



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования  
**«Дальневосточный федеральный университет»**  
(ДВФУ)

**ШКОЛА ЕСТЕСТВЕННЫХ НАУК**

«СОГЛАСОВАНО»

Руководитель ОП

(подпись)

Голик С.С.

«УТВЕРЖДАЮ»



Заведующий кафедрой общей и экспериментальной физики

Короченцев В.В.

2019 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**

Теория гравитации

**Направление подготовки 03.03.02 Физика**

профиль «Экспериментальная физика»

**Форма подготовки очная**

курс 4 семестр 7

лекции 36 час.

практические занятия 18 час.

лабораторные работы не предусмотрены

в том числе с использованием МАО лек. 18 /пр. 10 /лаб. \_\_\_\_\_ час.

всего часов аудиторной нагрузки 54 час.

в том числе с использованием МАО 18 час.

самостоятельная работа 54 час.

в том числе на подготовку к экзамену 36 час.

курсовая работа / курсовой проект не предусмотрен

зачет не предусмотрен

экзамен 7 семестр

Рабочая программа составлена в соответствии с требованиями образовательного стандарта, самостоятельно установленного ДВФУ, утвержденного приказом ректора от \_\_.\_\_.\_\_\_\_ № \_\_\_\_

Рабочая программа обсуждена на заседании кафедры общей и экспериментальной физики, протокол № 8 от «27» 05 2019 г.

Заведующий кафедрой общей и экспериментальной физики В.В. Короченцев

Составитель (ли): д.ф.-м.н., профессор, Белоконь В.И.

**Владивосток**

**2019**

## Оборотная сторона титульного листа РПУД

### I. Рабочая программа пересмотрена на заседании кафедры:

Протокол от « \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_ г. № \_\_\_\_\_

Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_  
(подпись) (И.О. Фамилия)

### II. Рабочая программа пересмотрена на заседании кафедры:

Протокол от « \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_ г. № \_\_\_\_\_

Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_  
(подпись) (И.О. Фамилия)

## Аннотация

Дисциплина «Теория гравитации» разработана для студентов 4 курса направления подготовки 03.03.02 «Физика», профиля «Фундаментальная физика» в соответствии с требованиями ФГОС ВО и ОС ВО ДВФУ по данному направлению.

Дисциплина «Теория гравитации» относится к разделу Б1.В.ДВ.09.02 дисциплин по выбору вариативной части учебного плана.

Общая трудоемкость дисциплины составляет 4 зачетных единиц, 144 часа. Учебным планом предусмотрены лекционные занятия (36 час.) и практические занятия (18 час.), самостоятельная работа (54 + 36-контроль час.). Дисциплина реализуется в 7 семестре 4 курса и завершается зачетом.

Для успешного усвоения дисциплины «Теория гравитации» необходимы устойчивые теоретические знания и практические навыки по всем разделам обязательного минимума содержания среднего (полного) образования по физике. Изучение данной дисциплины базируется на следующих дисциплинах: «Математический анализ», «Линейные и нелинейные уравнения физики», «Электродинамика», «Теория поля». Для успешного изучения дисциплины «Теория гравитации» у обучающихся должны быть сформированы следующие предварительные компетенции:

1. 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 (ОПК-2).
2. способность использовать базовые теоретические знания фундаментальных разделов общей и теоретической физики для решения профессиональных задач (ОПК-3).

### Цель:

Основная цель курса состоит в изучении основных положений теории гравитации и ее приложений к решению задач астрофизики. Знакомство с теорией тяготения является необходимым элементом современного образования студента, специализирующегося в области теоретической и математической физики.

### Задачи:

Изучение римановой геометрии пространства-времени, описание физических полей в искривленном пространстве-времени. Формулировка уравнений гравитационного поля Эйнштейна, проблемы формулировки законов сохранения. Простейшие решения уравнений Эйнштейна, описание движения частиц в поле Шварцшильда, представление о черных дырах и основах современной космологии.

