



МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РФ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«ДАГЕСТАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Физический факультет

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

Общая теория относительности

Кафедра теоретической и математической физики, физического факультета

Образовательная программа

03.04.02 Физика

Профиль подготовки

Теоретическая и математическая физика

Уровень высшего образования

Магистратура

Форма обучения

очная

Статус дисциплины: вариативная

Махачкала 2017

Рабочая программа дисциплины составлена в 2017 году в соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению подготовки 03.04.02 – «Физика» (уровень магистратура) от «28» августа 2015г. № 913.

Разработчик: Идаятов Эждер Инаятович, к.ф.-м.н., доцент, кафедра теоретической и математической физики.

Рабочая программа дисциплины одобрена:

на заседании кафедры теоретической и математической физики от «29» марта 2017г., протокол № 7.

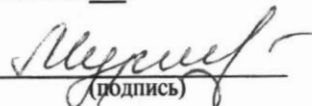
Зав. кафедрой


(подпись)

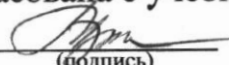
Мусаев Г.М.

на заседании Методической комиссии физического факультета от «30» марта 2017г., протокол № 8.

Председатель


(подпись)

Мурлиева Ж.Х.

Рабочая программа дисциплины согласована с учебно-методическим управлением «3» апреля 2017г. 
(подпись) Гасангаджиева А.Г.

СОДЕРЖАНИЕ

| | |
|--|----|
| Аннотация рабочей программы дисциплины | 4 |
| 1. Цели освоения дисциплины | 5 |
| 2. Место дисциплины в структуре ООП магистратуры | 5 |
| 3. Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины (перечень планируемых результатов обучения)..... | 5 |
| 4. Объем, структура и содержание дисциплины..... | 7 |
| 4.1. Объем дисциплины | 7 |
| 4.2. Структура дисциплины | 7 |
| 4.3. Содержание дисциплины, структурированное по темам (разделам)..... | 8 |
| 5. Образовательные технологии | 9 |
| 6. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студентов..... | 10 |
| 7. Фонд оценочных средств для проведения текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины..... | 11 |
| 7.1. Перечень компетенций с указанием этапов их формирования в процессе освоения образовательной программы..... | 11 |
| 7.2. Описание показателей и критериев оценивания компетенций, описание шкал оценивания. | 13 |
| 7.3. Типовые контрольные задания | 15 |
| 7.4. Методические материалы, определяющие процедуру оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций..... | 20 |
| 8. Перечень основной и дополнительной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины. | 21 |
| 9. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины. | 21 |
| 10. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины..... | 22 |
| 11. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине, включая перечень программного обеспечения и информационных справочных систем. | 23 |
| 12. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине. | 23 |

Аннотация рабочей программы дисциплины

Дисциплина «Общая теория относительности» входит в вариативную часть образовательной программы магистратуры по направлению 03.04.02 – «Физика» (профиль – Теоретическая и математическая физика).

Дисциплина реализуется на физическом факультете кафедрой теоретической и математической физики.

Содержание дисциплины охватывает круг вопросов, связанных с ознакомлением с одной из основополагающих мировоззренческих теорий, а именно теории гравитационного поля по Эйнштейну.

Дисциплина нацелена на формирование следующих компетенций выпускника:

- общекультурных – ОК-1,
- общепрофессиональных – ОПК-5,
- профессиональных – ПК-2.

Преподавание дисциплины предусматривает проведение следующих видов учебных занятий: лекции, практические занятия и самостоятельную работу.

Рабочая программа дисциплины предусматривает проведение следующих видов контроля успеваемости в форме текущий контроль в форме опросов, контрольной работы и промежуточный контроль в форме зачета.

Объем дисциплины 2 зачетные единицы, в том числе в академических часах по видам учебных занятий

| Семестр | Учебные занятия | | | | | | СРС, в том числе экзамен | Форма промежуточной аттестации (зачет, дифференцирован ный зачет, экзамен |
|---------|--|----------------------|----------------------|-----|--------------|---|-----------------------------------|--|
| | в том числе | | | | | | | |
| | Контактная работа обучающихся с преподавателем | | | | | | | |
| | Всего | из них | | | | | | |
| Лекции | | Лабораторные занятия | Практические занятия | КСР | консультации | | | |
| 9 | 72 | 8 | - | 10 | - | - | 54 | зачет |

1. Цели освоения дисциплины

Целями освоения дисциплины «Общая теория относительности» являются ознакомление с одной из основополагающих мировоззренческих теорий, а именно теории гравитационного поля по Эйнштейну.

Задачами освоения данной дисциплины являются ознакомление с уравнениями тяготения по Эйнштейну, с формулами связывающими распределение масс в пространстве и тензором кривизны пространства, а также со следствиями вытекающими из ОТО, касающимися моделей Вселенной и расширения Вселенной.

