

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет
им. Н.И. Лобачевского»

УТВЕРЖДЕНО
решением
Ученого совета ННГУ
протокол от
«_____» _____ 202_ г. № _____

Рабочая программа дисциплины

Квантовая теория поля

(наименование дисциплины (модуля))

Уровень высшего образования

магистратура

(бакалавриат / магистратура / специалитет)

Направление подготовки / специальность

03.04.02 Физика

(указывается код и наименование направления подготовки / специальности)

Направленность образовательной программы

магистерская программа "Квантовые и нейроморфные технологии"

(указывается профиль / магистерская программа / специализация)

Квалификация (степень)

магистр

(бакалавр / магистр / специалист)

Форма обучения

Очная

(очная / очно-заочная / заочная)

Год начала обучения

2023

(для обучающихся какого года начала обучения разработана Рабочая программа)

Нижний Новгород

1. Место и цели дисциплины в структуре ОПОП

Дисциплина «Общая теория относительности» относится к блоку ФТД «Дисциплины (модули)», является факультативной дисциплиной, преподается на втором году обучения, в третьем семестре. Освоение дисциплины происходит одновременно с освоением дисциплины (модуля) «Квантовая теория поля».

Целями освоения дисциплины «Общая теория относительности» являются:

- изучение одного из крупнейших разделов современной теоретической физики – общей теории относительности (ОТО) – имеющего большое мировоззренческое содержание;
- освоение физических принципов – принципа эквивалентности, принципа общей ковариантности;
- овладение математическим аппаратом ОТО – римановой геометрией и тензорным анализом.

2. Структура и содержание дисциплины

Объем дисциплины «Общая теория относительности» составляет 2 зачетных единиц, всего 72 часа, из которых 65 часов составляет контактная работа обучающегося с преподавателем (1 час – мероприятия промежуточной аттестации; 32 часа занятия лекционного типа, 32 часа занятия семинарского типа (практические занятия), в том числе 2 часа – мероприятия текущего контроля успеваемости), 7 часов составляет самостоятельная работа обучающегося (7 часов самостоятельная работа в течение семестра).

Содержание дисциплины «Общая теория относительности»

Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины	Всего (часы)	В том числе				
		контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем) в течение семестра, часы, из них				Самостоятельная работа в течение семестра, часы
		Занятия лекционного типа	Занятия семинарского типа	Занятия лабораторного типа	Всего	
1. Физические основы ОТО. Принцип эквивалентности. Инерциальные и неинерциальные системы отсчета. Локальное поле тяготения. Отклонение света в гравитационном поле. Гравитационное замедление времени. Эксперимент Паунда и Реббки. Гравитационное красное смещение.	11	3	2	—	5	6
2. Тензорная алгебра. Тензоры, преобразования координат. Тензорная алгебра. Локально-инерциальная система отсчета. Ковариантная производная тензора. Связности.	15	3	6	—	9	6
3. Тензор кривизны. Свойства симметрии. Тождества Риччи, Бьянки, Гильберта. Тензор Риччи, скалярная кривизна. Тензор Эйнштейна.	15	3	6	—	9	6
4. Ли-вариации полей. Поля Киллинга.	13	2	5	—	7	6
5. Вывод уравнений ОТО. Вариационный принцип Гильберта. Тензор энергии-импульса. Вариационный вывод уравнений Эйнштейна.	9	3	—	—	3	6
6. Случай слабого гравитационного поля. Уравнение движения свободной частицы в заданной метрике.	7	1	—	—	1	6
7. Решение Шварцшильда. Сферически-симметричное поле тяготения в вакууме. Интервал. Метрика. Гравитационный радиус. Гравитационный коллапс. Движение материальной точки в метрике	18	6	6	—	12	6

Шварцшильда. Поворот перигелия Меркурия. Распространение света в поле тяготеющей массы. Решение Райсснера-Нордстрёма.						
8. Космологические модели. Лямбда-член. N-мерная сфера. Космологические решения Фридмана. Космологическое решение Эйнштейна-де Ситтера. Распространение света в расширяющейся Вселенной. Big Bang, реликтовое излучение.	13	4	3	—	7	6
9. Гравитационные волны. Вывод волнового уравнения. Поляризация. Излучение и детектирование гравитационных волн. Потеря энергии за счет гравитационного излучения. Формула Эйнштейна. Астрономические наблюдения за двойными звездами. Детектирование гравитационных волн.	14	4	4	—	8	6
10. Современное состояние теории гравитации. Проблемы ОТО. Темная материя, темная энергия. Альтернативные теории гравитации. Проблемы построения квантовой теории гравитации.	9	3	—	—	3	6
В т.ч. текущий контроль	2	2				—
Промежуточная аттестация – зачет с оценкой						

3. Образовательные технологии

- 1) Чтение лекций;
- 2) сопровождение лекций написанием и выводом формул, построением графиков, изображением рисунков на доске;
- 3) сопровождение лекций презентациями;
- 4) методика «вопросы и ответы»;
- 5) выполнение практического задания у доски;
- 6) индивидуальная работа над практическим заданием;
- 7) работа в парах над практическим заданием;
- 8) работа в малых группах над практическим заданием;
- 9) методика «мозговой штурм».

4. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся

Самостоятельная работа обучающихся предполагает изучение конспектов лекций, выделенных разделов основной литературы, а также

дополнительной литературы, выполнение практических заданий, отвечающих изучаемым разделам дисциплины, подготовку к промежуточной аттестации.

Перечень основной и дополнительной литературы для самостоятельного изучения приведен в п. 7 настоящей Рабочей программы дисциплины.

Контрольные вопросы для промежуточной аттестации, примеры практических заданий приведены в п. 6.3 настоящей Рабочей программы дисциплины.

5. Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями выпускников)

Формируемые компетенции	Планируемые результаты обучения по дисциплине
ПК-2 Способен самостоятельно анализировать, не предвзято оценивать и ориентироваться в передовых теоретических концепциях и достижениях современной физики	(ПК-2) Знать основные эффекты, предсказываемые и объясняемые ОТО. (ПК-2) Уметь ориентироваться в основных понятиях и законах римановой геометрии, тензорного анализа. (ПК-2) Владеть навыками решения задач с использованием криволинейных координат.

6. Фонд оценочных средств для промежуточной аттестации по дисциплине

6.1. Описание шкал оценивания результатов обучения по дисциплине

Промежуточной аттестацией для дисциплины «Общая теория относительности» является **экзамен**.

По итогам экзамена выставляется оценка по семибалльной шкале: оценки «Плохо» и «Неудовлетворительно» означают отсутствие аттестации, оценки «Удовлетворительно», «Хорошо», «Очень хорошо», «Отлично» и «Превосходно» выставляются при успешном прохождении аттестации.

6.2. Процедуры и критерии оценивания результатов обучения по дисциплине

Для оценивания результатов обучения в виде знаний используются следующие процедуры и технологии:

- индивидуальное собеседование (промежуточная аттестация).

Контрольные вопросы для индивидуального собеседования представлены в п. 6.3 настоящей Рабочей программы дисциплины.

Для оценивания результатов обучения в виде умений и навыков используются следующие процедуры и технологии:

- выполнение практических заданий (текущий контроль, промежуточная аттестация).

Примеры практических заданий для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации представлены в п. 6.3 настоящей Рабочей программы дисциплины.

Критериями оценивания являются полнота знаний, наличие умений и владений (навыков), перечисленных в п. 5 настоящей Рабочей программы дисциплины.

«Плохо» – обучающийся не продемонстрировал никаких знаний об основных теоретических разделах курса, не показал никаких умений и навыков выполнения практических заданий;

«Неудовлетворительно» – обучающийся не продемонстрировал представления об основных теоретических разделах курса, не показал минимально допустимый уровень умений и навыков выполнения практических заданий;

«Удовлетворительно» – обучающийся продемонстрировал изложение формулировок основных теоретических положений курса и успешно показал умения и навыки выполнения практических заданий базового уровня сложности;

«Хорошо» – обучающийся продемонстрировал связное изложение основных теоретических положений курса и успешно показал умения и навыки выполнения стандартных практических заданий;

«Очень хорошо» – обучающийся продемонстрировал связное изложение практически всех теоретических положений курса и успешно показал умения и навыки выполнения стандартных практических заданий;

«Отлично» – обучающийся продемонстрировал связное изложение всех теоретических положений курса и успешно показал умения и навыки выполнения практических заданий повышенного уровня сложности;

«Превосходно» – обучающийся продемонстрировал уровень знаний в объеме, превышающем стандартную программу подготовки, и продемонстрировал творческий подход к выполнению практических заданий повышенного уровня сложности.

