

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

**Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования "Пермский
государственный национальный исследовательский
университет"**

Кафедра теоретической физики

Авторы-составители: **Марышев Борис Сергеевич
Демин Виталий Анатольевич
Циберкин Кирилл Борисович**

Рабочая программа дисциплины
ВЕКТОРНЫЙ И ТЕНЗОРНЫЙ АНАЛИЗ
Код УМК 68998

Утверждено
Протокол №6
от «08» июня 2020 г.

Пермь, 2020

1. Наименование дисциплины

Векторный и тензорный анализ

2. Место дисциплины в структуре образовательной программы

Дисциплина входит в базовую часть Блока « Б.1 » образовательной программы по направлениям подготовки (специальностям):

Направление: **03.03.02** Физика

направленность Фундаментальная физика

3. Планируемые результаты обучения по дисциплине

В результате освоения дисциплины **Векторный и тензорный анализ** у обучающегося должны быть сформированы следующие компетенции:

03.03.02 Физика (направленность : Фундаментальная физика)

ОПК.1 способность использовать базовые знания основных разделов математического анализа, алгебры, аналитической геометрии, математической логики, теории вероятностей и математической статистики, численных методов в будущей профессиональной деятельности

ОПК.8 способность использовать в профессиональной деятельности базовые знания фундаментальных разделов математики, создавать математические модели типовых профессиональных задач и интерпретировать полученные результаты с учетом границ применимости моделей

4. Объем и содержание дисциплины

Направления подготовки	03.03.02 Физика (направленность: Фундаментальная физика)
форма обучения	очная
№№ триместров, выделенных для изучения дисциплины	3
Объем дисциплины (з.е.)	3
Объем дисциплины (ак.час.)	108
Контактная работа с преподавателем (ак.час.), в том числе:	42
Проведение лекционных занятий	14
Проведение практических занятий, семинаров	28
Проведение лабораторных работ, занятий по иностранному языку	0
Самостоятельная работа (ак.час.)	66
Формы текущего контроля	Входное тестирование (1) Итоговое контрольное мероприятие (1) Письменное контрольное мероприятие (3)
Формы промежуточной аттестации	Зачет (3 триместр)

5. Аннотированное описание содержания разделов и тем дисциплины

Векторный и тензорный анализ. Первый семестр

Операции с векторами, базис

Операции с векторами

Операции над векторами. Инварианты векторов. Скалярное произведение. Векторное и смешанное произведение векторов. Неравенство Шварца.

Преобразования координат

Базисные векторы. Преобразование векторов. Свойства матрицы преобразования.

Понятие тензора

Свойства тензоров

Определение тензора. Действия над тензорами. Индексная форма записи. Примеры тензорных величин (тензор поляризуемости). Транспонирование тензоров. Шпур. Разложение тензора на неприводимые компоненты.

Операции с тензорами

Прямое произведение, оператор проектирования. Упрощения и свертки. Инвариантные тензоры. Дельта-символ. Определение и свойства. Псевдотензоры, ϵ -символ. Свертки символа Леви-Чивита. Соотношение дуальности. Векторное произведение.

Дифференциальные операторы

Векторные и тензорные поля. Оператор набла. Градиент. Операции DIV и ROT. Лапласиан.

Криволинейные системы координат

Градиент скалярного поля в декартовой и цилиндрической СК. Основные свойства и примеры. Дифференциальные операции второго порядка. Лапласиан. Соленоидальные и потенциальные поля.

Интегральные теоремы в обобщенной форме

Интегрирование векторных полей по контуру, поверхности и по объему. Понятия циркуляции векторного поля и потока векторного поля. Обобщенная теорема Остроградского - Гаусса. Интегрирование тензоров и векторов по кривой. Обобщенная теорема Стокса. Примеры применения интегральных теорем в физике.

6. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

Освоение дисциплины требует систематического изучения всех тем в той последовательности, в какой они указаны в рабочей программе.

Основными видами учебной работы являются аудиторские занятия. Их цель - расширить базовые знания обучающихся по осваиваемой дисциплине и систему теоретических ориентиров для последующего более глубокого освоения программного материала в ходе самостоятельной работы. Обучающемуся важно помнить, что контактная работа с преподавателем эффективно помогает ему овладеть программным материалом благодаря расстановке необходимых акцентов и удержанию внимания интонационными модуляциями голоса, а также подключением аудио-визуального механизма восприятия информации.