2. Место дисциплины в структуре ООП магистратуры

Дисциплина входит в вариативную часть образовательной программы магистратуры по направлению 03.04.02 – «Физика» (профиль – Теоретическая и математическая физика). Для освоения дисциплины необходимы знания дисциплин: математический анализ, аналитическая геометрия, дифференциальные уравнения, дифференциальная геометрия и топология, электродинамика и квантовая теория. Освоение дисциплины позволит в дальнейшем изучать курсы естественнонаучного цикла, спецкурсы по выбору магистра.

3. Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины (перечень планируемых результатов обучения).

| Компетенции | Формулировка компетенции из ФГОС ВО | Планируемые результаты обучения (показатели достижения заданного уровня освоения компетенций) |
|-------------|--|--|
| ОК-1 | способность к абстрактному мышлению, анализу, синтезу. | Знать: <ul style="list-style-type: none">• основные методы абстрактного мышления;• становление общей теории относительности;• ученых, внесших вклад в развитие ОТО;• какие теории служили основой синтеза, возникновения ОТО. Уметь: <ul style="list-style-type: none">• абстрагироваться от явлений и фактов, влияющих несущественно на изучаемое явление;• анализировать, что послужило причиной для создания той или иной |

| | | |
|-------|--|---|
| | | <p>теории.</p> <p>Владеть:</p> <ul style="list-style-type: none"> • принципами анализа и синтеза существующих дисциплин; • возможностями моделирования различных явлений; • методами обеспечения качества используемых уравнений для описания физических явлений. |
| ОПК-5 | <p>способность использовать свободное владение профессионально-профиллированными знаниями в области компьютерных технологий для решения задач профессиональной деятельности, в том числе находящихся за пределами направленности (профиля) подготовки.</p> | <p>Знать:</p> <ul style="list-style-type: none"> • основные законы и свойства информации и информационных технологий; • основные параметры обработки и представления информации для решения задач как ОТО, так и других задач, лежащих за пределами ОТО. <p>Уметь:</p> <ul style="list-style-type: none"> • найти те методы компьютерных технологий, которые необходимы для решения тех или иных задач ОТО; • определять корректность тех методов компьютерных программ необходимых для точного решения профессиональных задач. <p>Владеть:</p> <ul style="list-style-type: none"> • методами обработки и решения задач ОТО; • методами анализа экспериментальных и наблюдательных данных в ОТО; • инструментами тестирования и отладки данных. |
| ПК-2 | <p>способность владеть разделами физики, необходимыми для решения научно-инновационных задач, и применять результаты научных исследований в инновационной деятельности.</p> | <p>Знать:</p> <ul style="list-style-type: none"> • содержание тех разделов физики, которые необходимы для решения тех или иных задач; • основные уравнения, лежащие в основе тех или иных дисциплин; • области науки и техники, в которых знание основных законов физики необходимо. <p>Уметь:</p> <ul style="list-style-type: none"> • применять полученные знания для решения научно-инновационных задач; • понять где полученные знания могут пригодиться; |

| | | |
|--|--|---|
| | | <ul style="list-style-type: none"> использовать уравнения, следствия уравнений ОТО в понимании нашей Вселенной, хода ее развития. <p>Владеть:</p> <ul style="list-style-type: none"> свободно уравнениями ОТО, содержанием этих уравнений; пониманием сущности следствий ОТО для науки и для будущего. |
|--|--|---|

4. Объем, структура и содержание дисциплины.

4.1. Объем дисциплины составляет 2 зачетные единицы, 72 академических часа.

4.2. Структура дисциплины.

| № п/п | Раздел дисциплины | Семестр | Виды учебной работы, включая самостоятельную работу студентов и трудоемкость (в часах) | | | | Формы текущего контроля успеваемости (по неделям семестра) / Форма промежуточной аттестации (по семестрам) |
|--|--|---------|--|--------|------------------|-------------------|--|
| | | | Трудоемкость | Лекции | Практич. занятия | Самостоят. работа | |
| Модуль 1. Введение в ОТО. Математический аппарат ОТО. | | | | | | | |
| 1. | Принцип эквивалентности. Локальные базисные векторы. Математический аппарат. | 9 | 6 | 1 | 1 | 4 | опрос |
| 2. | Четырехмерные векторы и тензоры. | | 5 | 1 | 1 | 3 | опрос |
| 3. | Метрический тензор. | | 5 | 1 | 1 | 3 | опрос |
| 4. | Расстояние и промежутки времени в ОТО. | | 3 | | 1 | 2 | опрос |
| 5. | Ковариантное дифференцирование | | 7 | 1 | 1 | 5 | опрос |
| 6. | Параллельный перенос векторов. | | 5 | 1 | | 4 | опрос |
| 7. | Локально-геодезическая | | 2 | | | 2 | опрос |

