



## **Рабочая программа дисциплины «Общая теория относительности»**

для подготовки научно-педагогических кадров в аспирантуре  
по направлению 01.06.01 «Математика и механика»

профили: 01.01.03 Математическая физика;

01.01.04 Геометрия и топология;

01.01.05 Теория вероятностей и математическая статистика;

01.01.06 Математическая логика, алгебра и теория чисел

Разработчик программы

Ахмедов Э.Т., д.физ.-мат.н.

Согласована Академическим советом Аспирантской школы по математике  
«09» октября 2015 г., протокол № 11

Москва - 2015

*Настоящая программа не может быть использована другими подразделениями университета и другими вузами без разрешения подразделения-разработчика программы.*

## **1. ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ И НОРМАТИВНЫЕ ССЫЛКИ**

Настоящая программа учебной дисциплины устанавливает минимальные требования к знаниям и умениям аспиранта по направлению «01.06.01 Математика и механика», профили 01.01.03 Математическая физика; 01.01.04 Геометрия и топология; 01.01.05 Теория вероятностей и математическая статистика; 01.01.06 Математическая логика, алгебра и теория чисел, и определяет содержание и виды учебных занятий и отчетности.

Программа предназначена для преподавателей, ведущих данную дисциплину и аспирантов.

Программа разработана в соответствии с:

- Образовательным стандартом НИУ ВШЭ подготовки научно-педагогических кадров по направлению «Математика и механика»;
- Образовательной программой «Математика и механика» подготовки аспиранта;
- Учебными планами подготовки аспирантов по направлению «01.06.01 Математика и механика», вышеуказанных профилей, утвержденными в 2015 г.

## **2. ЦЕЛЬ, РЕЗУЛЬТАТЫ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ И ПРЕРЕКВИЗИТЫ**

Целями освоения дисциплины «Общая теория относительности» являются:

- Формирование у слушателей ясного представления о базисных понятиях и основных методах Общей Теории Относительности;
- Знакомство с феноменами, отличающими Общую Теорию Относительности от Специальной Теории Относительности. То есть обсуждение, например, переходов в неинерциальные системы отсчета;
- Углублённое изучение некоторых конкретных тем и методов, в частности, коллапса черных дыр, прецессии перигелия, отклонения лучей света в центральном поле, диаграмм Пенроуза, гравитационных волн и пространства Фридмана-Робертсона-Уокера;

В результате освоения дисциплины студент должен:

- Получить общее представление о предмете «Общая Теория Относительности», изучить базисные понятия и основные методы;
- Изучить основные методы и принципы, используемые в Общей Теории Относительности;
- Ознакомиться с применением Общей Теории Относительности в изучении свойств черных дыр, гравитационных волн и пространства Фридмана-Робертсона-Уокера;
- Быть готовым использовать основные принципы и методы Общей Теории Относительности в последующей профессиональной деятельности в качестве научных сотрудников, преподавателей вузов.

Изучение данной дисциплины базируется на следующих дисциплинах:

- базовый курс теоретической механики (2 год бакалавриата);
- курс теории поля (1 год магистратуры);

Желательно, но не необходимо также знакомство с некоторыми основными понятиями и результатами из курсов:

- дифференциальной геометрии (3 год бакалавриата)
- римановой геометрии (3, 4 год бакалавриата);
- курс динамических систем (2 год бакалавриата);

Для освоения учебной дисциплины, студенты должны владеть следующими знаниями и компетенциями:

- решение дифференциальных уравнений стандартных типов
- вычисление интегралов
- дифференцирование и интегрирование функций одной и нескольких переменных
- решение стандартных задач теоретической механики и теории поля

Основные положения дисциплины должны быть использованы в дальнейшем при изучении следующих дисциплин:

- Теория струн;
- Дополнительные главы математической физики, в особенности, квантовая теория поля и зеркальная симметрия;

### **3. КОМПЕТЕНЦИИ ОБУЧАЮЩЕГОСЯ, ФОРМИРУЕМЫЕ В РЕЗУЛЬТАТЕ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ**

В результате освоения дисциплины аспирант осваивает компетенции:

Компетенция	Код по ОС ВШЭ	Дескрипторы – основные признаки освоения (показатели достижения результата)	Формы и методы обучения, способствующие формированию и развитию компетенции
Способность к критическому анализу и оценке современных научных достижений, генерированию	УК-1	Демонстрирует способность стратегически и креативно мыслить, творчески подходить к оценке и решению проблем.	Практические занятия, посвящённые критическому чтению специальных текстов.