Самостоятельная работа преследует следующие цели:

- закрепление и совершенствование теоретических знаний, полученных на лекционных занятиях;
- формирование навыков подготовки текстовой составляющей информации учебного и научного назначения для размещения в различных информационных системах;
- совершенствование навыков поиска научных публикаций и образовательных ресурсов, размещенных в сети Интернет;
- самоконтроль освоения программного материала.

Обучающемуся необходимо помнить, что результаты самостоятельной работы контролируются преподавателем во время проведения мероприятий текущего контроля и учитываются при промежуточной аттестации.

Обучающимся с ОВЗ и инвалидов предоставляется возможность выбора форм проведения мероприятий текущего контроля, альтернативных формам, предусмотренным рабочей программой дисциплины. Предусматривается возможность увеличения в пределах 1 академического часа времени, отводимого на выполнение контрольных мероприятий.

Процедура оценивания результатов обучения инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья по дисциплине предусматривает предоставление информации в формах, адаптированных к ограничениям их здоровья и восприятия информации.

При проведении текущего контроля применяются оценочные средства, обеспечивающие передачу информации, от обучающегося к преподавателю, с учетом психофизиологических особенностей здоровья обучающихся.

7. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине

При самостоятельной работе обучающимся следует использовать:

- конспекты лекций;
- литературу из перечня основной и дополнительной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины (модуля);
- текст лекций на электронных носителях;
- ресурсы информационно-телекоммуникационной сети "Интернет", необходимые для освоения дисциплины;
- лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение из перечня информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине;
- методические указания для обучающихся по освоению дисциплины.

8. Перечень основной и дополнительной учебной литературы

Основная:

1. Любимов Д. В., Марышев Б. С., Циберкин К. Б. Векторный и тензорный анализ: учебное пособие для студентов, обучающихся по направлениям подготовки бакалавров "Физика", "Радиофизика", "Прикладная математика и физика", "Нанотехнологии и микросистемная техника"/Д. В. Любимов, Б. С. Марышев, К. Б. Циберкин.-Пермь, 2016, ISBN 978-5-7944-2715-8.-1.-Библиогр.: с. 92
<https://elis.psu.ru/node/392690>
2. Ильин В. А., Позняк Э. Г. Аналитическая геометрия: учебник для студентов физической специальности и специальности "Прикладная математика"/В. А. Ильин, Э. Г. Позняк.-Москва: Физматлит, 2003, ISBN 5-9221-0128-5.-240.
3. Мусин, Ю. Р. Тензорный анализ. Вводный курс с приложениями к анализу и геометрии : учебное пособие для академического бакалавриата / Ю. Р. Мусин. — 2-е изд., перераб. и доп. — Москва : Издательство Юрайт, 2019. — 184 с. — (Бакалавр. Академический курс). — ISBN 978-5-534-06198-7. — Текст : электронный // ЭБС Юрайт [сайт]. <https://www.urait.ru/bcode/438945>

Дополнительная:

1. Александров П. С. Курс аналитической геометрии и линейной алгебры: учебник для вузов/П. С. Александров.-Санкт-Петербург: Лань, 2009, ISBN 978-5-8114-0908-2.-512.-Предм. указ.: с. 505-511
2. Гершанок В. А. Сборник задач по векторной алгебре и элементам теории поля: учебное пособие/В. А. Гершанок.-Пермь, 2001, ISBN 5-7944-0172-9.-72.-Библиогр.: с. 71
3. Игнаточкина Л. А. Руководство к решению задач по тензорной алгебре векторных пространств: Учебное пособие/Игнаточкина Л. А..-Москва: Московский педагогический государственный университет, 2014, ISBN 978-5-4263-0159-7.-64. <http://www.iprbookshop.ru/31762>

9. Перечень ресурсов сети Интернет, необходимых для освоения дисциплины

<http://library.psu.ru/node/738> Ресурсы Научной библиотеки ПГНИУ

<http://elis.psu.ru> Электронная мультимедийная библиотека ELiS

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

Образовательный процесс по дисциплине **Векторный и тензорный анализ** предполагает использование следующего программного обеспечения и информационных справочных систем:

- доступ в режиме on-line в Электронную библиотечную систему (ЭБС)
- доступ в электронную информационно-образовательную среду университета.
- Интернет-сервисы и электронные ресурсы (поисковые системы, электронная почта и т.д.)