| | | | | | | | |
|---|---|---|-----------|----------|-----------|-----------|--------------------|
| | система координат. | | | | | | |
| 8. | Измерение объемов в римановом пространстве. | | 3 | | | 3 | опрос |
| Итого по модулю 1 | | | 36 | 5 | 5 | 26 | контрольная работа |
| Модуль 2. Кривизна пространства. Уравнения гравитационного поля. | | | | | | | |
| 1. | Тензор кривизны. | 9 | 6 | 1 | 1 | 4 | опрос |
| 2. | Внешняя и внутренняя кривизна. | | 4 | | 1 | 3 | опрос |
| 3. | Риманова кривизна. | | 2 | | | 2 | опрос |
| 4. | Тензор энергии и импульса в ОТО. | | 3 | | | 3 | опрос |
| 5. | Уравнения гравитационного поля. | | 5 | 1 | 1 | 3 | опрос |
| 6. | Космологический член. Принцип Маха. | | 2 | | | 2 | опрос |
| 7. | Открытая модель Вселенной. | | 5 | 1 | 1 | 3 | опрос |
| 8. | Закрытая модель Вселенной. | | 2 | | | 2 | опрос |
| 9. | Гравитационный коллапс. Черные дыры. | | 2 | | | 2 | опрос |
| 10. | Следствия ОТО. | | 3 | | 1 | 2 | опрос |
| 11. | Теория Большого взрыва. | | 2 | | | 2 | опрос |
| Итого по модулю 2 | | | 36 | 3 | 5 | 28 | зачет |
| ИТОГО | | | 72 | 8 | 10 | 54 | |

4.3. Содержание дисциплины, структурированное по темам (разделам).

Модуль 1. Введение в ОТО. Математический аппарат ОТО.

Введение в ОТО. Математический аппарат ОТО. Принцип эквивалентности. Локальные базисные векторы. Математический аппарат. Четырехмерные векторы и тензоры. Расстояние и промежутки времени в ОТО. Ковариантное дифференцирование. Параллельный перенос векторов. Локально-геодезическая система координат. Измерение объемов в римановом пространстве.

Модуль 2. Кривизна пространства. Уравнения гравитационного поля.

Тензор кривизны. Внешняя и внутренняя кривизна. Тензор энергии и импульса в ОТО. Уравнения гравитационного поля. Космологический член. Принцип Маха. Открытая модель Вселенной. Закрытая модель Вселенной. Гравитационный коллапс. Черные дыры. Следствия ОТО. Теория Большого взрыва.

Наименование тем практических занятий.

| Содержание темы | Объем в часах |
|---|---------------|
| Модуль 1. Введение в ОТО. Математический аппарат ОТО. | |
| Математический аппарат ОТО. Ковариантное дифференцирование. | 2 |
| Расстояния и промежутки времени в ОТО. Параллельный перенос векторов. | 2 |
| Измерение объемов в римановом пространстве. | 1 |
| Модуль 2. Кривизна пространства. Уравнения гравитационного поля. | |
| Кривизна линии, поверхности. Кривизна пространств. Тензор кривизны. | 2 |
| Тензор энергии и импульса в ОТО. Уравнения гравитационного поля. | 2 |
| Следствия ОТО. | 1 |

5. Образовательные технологии

В течение семестра студенты посещают лекции, решают задачи, указанные преподавателем, к каждому семинару. В семестре проводятся контрольные работы (на семинарах). Зачет выставляется после решения всех задач контрольных работ, выполнения домашних и самостоятельных работ.

При проведении занятий используются компьютерные классы, оснащенные современной компьютерной техникой. При изложении теоретического материала используется лекционный зал, оснащенный мультимедиа проекционным оборудованием и интерактивной доской.

Обучающие и контролируемые модули внедрены в учебный процесс и размещены на Образовательном сервере Даггосуниверситета (<http://edu.icc.dgu.ru>), к которым студенты имеют свободный доступ.

В рамках учебного процесса предусмотрено приглашение для чтения лекций ведущих ученых из центральных вузов и академических институтов России.

6. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студентов.