Планируемые результаты обучения по данной дисциплине (знания, умения, владения), соотнесенные с планируемыми результатами освоения

образовательной программы, характеризуют этапы формирования следующих компетенций (общекультурные/ общепрофессиональные/ профессиональные компетенции (элементы компетенций)):

Код и формулировка компетенции	Этапы формирования компетенции	
ПК-5 готовность применять на практике профессиональные знания теории и методов физических исследований	Знает	Математический аппарат общей теории относительности; Основные принципы теории гравитации; Основные уравнения теории;
	Умеет	Применять теорию к решению задач; Проводить численные расчеты соответствующих физических величин в общепринятых системах единиц;
	Владеет	Навыками самостоятельной работы с учебной и научной литературой; Точными и приближенными методами решения нелинейных уравнений теории тяготения; Методами тензорного исчисления;

Для формирования вышеуказанных компетенций в рамках дисциплины «Теория гравитации» применяются следующие методы интерактивного обучения:

Коллективное обсуждение методов решения задачи во время практических занятий;

Представление рефератов и их совместное обсуждение.

## I. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ ЧАСТИ КУРСА

## **Раздел I. Физические основы общей теории относительности (8 час.)**

### **Тема 1. Релятивистская инвариантность законов физики (2 час.)**

Закон всемирного тяготения и дальноедействие. Электродинамика как релятивистская теория. Возможные направления совершенствования теории тяготения. Необходимость формулировки теории в рамках четырехмерного пространства-времени.

### **Тема 2. Основная идея релятивистской теории гравитации (2 час.)**

Равенство инертной и гравитационной масс. Неинерциальные системы. Криволинейные координаты. Динамические и кинематические величины. Кривизна пространства – времени как результат гравитационного взаимодействия.

### **Тема 3. Основные сведения из римановой геометрии. Тензоры, метрика, связность, кривизна (4 час.)**

Расстояния и промежутки времени. Ковариантное дифференцирование, связь символов Кристоффеля с метрическим тензором. Тензор кривизны и его свойства.

## **Раздел II. Уравнения гравитационного поля (10 час.)**

### **Тема 1. Тензор энергии-импульса и его связь с тензором Риччи (2 час.)**

Общие свойства уравнений Эйнштейна. Предельный переход к уравнениям Ньютона.

### **Тема 2. Центральное-симметрическое гравитационное поле (8 час.)**

Решения Шварцшильда и Рейсснера-Нордстрема. Движение в центральное-симметрическом гравитационном поле. Синхронная система отсчета. Гравитационный коллапс. Уравнения поля в синхронной системе отсчета. Решение для пылевидной материи.

## **Раздел III. Релятивистская космология (8 час.)**

### **Тема 1. Изотропное пространство. (4 час.)**

Пространство постоянной кривизны. Открытая и закрытая изотропные модели. Красное смещение и закон Хаббла.

### **Тема 2. Горячая космологическая модель (4 час.)**

Физика ранних этапов расширения однородной вселенной. Современные представления, темная материя и темная энергия.

## **II. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ПРАКТИЧЕСКОЙ ЧАСТИ КУРСА Практические занятия (18 час.)**

**Занятие 1. Основные понятия (1 час.)**

1. Преобразование координат;
2. Инварианты в пространстве Минковского;
3. Тензоры в пространстве Минковского.

**Занятие 2. Геометрия пространства (2 час.)**

1. Локально Лоренцева метрика пространства-времени;
2. Ковариантное дифференцирование;
3. Геодезические линии.

**Занятие 3. Тензор кривизны (1 час.)**

1. Определение тензора кривизны;
2. Свойства тензора кривизны;
3. Тензор кривизны в пространстве разных измерений

**Занятие 4. Предельные переходы (1 час.)**

1. Линеаризованная теория тяготения;
2. Почти Ньютоновская метрика;
3. Предельный переход уравнений Эйнштейна к уравнениям Ньютона.

**Занятие 5. Электромагнитное поле (2 час.)**

1. Электродинамика в ОТО;
2. Тензор энергии – импульса электромагнитного поля;
3. Соотношения Райнича для тензора энергии-импульса электромагнитного поля.

