Режим доступа: для авториз. пользователей.
5. Матвеев, К. А. Введение в тензорное исчисление: учебное пособие / К. А. Матвеев. – 2-е изд., испр. – Новосибирск: НГТУ, 2016. – 64 с. – ISBN 978-5-7782-3092-7. – Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com/book/118317>. – Режим доступа: для авториз. пользователей.

### Дополнительная литература

1. Краснов, М. Л. Векторный анализ: учебное пособие / М. Л. Краснов, А. И. Киселев, Г. И. Макаренко. – Москва: Наука, 1978. – 159 с. – Текст: непосредственный. <http://catalog.lib.tpu.ru/catalogue/advanced/document/RU%5CTPU%5Cbook%5C71922>
2. Лапин, И. А. Кратные интегралы. Теория поля: учебное пособие / И. А. Лапин, И. С. Ратафьева. – Санкт-Петербург: НИУ ИТМО, 2009. – 112 с. – Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com/book/43871>. – Режим доступа: для авториз. пользователей.
3. Гаврилов, В. Р. Математика в техническом университете: учебник: в 21 выпуск / В. Р. Гаврилов, Е. Е. Иванова, В. Д. Морозова. – 3-е изд., испр. – Москва: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2007 – Выпуск 7: Кратные и криволинейные интегралы. Элементы теории поля – 2008. – 496 с. – ISBN 978-5-7038-3190-8. – Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com/book/106552>. – Режим доступа: для авториз. пользователей.
4. Аливердиева, Э. И. Тензорная алгебра и абсолютное дифференциальное исчисление: учебно-методическое пособие / Э. И. Аливердиева, Е. В. Левашкина, М. И. Орлов. – Москва: МИСИС, 2002. – 84 с. – Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com/book/116449>. – Режим доступа: для авториз. пользователей.
5. Мышкис, А. Д. Математика для технических ВУЗов. Специальные курсы: учебное пособие / А. Д. Мышкис. – 3-е изд., стер. – Санкт-Петербург: Лань, 2009. – 640 с. – ISBN 978-5-8114-0395-0. – Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com/book/282>. – Режим доступа: для авториз. пользователей.

## 6.2. Информационное и программное обеспечение

Профессиональные Базы данных:

1. Электронная библиотека ММФ МГУ – <http://www.lib.mexmat.ru>

2. Общероссийский математический портал – <http://www.mathnet.ru>
3. Библиотека по естественным наукам РАН – <http://www.benran.ru>
4. Научно-образовательный сайт EqWorld – Мир математических уравнений – <http://eqworld.ipmnet.ru>
5. Единое окно доступа к образовательным ресурсам – <http://window.edu.ru>

Лицензионное программное обеспечение (в соответствии с **Перечнем лицензионного программного обеспечения ТПУ**):

1. Microsoft Office 2007 Standard Russian Academic;
2. 7-Zip;
3. Adobe Acrobat Reader DC;
4. Adobe Flash Player;
5. Google Chrome;
6. Mozilla Firefox ESR;
7. Tracker Software PDF-XChange Viewer;
8. WinDjView;
9. Cisco Webex Meetings;
10. Zoom Zoom

## 7. Особые требования к материально-техническому обеспечению дисциплины

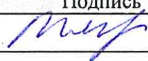
В учебном процессе используется следующее лабораторное оборудование для практических и лабораторных занятий:

| №  | Наименование специальных помещений                                                                                                                                                                        | Наименование оборудования                                                                                              |
|----|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1. | Аудитория для проведения учебных занятий всех типов, курсового проектирования, консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации<br>634028, Томская область, г. Томск, Ленина проспект, д. 2 412 | Доска аудиторная настенная - 1 шт.; Тумба стационарная - 1 шт.; Компьютер - 1 шт.; Проектор - 1 шт.                    |
| 2. | Аудитория для проведения учебных занятий всех типов, курсового проектирования, консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации<br>634028, Томская область, г. Томск, Ленина проспект, д. 2 418 | Комплект учебной мебели на 50 посадочных мест; Компьютер - 1 шт.; Проектор - 1 шт.                                     |
| 3. | Аудитория для проведения учебных занятий всех типов, курсового проектирования, консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации<br>634028, Томская область, г. Томск, Ленина проспект, д. 2 419 | Доска аудиторная настенная - 2 шт.; Комплект учебной мебели на 30 посадочных мест; Проектор - 1 шт.; Компьютер - 1 шт. |
| 4. | Аудитория для проведения учебных занятий всех типов, курсового проектирования, консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации                                                                 | Доска аудиторная настенная - 1 шт.; Комплект учебной мебели на 72 посадочных мест; Компьютер - 1 шт.; Проектор - 1 шт. |

|                                                                    |  |
|--------------------------------------------------------------------|--|
| 634028, Томская область, г.<br>Томск, Ленина проспект, д. 2<br>422 |  |
|--------------------------------------------------------------------|--|

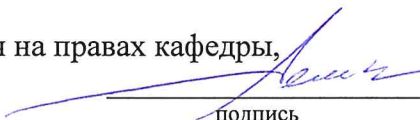
Рабочая программа составлена на основе Общей характеристики образовательной программы по направлению 03.03.02 Физика, профиль «Физика конденсированного состояния» (приема 2019 г., очная форма обучения).

Разработчик(и):

| Должность | Подпись                                                                           | ФИО         |
|-----------|-----------------------------------------------------------------------------------|-------------|
| доцент    |  | Мягкий А.Н. |

Программа одобрена на заседании Отделения экспериментальной физики ИЯТШ (протокол от «20» июня 2019 г. №6).

Заведующий кафедрой – руководитель отделения на правах кафедры,  
д.т.н., профессор

  
подпись /Лидер А.М./

**Лист изменений рабочей программы дисциплины:**

| Учебный год                 | Содержание /изменение                                                                                                                                       | Обсуждено на заседании<br>отделения ОЭФ (протокол) |
|-----------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------|
| 2020/2021<br>учебный<br>год | Внесены изменения в п.6 «Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины» (добавлено программное обеспечение Cisco Webex Meetings и Zoom Zoom). | Протокол № 3 от<br>«31» августа 2020 г.            |