Самостоятельная работа студентов:

- проработка учебного материала (по конспектам лекций учебной и научной литературе) и подготовка докладов на семинарах и практических занятиях;
- поиск и обзор научных публикаций и электронных источников по тематике дисциплины;
- выполнение курсовых работ (проектов);
- написание рефератов;
- работа с тестами и вопросами для самопроверки.

| Разделы и темы для самостоятельного изучения | Виды и содержание самостоятельной работы |
|--|--|
| Основы ОТО. Математический аппарат ОТО. | Локальные базисные векторы. |
| Четырехмерные векторы и тензоры. | Определение векторов и тензоров. Контра- и ковариантные компоненты различных термодинамических процессов. Принципы адиабатической и изотермической недостижимости. |
| Метрический тензор. | Сигнатурные условия. След тензора. |
| Расстояния и промежутки в ОТО. | Метрический тензор трехмерного пространства. |
| Ковариантное дифференцирование. | Абсолютный дифференциал. Символы Кристоффеля. |
| Параллельный перенос векторов. | Изменение компонент векторов при параллельном переносе. |
| Измерение объемов в римановом пространстве. | Якобиан преобразования. Связь метрического тензора с локальными |
| Тензор кривизны. | Кривизна по Гауссу. Внешняя и внутренняя кривизна. |
| Тензор энергии импульса в ОТО. | Свойства тензора энергии импульса. Тензор энергии в пустом пространстве. |
| Уравнение гравитационного поля. | Космологический член в уравнениях Эйнштейна однозначность уравнений. |

| | |
|-------------------------|---|
| Модели Вселенной. | СОЕ - модель. Модели закрытая и открытая. |
| Черные дыры. | Свойства черных дыр. Изучение гравитационных волн. |
| Следствия ОТО. | Смещение перигелия Меркурия. Отклонение световых лучей в поле тяготения Солнца. |
| Теория Большого взрыва. | Размеры Вселенной в начале взрыва и сейчас. Сценарии расширения Вселенной. |

Результаты самостоятельной работы учитываются при аттестации магистранта (зачет). При этом проводятся: тестирование, опрос на практических занятиях, заслушиваются доклады, проверка контрольных работ и т.д.

Студентам представляется раздаточный материал: тезисы лекций, перечень обязательных задач, темы курсовых работ, методическое пособие и литература по выполнению лабораторных работ.

7. Фонд оценочных средств для проведения текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины.

7.1. Перечень компетенций с указанием этапов их формирования в процессе освоения образовательной программы.

Перечень компетенций с указанием этапов их формирования приведен в описании образовательной программы.

| Компетенция | Знания, умения, навыки | Процедура освоения |
|--------------------|---|---|
| ОК-1 | <p>Знать:</p> <ul style="list-style-type: none"> • основные методы абстрактного мышления; • становление общей теории относительности; • ученых, внесших вклад в развитие ОТО; • какие теории служили основой синтеза, возникновения ОТО. <p>Уметь:</p> <ul style="list-style-type: none"> • абстрагироваться от явлений и фактов, влияющих несущественно на изучаемое явление; • анализировать, что послужило причиной для создания той или иной теории. <p>Владеть:</p> <ul style="list-style-type: none"> • принципами анализа и синтеза существующих дисциплин; | <p>Устный опрос, письменный опрос</p> |

| | | |
|-------|--|--------------------------------|
| | <ul style="list-style-type: none"> • возможностями моделирования различных явлений; • методами обеспечения качества используемых уравнений для описания физических явлений. | |
| ОПК-5 | <p>Знать:</p> <ul style="list-style-type: none"> • основные законы и свойства информации и информационных технологий; • основные параметры обработки и представления информации для решения задач как ОТО, так и других задач, лежащих за пределами ОТО. <p>Уметь:</p> <ul style="list-style-type: none"> • найти те методы компьютерных технологий, которые необходимы для решения тех или иных задач ОТО; • определять корректность тех методов компьютерных программ необходимых для точного решения профессиональных задач. <p>Владеть:</p> <ul style="list-style-type: none"> • методами обработки и решения задач ОТО; • методами анализа экспериментальных и наблюдательных данных в ОТО; • инструментами тестирования и отладки данных. | Устный опрос, круглый стол |
| ПК-2 | <p>Знать:</p> <ul style="list-style-type: none"> • содержание тех разделов физики, которые необходимы для решения тех или иных задач; • основные уравнения, лежащие в основе тех или иных дисциплин; • области науки и техники, в которых знание основных законов физики необходимо. <p>Уметь:</p> <ul style="list-style-type: none"> • применять полученные знания для решения научно-инновационных задач; • понять где полученные знания могут пригодиться; • использовать уравнения, следствия уравнений ОТО в понимании нашей Вселенной, хода ее развития. <p>Владеть:</p> <ul style="list-style-type: none"> • свободно уравнениями ОТО, содержанием этих уравнений; • пониманием сущности следствий ОТО для науки и для будущего. | Устный опрос, мини-конференция |

7.2. Описание показателей и критериев оценивания компетенций, описание шкал оценивания.