**Занятие 6. Сферическая симметрия (1 час.)**

1. Сферически-симметричное поле;
2. Решение Шварцшильда;
3. Решение Рейсснера-Нордстрема.

**Занятие 7. Синхронная система отсчета (1 час.)**

1. Гравитационный коллапс;
2. Уравнения поля в синхронной системе отсчета;
3. Решение для пылевидной материи.

**Занятие 8. Центральное-симметричное поле (1 час.)**

1. Движение в центральное-симметричном гравитационном поле;
2. Частица в поле коллапсара;
3. Гравитационный коллапс пылевидной сферы.

**Занятие 9. Черные дыры (2 час.)**

1. Черная дыра Керра-Ньюмана;
2. Эргосфера;
3. Эффект Лензе-Тирринга.

**Занятие 10. Гравитационные волны (1 час.)**

1. Гравитационное излучение;
2. Слабые гравитационные волны;
3. Лоренцовская калибровка.

**Занятие 11. Ранняя стадия развития Вселенной (1 час.)**

1. Физика на ранней стадии развития Вселенной;
2. Элементарные частицы на ранней стадии;
3. Термодинамические соотношения.

#### **Занятие 12. Изотропное пространство (2 часа)**

1. Закрытая изотропная модель;
2. Открытая изотропная модель;
3. Критическая плотность.

#### **Занятие 13. Современные представления (2 час.)**

1. Радиационно-доминированная плазма;
2. Реликтовое излучение;
3. Понятие о темной материи и темной энергии.

**Лабораторные работы не предусмотрены**

### **III. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ ОБУЧАЮЩИХСЯ**

Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся по дисциплине «Теория гравитации» представлено в Приложении 1 и включает в себя:

План-график выполнения самостоятельной работы по дисциплине, в том числе примерные нормы времени на выполнение по каждому заданию;

Характеристика заданий для самостоятельной работы обучающихся и методические рекомендации по их выполнению;

Требования к представлению и оформлению результатов самостоятельной работы;

Критерии оценки выполнения самостоятельной работы.

#### **Приложение 1.**

#### **I. КОНТРОЛЬ ДОСТИЖЕНИЯ ЦЕЛЕЙ КУРСА**

№ п/п	Контролируемые разделы / темы дисциплины	Коды и этапы формирования компетенций		Оценочные средства	
				Текущий контроль	Промежуточная аттестация
1	Физические основы общей теории относительности	ПК-1	Знает	Устный опрос (УО)	Вопросы к зачету (1-5)
			Умеет	Выполнение практических заданий; Контрольная работа (ПР-2)	
			Владеет		
2	Уравнения гравитационного	ПК-1	Знает	Устный опрос (УО)	Вопросы к зачету (6-10)
			Умеет	Выполнение	

	поля.		Владеет	практических заданий; Контрольная работа (ПР-2)	
3	Релятивистская космология	ПК-1	Знает	Устный опрос (УО)	Вопросы к зачету (11-17)
			Умеет	Выполнение практических заданий; Контрольная работа (ПР-2)	
			Владеет		

Типовые контрольные задания, методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений и навыков и (или) опыта деятельности, а также критерии и показатели, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и характеризующие этапы формирования компетенций в процессе освоения образовательной программы, представлены в Приложении 2.

#### **IV. СПИСОК УЧЕБНОЙ ЛИТЕРАТУРЫ И ИНФОРМАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

##### **Основная литература**

*(электронные и печатные издания)*

1. Ландау Л.Д. Теоретическая физика: учебное пособие для физических специальностей университетов: [в 10 т.] т. 2. Теория поля / Л. Д. Ландау, Е. М. Лифшиц; под ред. Л. П. Питаевского. М.: Физматлит, 2012. – 533 с.  
НБ ДВФУ:  
<http://lib.dvfu.ru:8080/lib/item?id=chamo:674994&theme=FEFU>
2. Лукаш В.Н. Физическая космология / В.Н. Лукаш, Е.В. Михеева. М.: Физматлит, 2010. – 403 с.  
НБ ДВФУ:  
<http://lib.dvfu.ru:8080/lib/item?id=chamo:299594&theme=FEFU>
3. Бескин В.С. Гравитация и астрофизика / В.С. Бескин. М.: Физматлит, 2009. – 158 с.  
НБ ДВФУ:  
<http://lib.dvfu.ru:8080/lib/item?id=chamo:290161&theme=FEFU>