Перечень необходимого лицензионного и (или) свободно распространяемого программного обеспечения:

- приложение, позволяющее просматривать PDF-файлы
- офисный пакет приложений «LibreOffice».

Дополнительный перечень используемых информационных технологий определяется преподавателями дисциплины.

При освоении материала и выполнении заданий по дисциплине рекомендуется использование материалов, размещенных в Личных кабинетах обучающихся ЕТИС ПГНИУ (student.psu.ru).

При организации дистанционной работы и проведении занятий в режиме онлайн могут использоваться:

- система видеоконференцсвязи на основе платформы BigBlueButton (<https://bigbluebutton.org/>).
- система LMS Moodle (<http://e-learn.psu.ru/>), которая поддерживает возможность использования текстовых материалов и презентаций, аудио- и видеоконтент, а так же тесты, проверяемые задания, задания для совместной работы.
- система тестирования Indigo (<https://indigotech.ru/>).

11. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине

Для лекционных занятий требуется аудитория, оснащенная презентационной техникой (проектор, экран, компьютер/ноутбук) с соответствующим программным обеспечением, меловой (и) или маркерной доской.

Для проведения практических занятий - аудитория, оснащенная презентационной техникой (проектор, экран, компьютер/ноутбук) с соответствующим программным обеспечением, меловой (и) или маркерной доской.

Для групповых (индивидуальных) консультаций - аудитория, оснащенная презентационной техникой (проектор, экран, компьютер/ноутбук) с соответствующим программным обеспечением, меловой (и) или маркерной доской.

Для проведения текущего контроля - аудитория, оснащенная меловой (и) или маркерной доской.

Самостоятельная работа студентов: аудитория, оснащенная компьютерной техникой с возможностью

подключения к сети «Интернет», с обеспеченным доступом в электронную информационно-образовательную среду университета, помещения Научной библиотеки ПГНИУ.

Помещения научной библиотеки ПГНИУ для обеспечения самостоятельной работы обучающихся:

1. Научно-библиографический отдел, корп.1, ауд. 142. Оборудован 3 персональными компьютера с доступом к локальной и глобальной компьютерным сетям.

2. Читальный зал гуманитарной литературы, корп. 2, ауд. 418. Оборудован 7 персональными компьютерами с доступом к локальной и глобальной компьютерным сетям.

3. Читальный зал естественной литературы, корп.6, ауд. 107а. Оборудован 5 персональными компьютерами с доступом к локальной и глобальной компьютерным сетям.

4. Отдел иностранной литературы, корп.2 ауд. 207. Оборудован 1 персональным компьютером с доступом к локальной и глобальной компьютерным сетям.

5. Библиотека юридического факультета, корп.9, ауд. 4. Оборудована 11 персональными компьютерами с доступом к локальной и глобальной компьютерным сетям.

6. Читальный зал географического факультета, корп.8, ауд. 419. Оборудован 6 персональными компьютерами с доступом к локальной и глобальной компьютерным сетям.

Все компьютеры, установленные в помещениях научной библиотеки, оснащены следующим программным обеспечением:

Операционная система ALT Linux;

Офисный пакет Libreoffice.

Справочно-правовая система «КонсультантПлюс»

**Фонды оценочных средств для аттестации по дисциплине
Векторный и тензорный анализ**

**Планируемые результаты обучения по дисциплине для формирования компетенции и
критерии их оценивания**

Компетенция	Планируемые результаты обучения	Критерии оценивания результатов обучения
<p>ОПК.1 способность использовать базовые знания основных разделов математического анализа, алгебры, аналитической геометрии, математической логики, теории вероятностей и математической статистики, численных методов в будущей профессиональной деятельности</p>	<p>Знать: основные понятия линейной алгебры, теории поля Уметь: проводить преобразования математических выражений, применять интегральные теоремы. Владеть: навыками вычисления собственных векторов, упрощения выражений с применением интегральных теорем.</p>	<p align="center">Неудовлетворител</p> <p>Не знает основные понятия линейной алгебры, теории поля. Не умеет проводить преобразования математических выражений, применять интегральные теоремы. Не владеет навыками вычисления собственных векторов, упрощения выражений с применением интегральных теорем.</p> <p align="center">Удовлетворительн</p> <p>Общие, но не структурированные знания основных понятий линейной алгебры, теории поля. Демонстрирует частично сформированное умение производить расчёты, давать интерпретацию результатов. Имеет представление о приёмах вычисления собственных векторов, упрощения выражений с применением интегральных теорем.</p> <p align="center">Хорошо</p> <p>Сформированные, но содержащие отдельные пробелы знания основных понятий линейной алгебры, теории поля. В целом успешные, но содержащие отдельные пробелы умения производить расчёты, давать интерпретацию результатов, контролировать правильность вычислений, самостоятельно приобретать новые знания. В целом успешно, но с отдельными пробелами владеет навыками вычисления собственных векторов, упрощения выражений с применением интегральных теорем.</p> <p align="center">Отлично</p> <p>Сформированные систематические знания основных понятий линейной алгебры, теории поля. Сформированное умение производить расчёты, проводить преобразования математических выражений,</p>