ОК-1

Схема оценки уровня формирования компетенции «способность к абстрактному мышлению, анализу, синтезу».

| Уровень | Показатели (что обучающийся должен продемонстрировать) | Оценочная шкала | | |
|-------------|--|--|---|---|
| | | Удовлетворительно | Хорошо | Отлично |
| Пороговый | Представление о методах абстрактного мышления, о теориях служивших для развития ОТО. | Ознакомлен с понятиями, методами мышления и теориями, служившими для развития ОТО. | Знает сущность теорий необходимых для понимания ОТО. | Может продемонстрировать необходимость тех или иных теорий для понимания ОТО, умеет их применять. |
| Базовый | Умеет сопоставить, сравнивать степень важности изучаемых теорий для ОТО. | Может участвовать в обсуждении причин явлений фактов. | Демонстрирует границы применимости различных теорий, уравнений. | Умеет ставить вопросы по теме, корректно и четко отвечать на них. |
| Продвинутый | Способен к углубленному анализу, критическому оцениванию постановки задач. | Способен понимать примеры практического применения формул ОТО. | Может на примерах и контр-примерах демонстрировать свои знания. | Способен понимать и обсуждать решаемые инновационные задачи. |

ОПК-5

Схема оценки уровня формирования компетенции «способность использовать свободное владение профессионально-профиллированными знаниями в области компьютерных технологий для решения задач профессиональной деятельности, в том числе находящихся за пределами направленности (профиля) подготовки».

| Уровень | Показатели (что обучающийся должен продемонстрировать) | Оценочная шкала | | |
|-------------|---|--|--|--|
| | | Удовлетворительно | Хорошо | Отлично |
| Пороговый | Имеет представление о разделах физики, необходимых для решения различных инновационных задач. | Знает основные разделы физики. | Умеет применять уравнения основных разделов физики для решения конкретных задач в ОТО. | Способен корректно поставить граничные условия к решаемым задачам. |
| Базовый | Способен разобраться в уравнениях различных разделов физики и решать их. | Понимает существо решаемых задач и умеет анализировать полученные решения. | Демонстрирует навыки решения и анализа задач ОТО с достаточно сложными граничными условиями. | Показывает умение составить различные задачи сам и решать их. |
| Продвинутый | Способен применять результаты научных исследований в инновационной области. | Умеет пользоваться имеющимися материалами, литературой, статьями в русской и иностранной печати. | Может самостоятельно ставить вопросы и отвечать на них со знанием дела. | Умеет по новому излагать содержание, анализ решения инновационных задач. |

ПК-2

Схема оценки уровня формирования компетенции «способность владеть разделами физики, необходимыми для решения научно-инновационных задач, и применять результаты научных исследований в инновационной деятельности».

| Уровень | Показатели (что обучающийся должен продемонстрировать) | Оценочная шкала | | |
|-------------|--|---|--|---|
| | | Удовлетворительно | Хорошо | Отлично |
| Пороговый | Имеет представление о методах, применяемых в области компьютерных технологий. | Ознакомлен с возможностями использования компьютерных технологий. | Способен профессионально обращаться с компьютерами и использовать их в работе. | Умеет хорошо совместить знание компьютерных технологий и задач ОТО для решения различных новых задач. |
| Базовый | Понимает требования и нормы предъявляемые к современному оборудованию и приборам. | Может обсуждать примеры решения задач космологии с помощью компьютеров. | Может диагностировать отклонения от норм предъявляемых к решению задач ОТО на компьютерах. | Способен корректно поставить задачи, совместимые для решения на ЭВМ. |
| Продвинутый | Может улучшить методы применения профессионально-профилированных знаний к решению инновационных задач. | Способен написать уравнения тяготения для различных ситуаций. | Умеет решать уравнения Эйнштейна для случая пустого пространства самостоятельно. | Может найти решение уравнений тяготения для сферически симметричного гравитационного поля. |

Если хотя бы одна из компетенций не сформирована, то положительная оценки по дисциплине быть не может.

7.3. Типовые контрольные задания

7.1.1. Перечень примерных контрольных вопросов и заданий для самостоятельной работы.

1. Элементы СТО и ОТО в курсе физики средней школы.
2. Куб теорий.
3. Принцип эквивалентности. Две формулировки.
4. Движение точки в различных системах отсчета.
5. Переносные и кориолисовы силы инерции.
6. Сходство и различие сил инерции и гравитационных сил.
7. Математический аппарат ОТО. Локальные базисные векторы.
8. Псевдоортонормированные базисы.