##### **Дополнительная литература**

*(печатные и электронные издания)*



1. Мизнер Ч. Гравитация : в 3 т. т. 1 / Ч. Мизнер, К. Торн, Дж. Уилер ; пер. с англ. М. М. Баско. М.: Мир, 1977. – 474 с.  
НБ ДВФУ:  
<http://lib.dvfu.ru:8080/lib/item?id=chamo:329126&theme=FEFU>
2. Зельдович Я.Б. Строение и эволюция Вселенной / Я. Б. Зельдович, И. Д. Новиков. М.: Наука, 1975. – 735 с.  
НБ ДВФУ:  
<http://lib.dvfu.ru:8080/lib/item?id=chamo:59991&theme=FEFU>
3. Фортов В.Е. Экстремальные состояния вещества / В.Е. Фортов. М.: Физматлит, 2009. – 303 с.  
НБ ДВФУ:  
<http://lib.dvfu.ru:8080/lib/item?id=chamo:288782&theme=FEFU>
1. Логунов А.А. Релятивистская теория гравитации / А. А. Логунов. М.: Наука, 2006. – 253 с.  
НБ ДВФУ:  
<http://lib.dvfu.ru:8080/lib/item?id=chamo:245827&theme=FEFU>

#### **Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет»**

1. Элементы [Электронный ресурс]: «Гравитация». Глава из книги. А. Петров. Книжный клуб на «Элементах». Опубликованные отрывки из книг. - Электрон. дан. – 2013. - Режим доступа: <http://elementy.ru/lib/432046>, свободный. – Загл. с экрана.;
2. Баллистическая теория Ритца [Электронный ресурс]: Иванов М.Г. "Антигравитационные двигатели "летающих тарелок": теория гравитации" (фрагменты из книги). – Электрон. дан. – 2007. – Режим доступа: <http://ritz-btr.narod.ru/ivanov.html>, свободный. – Загл. с экрана.

## **II. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ**

Эффективное изучение курса предполагает регулярное посещение занятий и систематическое повторение материала, излагаемого преподавателем на лекции.

Лекционные занятия ориентированы на освещение вводных тем в каждый раздел курса и призваны ориентировать студентов в предлагаемом материале, заложить научные и методологические основы для дальнейшей самостоятельной работы студентов.

Важной является самостоятельная работа по курсу. В ходе этой работы необходимо тщательно изучить теоретический материал и систематизировать основные формулы, которые могут быть использованы при решении практических задач.

Работа с указанной литературой должна осуществляться, прежде всего, в рамках лекционного курса. Подготовка к практическим занятиям должна проходить регулярно в течении семестра отведённого для занятий.

## **VI. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

При осуществлении образовательного процесса студентами и профессорско-преподавательским составом используется следующее программное обеспечение: Microsoft Office ( Excel, PowerPoint, Word и т. д), Open Office; следующие информационно справочные системы: ЭБС ДВФУ, библиотеки, ресурсы и порталы по естествознанию.

Также, при проведении практических занятий используются следующие оборудованные учебные кабинеты:

№ п/п	Наименование предмета, дисциплины (модуля) в соответствии с учебным планом	Наименование оборудованных учебных кабинетов, объектов для проведения практических занятий с перечнем основного оборудования
1	2	3
1	Теория гравитации	Мультимедийная аудитория: Корпус L, ауд. 534 Проектор 3-chip DLP, 10 600 ANSI-лм, WUXGA 1 920x1 200 (16:10) PT-DZ110XE Panasonic; экран 316x500 см, 16:10 с эл. приводом; крепление настенно-потолочное Elpro Large Electrol Projecta; профессиональная ЖК-панель 47", 500 Кд/м2, Full HD M4716CCBA LG; подсистема видеисточников документ-камера CP355AF Avertvision; подсистема видеокоммутации; подсистема аудиокоммутации и звукоусиления; подсистема интерактивного управления; беспроводные ЛВС обеспечены системой на базе точек доступа 802.11a/b/g/n 2x2 MIMO(2SS).



МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования  
«Дальневосточный федеральный университет»  
(ДВФУ)

---

**ШКОЛА ЕСТЕСТВЕННЫХ НАУК**

**УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ  
РАБОТЫ ОБУЧАЮЩИХСЯ**  
**По дисциплине «Теория гравитации»**  
**Направление подготовки 03.03.02 -Физика**  
**Профиль «Экспериментальная физика»**  
**Форма подготовки очная**

**Владивосток**  
**2019**

### План-график выполнения самостоятельной работы по дисциплине

№ п/п	Дата/сроки выполнения	Вид самостоятельной работы	Примерные нормы времени на выполнение	Форма контроля
1	1-2 неделя	Подготовка к выполнению практических занятий	7 часов	УО-1 (собеседование)
2	3-4 неделя	Подготовка к выполнению практических занятий	6 часов	УО-1 (собеседование)
3	5-6 неделя	Подготовка к контрольной работе	6 часов	УО-1 (собеседование)
4	7-8 неделя	Подготовка к выполнению практических занятий	6 часов	УО-1 (собеседование)
5	9-10 неделя	Подготовка к выполнению практических занятий	6 часов	УО-1 (собеседование)
6	11-12 неделя	Подготовка к контрольной работе	6 часов	УО-1 (собеседование)
7	13-14 неделя	Подготовка к выполнению практических занятий	6 часов	УО-1 (собеседование)
8	15-16 неделя	Подготовка к выполнению практических занятий	6 часов	УО-1 (собеседование)
9	17-18 неделя	Подготовка к контрольной работе	6 часов	ПР-4, реферат
10		Подготовка к экзамену	45 часов	Сдача экзамена

## **Рекомендации по самостоятельной работе студентов**

Самостоятельная работа по дисциплине «Теория гравитации» заключается в подготовке к практическим занятиям в соответствии с их программой. По каждому пункту самостоятельной работы должен быть представлен краткий конспект, в котором кратко изложено содержание вопросов, вынесенных на практическое занятие, и приведены основные соотношения, необходимые для решения задач. Материал, законспектированный на лекциях, необходимо регулярно прорабатывать и дополнять сведениями из других источников литературы. Для получения зачета необходимо предоставление всех конспектов.

Планирование времени, необходимого на изучение дисциплин, студентам лучше всего осуществлять весь семестр, предусматривая при этом регулярное повторение материала. Для удобства планирования времени после каждого пункта указано время, необходимое на выполнение задания.

### **Методические указания при подготовке к контрольной работе**

При изучении дисциплины сначала необходимо по каждой теме прочитать рекомендованную литературу и составить краткий конспект основных положений, терминов, сведений, требующих запоминания и являющихся основополагающими в этой теме для освоения последующих тем курса. Для расширения знания по дисциплине рекомендуется использовать Интернет-ресурсы.

При подготовке к контрольной работе необходимо прочитать соответствующие страницы основного учебника. Желательно также чтение дополнительной литературы. При написании контрольной работы ответ следует иллюстрировать схемами.



МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования  
**«Дальневосточный федеральный университет»**  
(ДВФУ)

---

**ШКОЛА ЕСТЕСТВЕННЫХ НАУК**

**ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ**  
**По дисциплине «Теория гравитации»**  
**Направление подготовки 03.03.02 Физика**  
**Профиль «Экспериментальная физика»**  
**Форма подготовки очная**

**Владивосток**  
**2019**

## Паспорт ФОС

Код и формулировка компетенции		Этапы формирования компетенции			
ПК-1 Способность использовать специализированные знания в области физики для освоения профильных физических дисциплин			Знает	Математический аппарат общей теории относительности; Основные принципы теории гравитации; Основные уравнения теории;	
			Умеет	Применять теорию к решению задач; Проводить численные расчеты соответствующих физических величин в общепринятых системах единиц;	
			Владеет	Навыками самостоятельной работы с учебной и научной литературой; Точными и приближенными методами решения нелинейных уравнений теории тяготения; Методами тензорного исчисления;	
№ п/п	Контролируемые разделы / темы дисциплины	Коды и этапы формирования компетенций	Оценочные средства		
				Текущий контроль	Промежуточная аттестация
1	Физические основы общей теории относительности	ПК-1	Знает	Устный опрос (УО)	Вопросы к зачету (1-5)
			Умеет	Выполнение практических заданий; Контрольная работа (ПР-2)	
			Владеет		
2	Уравнения гравитационного поля.	ПК-1	Знает	Устный опрос (УО)	Вопросы к зачету (6-10)
			Умеет	Выполнение практических заданий; Контрольная работа (ПР-2)	
			Владеет		
3	Релятивистская космология	ПК-1	Знает	Устный опрос (УО)	Вопросы к зачету (11-17)
			Умеет	Выполнение практических заданий;	
			Владеет		

				Контрольная работа (ПР-2)	
--	--	--	--	---------------------------	--

### Шкала оценивания уровня сформированности компетенций

Код и формулировка компетенции	Этапы формирования компетенции		Критерии	Показатели
ПК-1 Способность использовать специализированные знания в области физики для освоения профильных физических дисциплин	Знает (пороговый уровень)	Основные принципы теории гравитации; Основные уравнения теории	Знание структуры основных математических дифференциальных уравнений теории тяготения	Способность решать основные уравнения общей теории относительности
	Умеет (продвинутый)	Применять теорию к решению задач; Проводить численные расчеты соответствующих физических величин в общепринятых системах единиц	Умение применять численные методы для решения задач теории гравитации	Способность определять конкретный численный метод для решения поставленных задач по курсу
	Владеет (высокий)	Навыками самостоятельной работы с учебной и научной литературой	Самостоятельное чтение учебной и научной литературы по теме курса	Способность написания реферата по любому разделу курса по теории гравитации

### Методические рекомендации, определяющие процедуры оценивания результатов освоения дисциплины

Контрольные и методические материалы, а также критерии и показатели необходимые для оценки знаний, умений, навыков и характеризующие этапы формирования компетенций в процессе освоения образовательной программы представлены ниже.

Контрольно-измерительные материалы по дисциплине представлены вопросами для подготовки к зачету и контрольным работам и примерными вариантами контрольных работ, предусмотренных РПУД в качестве



механизма осуществления текущего контроля освоения теоретической и практической составляющих дисциплины.

Экзамены принимаются ведущим преподавателем. Во время проведения экзамена студенты могут пользоваться рабочей программой учебной дисциплины, собственными конспектами, подготовленными при выполнении самостоятельной работы, а также, с разрешения преподавателя, проводящего зачет, справочной литературой и другими пособиями (учебниками, учебными пособиями, рекомендованной литературой и т.п.).

Студент, не согласный с выставленной оценкой, имеет право в течение следующего рабочего дня подать заявление, согласованное с руководителем ООП, на имя директора Школы (филиала) с просьбой о передаче экзамена комиссии. В случае обоснованности поданного заявления директор Школы создает комиссию в составе не менее 3 профильных преподавателей по соответствующей кафедре. Оценка, полученная студентом во время передачи экзамена комиссии, является окончательной.