Компетенция	Планируемые результаты обучения	Критерии оценивания результатов обучения
		<p style="text-align: center;">Отлично</p> <p>применять интегральные теоремы. Успешное и систематическое применение навыков вычисления собственных векторов, упрощения выражений с применением интегральных теорем.</p>
<p>ОПК.8 способность использовать в профессиональной деятельности базовые знания фундаментальных разделов математики, создавать математические модели типовых профессиональных задач и интерпретировать полученные результаты с учетом границ применимости моделей</p>	<p>Знать: приложения теории поля. Уметь: применять методы векторного анализа в профессиональной деятельности. Владеть: навыками представления физических задач в терминах теории поля.</p>	<p style="text-align: center;">Неудовлетворител</p> <p>Не знает приложения теории поля. Не умеет применять методы векторного анализа в профессиональной деятельности. Не владеет навыками представления физических задач в терминах теории поля.</p> <p style="text-align: center;">Удовлетворительн</p> <p>Общие, но не структурированные знания приложений теории поля. Демонстрирует частично сформированное умение применять методы векторного анализа в профессиональной деятельности. Имеет представление о приёмах записи физических задач в терминах теории поля.</p> <p style="text-align: center;">Хорошо</p> <p>Сформированные, но содержащие отдельные пробелы знания приложений теории поля. В целом успешные, но содержащие отдельные пробелы умения применять методы векторного анализа в профессиональной деятельности. В целом успешно, но с отдельными пробелами владеет навыками представления физических задач в терминах теории поля.</p> <p style="text-align: center;">Отлично</p> <p>Сформированные систематические знания приложений теории поля. Сформированное умение применять методы векторного анализа в профессиональной деятельности. Успешное и систематическое применение навыков представления физических задач в терминах теории поля.</p>

Оценочные средства текущего контроля и промежуточной аттестации

Схема доставки : Базовая

Вид мероприятия промежуточной аттестации : Зачет

Способ проведения мероприятия промежуточной аттестации : Оценка по дисциплине в рамках промежуточной аттестации определяется на основе баллов, набранных обучающимся на контрольных мероприятиях, проводимых в течение учебного периода.

Максимальное количество баллов : 100

Конвертация баллов в отметки

«отлично» - от 81 до 100

«хорошо» - от 61 до 80

«удовлетворительно» - от 50 до 60

«неудовлетворительно» / «незачтено» менее 50 балла

Компетенция	Мероприятие текущего контроля	Контролируемые элементы результатов обучения
Входной контроль	Операции с векторами Входное тестирование	Умение оперировать матрицами, векторами, вычислять собственные числа матриц
ОПК.1 способность использовать базовые знания основных разделов математического анализа, алгебры, аналитической геометрии, математической логики, теории вероятностей и математической статистики, численных методов в будущей профессиональной деятельности	Операции с тензорами Письменное контрольное мероприятие	Знать: основные понятия и теоремы векторного и тензорного анализа Уметь: вычислять собственные значения операторов, оперировать математическими выражениями с использованием индексной нотации Владеть: приемами преобразования выражений в индексной нотации, навыками применения основных теорем векторного и тензорного анализа
ОПК.1 способность использовать базовые знания основных разделов математического анализа, алгебры, аналитической геометрии, математической логики, теории вероятностей и математической статистики, численных методов в будущей профессиональной деятельности	Криволинейные системы координат Письменное контрольное мероприятие	Знание и владение приемами использования дифференциальных операторов, интегральных теорем векторного и тензорного анализа. Знание и умение преобразовывать выражения в криволинейных координатах.