9. Четырехмерные векторы и тензоры. Контра- и ковариантные компоненты векторов.
10. Метрический тензор. Сигнатурные условия.
11. Расстояния и промежутки в ОТО. Трехмерный метрический тензор.
12. Ковариантное дифференцирование. Абсолютный дифференциал.
13. Символы Кристоффеля.
14. Параллельный перенос векторов. Изменение ковариантных и контравариантных компонент векторов при параллельном переносе.
15. Измерение объемов в римановом пространстве.
16. Тензор кривизны. Число независимых компонент тензора.
17. Тензор энергии – импульса в ОТО. Закон сохранения энергии.
18. Уравнения гравитационного поля. Тензор Ригги.
19. Закрытая модель Вселенной.
20. Открытая модель Вселенной.
21. Расширение Вселенной по Фридману.
22. Смещение перигелиев орбит планет.
23. Отклонение световых лучей в поле тяготения Солнца.
24. Гравитационное красное смещение спектральных линий.
25. Гравитационный коллапс. Черные дыры.
26. Теория Большого взрыва. Сценарий расширения Вселенной.

7.1.2. Перечень вопросов к зачету.

1. Принцип эквивалентности.
2. Куб теории.
3. Локальные базисные векторы.
4. Метрический тензор.
5. Четырехмерные векторы и тензоры.
6. Силы гравитации и силы инерции.
7. Расстояние в ОТО.
8. Промежутки времени в ОТО.
9. Сигнатурные условия.
10. Абсолютный дифференциал.
11. Производные от локальных базисных векторов.
12. Символы Кристоффеля.
13. Параллельный перенос векторов.
14. Тензор кривизны. Связь его с метрическим тензором.
15. Уравнения Эйнштейна.
16. Космологический член в ОТО.
17. Принцип Маха.
18. Модели Вселенной.
19. СФЕ - модель.

20. Расширение Вселенной.
21. Модели Фридмана.
22. Гравитационный коллапс. Черные дыры.

7.1.3. Примерные контрольные тесты для текущего и итогового контроля подготовленности студентов по курсу.

1. Какое из нижеприведенных утверждений является правильной формулировкой принципа эквивалентности?
 - А. Инерциальная система отчета, движущаяся со скоростью \vec{V} , эквивалентна гравитационному полю.
 - Б. Инертная масса равна удвоенной гравитационной массе.
 - В. Неинерциальная система отчета, движущаяся с постоянным ускорением \vec{g} эквивалентна однородному гравитационному полю с ускорением \vec{g} .
 - Г. Система отчета, движущаяся с постоянной скоростью \vec{V} , эквивалентна гравитационному полю.
 - Д. Неинерциальная система отчета эквивалентна полю тяготения с ускорением $2g$.

2. В какой системе координат дифференциал интервала ds имеет вид:

$$ds^2 = c^2 dt^2 - dx^2 - dy^2 - dz^2$$
 - А. Во вращающейся.
 - Б. В галилеевой.
 - В. В ускоренной.
 - Г. В цилиндрической.
 - Д. В неинерциальной.

3. Какому условию удовлетворяет определитель g , составленный из компонент g_{ik} метрического тензора, в реальном пространстве-времени?

| | |
|---------------|------------|
| А. $g > 0$ | Б. $g = 0$ |
| В. $g \leq 0$ | Г. $g < 0$ |
| Д. $g \geq 0$ | |

4. Какое из равенств правильно выражает связь между компонентами метрического тензора $\gamma_{\alpha\beta}$ трехмерного пространства и компонентами метрического тензора g_{ik} четырехмерного пространства-времени?

| | |
|---|--|
| А. $\gamma_{\alpha\beta} = -g_{\alpha\beta} + \frac{g_{0\alpha}g_{0\beta}}{g_{00}}$ | Б. $\gamma_{\alpha\beta} = -g_{\alpha\beta} + g_{0\alpha}g_{0\beta}$ |
|---|--|

В. $\gamma_{\alpha\beta} = g_{\alpha\beta} + g^{0\alpha} g_{0\beta}$

Г. $\gamma_{\alpha\beta} = g_{\alpha\beta} + g_{0\alpha} g_{0\beta}$

Д. $\gamma_{\alpha\beta} = -g_{\alpha\beta} - g_{0\alpha} g_{0\beta}$

5. Параллельным переносом вектора называется перенос, при котором компоненты вектора:

- А. в галилеевых координатах меняются;
- Б. в галилеевых координатах меняются не все координаты;
- В. в неинерциальных координатах не меняются;
- Г. меняются во всех координатах;
- Д. в галилеевых координатах не меняются.

6. Если система координат является локально-геодезической, то в этой системе:

- А. все символы Кристоффеля не равны нулю только в одной точке;
- Б. равны нулю символы Кристоффеля Γ_{ik}^m , у которых нижние индексы одинаковы;
- В. равны нулю символы Кристоффеля не во всех точках;
- Г. все символы Кристоффеля равны нулю в любой наперед заданной точке;
- Д. равны нулю символы Кристоффеля Γ_{ik}^m , у которых нижние индексы неодинаковы.

7. Какая из формул правильно выражает связь между символами Кристоффеля Γ_{kl}^i второго рода и $\Gamma_{i,kl}$ первого рода?