новых идей при решении исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях			Самостоятельная работа с академическими текстами
Способность генерировать оригинальные теоретические конструкции, гипотезы и исследовательские вопросы	УК-2	Демонстрирует способность выбирать наиболее релевантные изучаемому предмету методы и стратегии исследований	Диспуты, дискуссии, подготовка докладов и выступлений
Способность осуществлять комплексные исследования, в том числе междисциплинарные, на основе целостного системного научного мировоззрения	УК-5	Анализирует, оценивает потенциал новых учебно-методических ресурсов, целесообразность их использования в процессе исследования	Диспуты, групповые дискуссии, участие в исследовательских и творческих проектах; самостоятельная работа
Способность к научно-исследовательской деятельности в области фундаментальной и/или прикладной математики, в частности, в областях математической логики, алгебры, теории чисел, алгебраической геометрии, дифференциальной геометрии, топологии, дифференциальных уравнений, динамических систем, теории вероятностей и математической статистики, математической физики	ПК-1	Демонстрирует способность стратегически и креативно мыслить, творчески подходить к оценке и решению проблем Анализирует мировые тенденции в математических кругах, демонстрирует их понимание и творчески использует в собственных исследованиях	Практическая работа в различных формах аудиторной и самостоятельной работы
Способность проводить теоретические и экспериментальные исследования в математике, математической физике, информатике, в том числе с использованием новейших информационно-коммуникационных технологий (ОПК-1)	ОПК-1	Демонстрирует способность эффективно и творчески работать в исследовательских группах, выбирать наиболее эффективные методы и технологии исследования	Практическая работа в различных формах аудиторной и самостоятельной работы
Способность к разработке новых методов исследования, их применению в самостоятельной научно-исследовательской деятельности в математике, математической физике, информатике с учетом правил соблюдения авторских прав	ОПК-2	Демонстрирует способность эффективно и творчески работать в исследовательских группах, выбирать наиболее эффективные методы и технологии исследования	Практическая работа в различных формах аудиторной и самостоятельной работы

#### **4. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ в структуре образовательной программы**

Настоящая дисциплина относится к дисциплинам по выбору, предлагаемым к изучению аспирантам на первом, втором и третьем году обучения.

#### **5. СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**

1. Переход в неинерциальную систему отсчета в плоском пространстве
2. Вывод уравнения геодезической. Тензор Римана.
3. Уравнения Эйнштейна из принципа наименьшего действия
4. Центральное симметричное решение уравнений Эйнштейна
5. Свойства центрально симметричного решения. Смещение перигелия меркурия. Отклонение лучей света. Геодезические.
6. Диаграмма Пенроуза для черной дыры.
7. Гравитационные волны. Излучение гравитационных волн.
8. Пространства Фридмана-Робертсона-Уокера.

#### **6. ОЦЕНИВАНИЕ**

Оценки по всем формам текущего контроля выставляются по 10-ти балльной шкале.

Основная форма текущего контроля – решение задач из домашних заданий (2-3 задачи по каждой теме). Задачи подбираются так, чтобы их решение потребовало от студента свободного владения основными понятиями и умения пользоваться техническими (вычислительными) приемами, которые изучаются в соответствующем разделе курса. Часть задач повышенной сложности носят исследовательский характер и предполагают самостоятельное изучение студентами материала, не излагавшегося на лекциях. Обсуждение подходов к решению этих задач происходит на семинарах и во время консультаций. Решение некоторых (но не обязательно всех) задач повышенной сложности является необходимым условием получения отличной оценки за домашнее задание (8-10 баллов).

Экзамен (зачет) включает в себя письменную подготовку, состоящую из одной-двух распространенных задач, решение которых требует от студента владения как понятийным, так и техническим аппаратом по изучавшимся в течение модуля темам, а также из одного теоретического вопроса. На письменную подготовку отводится 1 час во время зачета и 1,5 часа во время экзамена. Затем студент в очной беседе с преподавателем излагает результаты своей письменной работы и, при необходимости, отвечает на 1-2 дополнительных вопроса. Время, отводимое на беседу:  $\frac{1}{2}$  - 1 час во время зачета, и  $\frac{1}{2}$  -  $1\frac{1}{2}$  часа во время экзамена.

Порядок формирования оценок по дисциплине

Промежуточная оценка за первый модуль Промежуточная 1 и накопленная оценка за 2 модуль Онакопленная 2 рассчитываются аналогично:

Промежуточная 1 (Онакопленная 2) =  $0.5 * \text{Отекущий} + 0.5 * \text{Осам. работа}$  ,

где Отекущий и Осам. работа --- оценки текущего контроля и самостоятельной работы студентов в соответствующих модулях.

Здесь оценка текущего контроля Отекущий рассчитывается как взвешенная сумма трех форм текущего контроля, предусмотренных в РУП

Отекущий =  $0.3 * \text{Од/з} + 0.2 * \text{Ок/р} + 0.5 * \text{Окол/зачет}$  ,

Оценки за домашнее задание Од/з , контрольную работу Ок/р , и коллоквиум/зачет Окол/зачет выставляются по 10-балльной шкале. Способ округления накопленной оценки текущего контроля: в пользу студента.

Студент, получивший низкие оценки текущего контроля, имеет возможность их однократной пересдачи.