Компетенция	Мероприятие текущего контроля	Контролируемые элементы результатов обучения
ОПК.8 способность использовать в профессиональной деятельности базовые знания фундаментальных разделов математики, создавать математические модели типовых профессиональных задач и интерпретировать полученные результаты с учетом границ применимости моделей	Интегральные теоремы в обобщенной форме Итоговое контрольное мероприятие	Знание базовых понятий теории матриц, теории операторов, умение находить собственные значения и главные оси координат. Владение навыками применения дифференциальных операторов и интегральных теорем к векторным полям.
ОПК.8 способность использовать в профессиональной деятельности базовые знания фундаментальных разделов математики, создавать математические модели типовых профессиональных задач и интерпретировать полученные результаты с учетом границ применимости моделей	Интегральные теоремы в обобщенной форме Письменное контрольное мероприятие	Знание и умение использовать основные объекты векторного и тензорного анализа, умение находить собственные оси тензоров, вычислять дифференциальные операторы и применять интегральные теоремы к векторным и тензорным полям, владение навыками работы с криволинейными системами координат

Спецификация мероприятий текущего контроля

Операции с векторами

Продолжительность проведения мероприятия промежуточной аттестации: **1 часа**

Условия проведения мероприятия: **в часы аудиторной работы**

Максимальный балл, выставляемый за мероприятие промежуточной аттестации: **0**

Проходной балл: **0**

Показатели оценивания	Баллы
Вычисление определителя 3×3	3
Сложение векторов, скалярное и векторное произведение	3
Решение систем алгебраических уравнений	2
Дифференцирование, интегрирование	2

Операции с тензорами

Продолжительность проведения мероприятия промежуточной аттестации: **1 часа**

Условия проведения мероприятия: **в часы аудиторной работы**

Максимальный балл, выставляемый за мероприятие промежуточной аттестации: **18**

Проходной балл: **9**

Показатели оценивания	Баллы
-----------------------	-------

Нахождение собственных чисел и собственных векторов.	6
Преобразование выражений, содержащих дельта-символы.	5
Запись выражений в индексной форме.	4
Разложение тензора на неприводимые.	3

Криволинейные системы координат

Продолжительность проведения мероприятия промежуточной аттестации: **1 часа**

Условия проведения мероприятия: **в часы аудиторной работы**

Максимальный балл, выставляемый за мероприятие промежуточной аттестации: **18**

Проходной балл: **9**

Показатели оценивания	Баллы
Умение вычислять градиент, дивергенцию, ротор, работать с дифференциальными операторами второго и более высоких порядков	6
Знание и умение применять теорему Стокса для преобразования математических выражений.	5
Знание и умение применять теорему Гаусса для преобразования математических выражений.	4
Знание криволинейных систем координат, владение основными навыками построения дифференциальных операторов в криволинейных координатах	3

Интегральные теоремы в обобщенной форме

Продолжительность проведения мероприятия промежуточной аттестации: **1 часа**

Условия проведения мероприятия: **в часы аудиторной работы**

Максимальный балл, выставляемый за мероприятие промежуточной аттестации: **40**

Проходной балл: **20**

Показатели оценивания	Баллы
Знание основных понятий тензорной алгебры. Владение навыками преобразования матричных выражений.	10
Умение находить собственные значения и собственные векторы в невырожденном и вырожденном случае.	10
Умение вычислять градиент, дивергенцию, ротор	7
Умение применять теорему Гаусса и теорему Стокса в обобщенном тензорном виде.	7
Умение находить лапласианы, работать с операторами второго и более высоких порядков	6

Интегральные теоремы в обобщенной форме

Продолжительность проведения мероприятия промежуточной аттестации: **1 часа**

Условия проведения мероприятия: **в часы аудиторной работы**

Максимальный балл, выставляемый за мероприятие промежуточной аттестации: **24**

Проходной балл: **12**

Показатели оценивания	Баллы
Приведение тензора к собственным осям	5

Вычисление градиента, дивергенции, ротора и их комбинаций	5
Преобразование комбинаций символов Леви-Чивиты и векторных произведений	5
Применение теоремы Гаусса к вычислению интеграла	4
Преобразование интеграла по поверхности с применением теоремы Стокса	3
Вычисление коэффициентов Ламэ, построение дифференциальных операторов в криволинейных координатах	2