А. $\Gamma_{kl}^i = g^{im} \Gamma_{m,kl}$

Б. $\Gamma_{kl}^i = g_{im} \Gamma_{m,kl}$

В. $\Gamma_{kl}^i = g^{il} \Gamma_{l,k}$

Г. $\Gamma_{kl}^i = g^{ki} \Gamma_{k,kl}$

Д. $\Gamma_{kl}^i = g_{kl} \Gamma_{i,kl}$

8. Какое из утверждений является правильным?

- А. частота света не меняется при приближении к создающим гравитационное поле телам;
- Б. частота света увеличивается при удалении от тел, создающих гравитационное поле;
- В. частота света возрастает при приближении телам, создающим гравитационное поле;
- Г. частота света уменьшается при приближении к телам, создающим гравитационное поле;

Д. частота света не зависит от удаления или приближения к телам, создающим гравитационное поле.

9. Укажите формулу, определяющую изменение компонент вектора при параллельном переносе вдоль бесконечно малого замкнутого контура:

А. $\Delta A_k = \oint \Gamma_{kl}^i A^l dx_i$

Б. $\Delta A_k = \oint \Gamma_{il}^k A^i dx^l$

В. $\Delta A_k = \oint \Gamma_{kl}^i A^l dx_i$

Г. $\Delta A_k = \oint \Gamma_{il}^k A^l dx_k$

Д. $\Delta A_k = \oint \Gamma_{kl}^i A_i dx^l$

10. Если четырехмерное пространство является плоским, то:

А. компоненты тензора кривизны больше нуля;

Б. все компоненты тензора кривизны равны нулю;

В. все компоненты тензора кривизны меньше нуля;

Г. равны нулю те компоненты тензора кривизны, у которых три индекса одинаковы;

Д. равны нулю символы Кристоффеля в одной отдельно взятой точке.

11. Уравнения гравитационного поля в пустом пространстве сводятся к виду $R_{ik} = 0$, где R_{ik} - тензор Риччи. Является ли такое пространство-время плоским?

А. является;

Б. не является;

В. является, если выполняется еще и условие $g > 0$;

Г. не является при условии, если $g = 0$;

Д. является, если еще и $g = 0$, g -определитель метрического тензора.

12. Сколькими величинами описывается гравитационное поле в ОТО?

А. тремя;

Б. пятью;

В. двумя;

Г. восемью;

Д. десятью.

13. Какой должна быть кривизна λ пространства в закрытой изотропной модели Вселенной Фридмана?

А. $\lambda < 0$

Б. $\lambda \leq 0$

В. $\lambda = 0$

Г. $\lambda > 0$

Д. $\lambda \geq 0$

Таблица ответов к тестам по общей теории относительности.

| | | | | | | | | | | | | | |
|---------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|----|
| Вопросы | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 |
| Ответы | в | б | г | а | д | г | а | в | д | б | в | д | г |

7.4. Методические материалы, определяющие процедуру оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций.

Общий результат выводится как интегральная оценка, складывающаяся из текущего контроля - 50% и промежуточного контроля - 50%.

Текущий контроль по дисциплине включает:

Лекции

- посещение занятий – 10 баллов,
- активное участие на лекциях – 15 баллов,
- устный опрос, тестирование, коллоквиум – 60 баллов,
- и др. (выполнение домашних работ, доклады, рефераты) – 15 баллов.

Практические занятия

- посещение занятий – 10 баллов,
- активное участие на практических занятиях – 15 баллов,
- выполнение домашних работ – 15 баллов,
- выполнение самостоятельных работ – 20 баллов,
- выполнение контрольных работ – 40 баллов.

Промежуточный контроль по дисциплине включает:

- устный опрос – 60 баллов,
- письменная контрольная работа – 30 баллов,
- тестирование – 10 баллов.

«51 и выше» баллов – зачет

Оценка «зачтено» выставляется студенту, который

- прочно усвоил предусмотренный программой материал;
- правильно, аргументировано ответил на все вопросы, с приведением примеров;
- показал глубокие систематизированные знания, владеет приемами рассуждения и сопоставляет материал из разных источников: теорию связывает с практикой, другими темами данного курса, других изучаемых предметов
- без ошибок выполнил практическое задание.

Дополнительным условием получения оценки «зачтено» могут стать хорошие успехи при выполнении самостоятельной и контрольной работы, систематическая активная работа на семинарских занятиях.

Оценка «не зачтено» Выставляется студенту, который не справился с 50% вопросов и заданий билета, в ответах на другие вопросы допустил

существенные ошибки. Не может ответить на дополнительные вопросы, предложенные преподавателем.

8. Перечень основной и дополнительной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины.