## **Оценочные средства для промежуточной аттестации**

### **Вопросы к экзамену**

1. Релятивистская инвариантность и необходимость новой теории тяготения.
2. Криволинейные координаты в четырехмерном пространстве-времени. Расстояния и промежутки времени.
3. Ковариантное дифференцирование. Символы Кристоффеля и уравнение геодезической.
4. Тензор кривизны и его свойства. Примеры.
5. Уравнения Эйнштейна. Тензор энергии-импульса материи и псевдотензор энергии-импульса гравитационного поля.
6. Уравнения электродинамики при наличии гравитационного поля. Соотношения Райнича.
7. Центральное-симметричное гравитационное поле. Решение Шварцшильда.
8. Движение частицы в поле сферической звезды. Три эффекта ОТО.
9. Гравитационный коллапс пылевидной сферы.
10. Слабые гравитационные волны. Излучение.
11. Изотропное пространство. Закрытая модель.
12. Открытая изотропная модель. Критическая плотность.
13. Особенности метрики в районе черной дыры.
14. Ранняя стадия развития Вселенной. Термодинамические соотношения.
15. Элементарные частицы на ранней стадии развития Вселенной.
16. Реликтовое излучение.
17. Понятие о темной материи и темной энергии.

## Оценочные средства для текущей аттестации

### Контрольная работа

#### Вариант 1.

1. Определить отличные от нуля компоненты тензора кривизны пространства постоянной кривизны двух и трех измерений.
2. Используя соотношения Райнича определить метрику вне тяжелой заряженной частицы.

#### Вариант 2.

1. Вывести уравнения движения материальной точки исходя из принципа наименьшего действия.
2. Показать, что в синхронной системе отсчета линии времени являются геодезическими.

#### Критерии оценки вопросов к контрольным работам

##### *Отметка "Отлично"*

1. Ответ сформирован полно, правильно обоснован ход суждения.
2. Материал изложен в определенной логической последовательности, литературным языком.

##### *Отметка "Хорошо"*

1. Ответ сформирован полно, правильно обоснован ход суждения.
4. Допущены 1-2 несущественные ошибки.

##### *Отметка "Удовлетворительно"*

1. Знание только основного материала, но не деталей.
2. Допущены ошибки и неточности в ответах.

##### *Отметка "Неудовлетворительно"*

1. Незнание или непонимание наиболее существенной части учебного материала.
2. Не дан ответ на значительную часть вопросов, имеются существенные ошибки.

#### Критерии оценки на экзамене по дисциплине «Теория гравитации»

Оценка «отлично» ставится, если ответ показывает прочные знания основных процессов изучаемой предметной области, отличается глубиной и полнотой раскрытия темы; владение терминологическим аппаратом; умение объяснять сущность, явлений, процессов, событий, делать выводы и обобщения, давать аргументированные ответы, приводить примеры; свободное владение монологической речью, логичность и

последовательность ответа; умение приводить примеры современных проблем изучаемой области.

Оценка **«хорошо»** ставится, если ответ обнаруживает прочные знания основных процессов изучаемой предметной области, отличается глубиной и полнотой раскрытия темы; владение терминологическим аппаратом; умение объяснять сущность, явлений, процессов, событий, делать выводы и обобщения, давать аргументированные ответы, приводить примеры; свободное владение монологической речью, логичность и последовательность ответа. Однако допускается одна - две неточности в ответе.

Оценка **«удовлетворительно»** ставится, если ответ свидетельствует в основном о знании процессов изучаемой предметной области, отличается недостаточной глубиной и полнотой раскрытия темы; знанием основных вопросов теории; слабо сформированными навыками анализа явлений, процессов, недостаточным умением давать аргументированные ответы и приводить примеры; недостаточно свободным владением монологической речью, логичностью и последовательностью ответа. Допускается несколько ошибок в содержании ответа; неумение привести пример развития ситуации, провести связь с другими аспектами изучаемой области.

Оценка **«неудовлетворительно»** ставится, если ответ обнаруживает незнание процессов изучаемой предметной области, отличающийся неглубоким раскрытием темы; незнанием основных вопросов теории, несформированными навыками анализа явлений, процессов; неумением давать аргументированные ответы, слабым владением монологической речью, отсутствием логичности и последовательности. Допускаются серьезные ошибки в содержании ответа; незнание современной проблематики изучаемой области.