Самостоятельная работа студентов, а именно: изучение по поручению преподавателя дополнительных материалов, подготовка на их основе сообщений и выступление с ними на семинарах, а также разбор у доски задач повышенной сложности на семинарских занятиях --- оценивается по 10-балльной шкале оценкой Осам. работа. Оценки за самостоятельную работу студента преподаватель выставляет в рабочую ведомость. Накопленная оценка - Осам. работа окончательно определяется перед промежуточным (итоговым) контролем.

Накопленная итоговая оценка за весь период изучения дисциплины определяется как среднее арифметическое оценок за 1 и 2 модули:

Онакопленная итоговая =  $0.5 * (\text{Промежут 1} + \text{Онакопленная 2})$

Результирующая итоговая оценка за дисциплину учитывает также оценку за экзамен Оитог. контроль, выставляемую по 10-балльной шкале, и определяется по формуле

Результирующая итог =  $0,4 * \text{Онакопленная итоговая} + 0,6 * \text{Оитог. контроль}$

Способ округления накопленной и результирующей итоговых оценок: в пользу студента.

На экзамене(зачете) студент может получить дополнительный вопрос (дополнительную задачу), ответ на который оценивается в 1 балл.

Оценка за итоговый контроль - блокирующая, при неудовлетворительной итоговой оценке она равна результирующей.

## **7. ПРИМЕРЫ ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ**

Тематика заданий текущего контроля

Примерный список задач по теме “Общая Теории Относительности”.

1. Записать стационарную метрику во вращающейся системе отсчета.
2. Найти уравнение геодезической в неримановой метрике с числом индексов больше, чем два.
3. Вычислить смещение перигелия для движения планеты в центральном поле.
4. Посчитать интенсивность излучения гравитационных волн от двойной системы.

Вопросы для оценки качества освоения дисциплины

Примерный перечень вопросов к зачету.

1. Криволинейные координаты в плоском пространстве.
2. Вывод уравнения геодезической.
3. Вывод уравнений Эйнштейна из принципа наименьшего действия.
4. Центральное симметричное решение уравнений Эйнштейна.
5. Свойства центрально симметричного решения.
6. Гравитационные волны.
7. Диаграммы Пенроуза для различных пространств.

## 8. РЕСУРСЫ

### 1) Основная литература

Теоретическая физика: в 10 т. / Л. Д. Ландау, Е. М. Лифшиц; Под ред. Л. П. Питаевского. – М.: Физматлит, 2016. - ISBN 978-5-922115-08-7.

Т. 2 : Теория поля / Л. Д. Ландау, Е. М. Лифшиц. – Изд. 9-е, стер. – 2018. – 504 с. - ISBN 978-5-922115-68-1: 924.00.

### 2) Дополнительная литература

Lecture notes on general relativity, by Matthias Blau, свободно доступна на сайте

<http://www.blau.itp.unibe.ch/newlecturesGR.pdf>

### 3) Программное обеспечение

№	Наименование	Условия доступа
---	--------------	-----------------

п/п		
1.	Microsoft Windows 7 Professional RUS Microsoft Windows 10 Microsoft Windows 8.1 Professional RUS	Из внутренней сети университета (договор)
2.	Microsoft Office Professional Plus 2010	Из внутренней сети университета (договор)
3.	LaTeX пакет верстки научных текстов	Свободно распространяемый программный продукт

#### 4) Профессиональные базы данных, информационные справочные системы, интернет-ресурсы (электронные образовательные ресурсы)

№ п/п	Наименование	Условия доступа
<b>Профессиональные базы данных, информационно-справочные системы</b>		
1.	База препринтов Cornell University	<a href="https://arxiv.org/">https://arxiv.org/</a>
2.	База данных зарубежной периодики MathSciNet	Онлайн доступ из локальной сети НИУ ВШЭ
<b>Интернет-ресурсы (электронные образовательные ресурсы)</b>		
1.	Открытое образование	<a href="https://openedu.ru">https://openedu.ru</a>
2.	Coursera	<a href="http://www.coursera.org">http://www.coursera.org</a>
3.	edX	<a href="https://www.edx.org/course">https://www.edx.org/course</a>
4.	MITOPENCOURSE WARE	<a href="https://ocw.mit.edu/index.htm">https://ocw.mit.edu/index.htm</a>

#### 5) Материально-техническое обеспечение дисциплины

Учебные аудитории для лекционных занятий по дисциплине обеспечивают использование и демонстрацию тематических иллюстраций, соответствующих программе дисциплины в составе:

- ПЭВМ с доступом в Интернет (операционная система, офисные программы, антивирусные программы);
- мультимедийный проектор с дистанционным управлением.

Учебные аудитории для самостоятельных занятий по дисциплине оснащены персональными компьютерами, с возможностью подключения к сети Интернет и доступом к электронной информационно-образовательной среде НИУ ВШЭ.

Формат изучения дисциплины: без использования онлайн курса