а) основная литература:

1. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Теория поля / под ред. Л.П. Питаевского / М.: Физматлит, 2014. – изд-е 8-е. – 508с. – ISBN: 978-5-9221-1568-1;
2. Зельманов А.Л., Агаков В.Г. Элементы общей теории относительности. М.: Наука, 1989. – 240с. – ISBN 5-02-014064-3;
3. Кокарев С.С. Введение в общую теорию относительности / М.: URSS, 2010. – 368с. – ISBN 978-5-8397-0701-6;
4. Вейль Г. Пространство. Время. Материя. Лекции по общей теории относительности. / Перевод с немецкого / М.:URSS, 2015. – 464с. – ISBN 978-5-9710-1375-4;
5. Рашевский П.К. Риманова геометрия и тензорный анализ. Евклидовы пространства и аффинные пространства. Тензорный анализ. Математические основы специальной теории относительности. / М.: URSS, 2014. – т.1.– изд-е 8 – 352с. – ISBN 978-5-396-00577-8;
6. Рашевский П.К. Риманова геометрия и тензорный анализ. Римановы пространства и пространства аффинной связности. Математические основы общей теории относительности. / М.: URSS, 2014. – т.2.– изд-е 8 – 336с. – ISBN 978-5-396-00578-5.

б) дополнительная литература:

1. Абрамов А.А. Введение в тензорный анализ и риманову геометрию. / М.: URSS, 2012. – изд.3 – 128с. – ISBN 978-5-397-02711-3;
2. Картан Э. Геометрия римановых пространств / пер. с фран. / М.: URSS, 2012. – изд.2 – 440с. – ISBN 978-5-4344-0085-5;
3. Синг Дж.Л. Общая теория относительности / перевод с английского / М.: Иностранная литература, 1963. – 432с.

9. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины.

1. Международная база данных Scopus <http://www.scopus.com/home.url>
2. Научные журналы и обзоры издательства Elsevier <http://www.sciencedirect.com/>

3. Ресурсы Российской электронной библиотеки www.elibrary.ru, включая научные обзоры журнала Успехи физических наук www.ufn.ru
4. Региональный ресурсный Центр образовательных ресурсов <http://rrc.dgu.ru/>
5. Электронные ресурсы Издательства «Лань» <http://e.lanbook.com/>
6. Электронная библиотека механико-математического факультета МГУ <http://lib.mexmat.ru/>
7. Научно-образовательный центр при МИАН <http://www.mi.ras.ru/>
8. Электронная библиотека механико-математического факультета МГУ <http://physweb.ru/db/section/e190500000>
<http://lib.mexmat.ru/>
9. Научно-образовательный центр при МИАН <http://www.mi.ras.ru/>
10. http://reslib.com/book/Sbornik_zadach_po_teorii_otnositeljnosti_i_gravitacii#1
11. http://reslib.com/book/Obshchaya_teoriya_otnositeljnosti_Hriplovich_I_V_#1

10. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины.

Перечень учебно-методических материалов, предоставляемых студентам во время занятий:

- рабочие тетради студентов;
- наглядные пособия;
- словарь терминов;
- тезисы лекций,
- раздаточный материал по тематике лекций.

Оптимальным путем освоения дисциплины является посещение всех лекций и семинаров, выполнение предлагаемых заданий в виде задач, тестов и устных вопросов.

На лекциях рекомендуется деятельность студента в форме активного слушания, т.е. предполагается возможность задавать вопросы на уточнение понимания темы и рекомендуется конспектирование лекции. На семинарских занятиях деятельность студента заключается в активном обсуждении задач, решенных другими студентами, решении задач самостоятельно, выполнении контрольных заданий. В случае, если студентом пропущено лекционное или семинарское занятие, он может освоить пропущенную тему самостоятельно с опорой на план занятия, рекомендуемую литературу и консультативные рекомендации преподавателя.

В целом рекомендуется регулярно посещать занятия и выполнять текущие задания, что обеспечит достаточный уровень готовности к сдаче зачета.

11. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине, включая перечень программного обеспечения и информационных справочных систем.

- Программное обеспечение для лекций: MS PowerPoint (MS PowerPoint Viewer), Adobe Acrobat Reader, средство просмотра изображений, табличный процессор.
- Программное обеспечение в компьютерный класс: MS PowerPoint (MS PowerPoint Viewer), Adobe Acrobat Reader, средство просмотра изображений, Интернет, E-mail.

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

Лекционные и практические занятия проводятся в аудиториях факультета.

Технические средства обучения, используемые в учебном процессе для освоения дисциплины:

1. компьютерное оборудование, которое используется в ходе изложения лекционного материала (ноутбук, мультимедиа проектор для презентаций, экран);
2. пакет плакатов и графиков, используемых в ходе текущей работы, а также для промежуточного и итогового контроля;
3. электронная библиотека курса и Интернет-ресурсы – для самостоятельной работы.