6.3. Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки результатов обучения

6.3.1. При проведении промежуточной аттестации обучающимся предлагаются следующие контрольные вопросы, охватывающие программу дисциплины «Общая теория относительности»:

1. Принцип эквивалентности. Отклонение света в гравитационном поле. Гравитационное замедление времени. Эксперимент Паунда и Реббки. Гравитационное красное смещение.
2. Уравнение движения свободной частицы в заданной метрике. Квазигамильтониан.
3. Движение материальной точки в метрике Шварцшильда. Поворот перигелия Меркурия.
4. Распространение света в поле Шварцшильда.
5. Тензоры, преобразования координат.
6. Локально-инерциальная система отсчета. Ковариантная производная тензора. Связности.
7. Тензор кривизны и его свойства. Тождества Риччи, Бьянки, Гильберта.
8. Вариационный принцип Гильберта. Тензор энергии-импульса. Вариационный вывод уравнений Эйнштейна.
9. Сферически-симметричное статическое решение уравнений Эйнштейна вне электрически заряженного тела.
10. Космологические решения Фридмана. Многомерные сферы. Космологическое решение Эйнштейна-де Ситтера. Распространение света в расширяющейся Вселенной. Big Bang, реликтовое излучение.
11. Гравитационные волны. Поляризация. Излучение гравитационных волн. Формула Эйнштейна. Астрономические наблюдения за двойными звездами. Детектирование гравитационных волн.

6.3.2. Примеры практических заданий для практических занятий, самостоятельной работы обучающихся, проведения текущего контроля и промежуточной аттестации:

1. Пользуясь определением псевдосферы как двумерной поверхности, образованной вращением трактрисы вокруг своей асимптоты, найти ее метрику. Найти связности.
2. Найти метрику и связности для двумерной сферы.
3. Тензорное поле, заданное в плоскости, в декартовых координатах имеет компоненты $(1, 0)$. Найти его компоненты в полярных

координатах. Рассчитать частные и ковариантные производные от них по координатам ρ и φ .

4. Найти компоненты тензора кривизны, тензора Эйнштейна для двумерной сферы единичного радиуса.
5. Найти компоненты тензора кривизны, тензора Эйнштейна для двумерной псевдосферы единичного радиуса.
6. Рассчитать компоненты полей Киллинга для плоскости. Рассчитать коммутаторы этих полей.
7. Рассчитать компоненты полей Киллинга для двумерной сферы. Рассчитать коммутаторы этих полей.
8. Рассчитать компоненты полей Киллинга для двумерной псевдосферы. Рассчитать коммутаторы этих полей.
9. Вывести законы свободного падения материальной точки с нулевым моментом импульса на центр поля в метрике Шварцшильда и в метрике Пенлеве.

6.3.3. Пример экзаменационного билета при проведении промежуточной аттестации по дисциплине:

Билет № XXX
<p>1. Теоретический вопрос. Движение материальной точки в метрике Шварцшильда. Поворот перигелия Меркурия.</p> <p>2. Практическое задание. Найти компоненты тензора кривизны, тензора Эйнштейна для двумерной псевдосферы единичного радиуса.</p>

6.4. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания

1. Положение «О проведении текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации обучающихся в ННГУ», утвержденное приказом ректора ННГУ от 13.02.2014 №55-ОД.

2. Положение о фонде оценочных средств, утвержденное приказом ректора ННГУ от 10.06.2015 №247-ОД.

7. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

а) основная литература:

- 1) Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. – Теоретическая физика. Т. 2 Теория поля. – 1988.

Фонд Фундаментальной библиотеки ННГУ: 4 экз.

<http://www.lib.unn.ru/php/details.php?DocId=298125>

- 2) Бурланков Д.Е. – Время, пространство, тяготение. – М.: Институт компьютерных исследований, Ижевск: НИЦ "Регулярная и хаотическая динамика", 2006. – 420 с.

Фонд Фундаментальной библиотеки ННГУ: 4 экз.

<http://www.lib.unn.ru/php/details.php?DocId=276301>.

б) дополнительная литература:

- 1) Бурланков Д.Е. – Пространство, время, космос, кванты. – Н. Новгород: Изд-во Нижегород. ун-та, 2007. – 143 с.

Фонд Фундаментальной библиотеки ННГУ: 4 экз.

<http://www.lib.unn.ru/php/details.php?DocId=266913>.

- 2) Дирак П.А.М. – Общая теория относительности. – М.: Атомиздат, 1978. – 65 с.

Фонд Фундаментальной библиотеки ННГУ: 2 экз.

<http://www.lib.unn.ru/php/details.php?DocId=73831>.

- 3) Логунов А.А. – Лекции по теории относительности и гравитации. Современный анализ проблемы. – М.: Изд-во МГУ, 1985. – 258 с.

Фонд Фундаментальной библиотеки ННГУ: 2 экз.

<http://www.lib.unn.ru/php/details.php?DocId=73839>.

- 4) Бурланков Д.Е. – Анализ общей теории относительности: монография. – Н. Новгород: Изд-во ННГУ, 2011. – 239 с.

Фонд Фундаментальной библиотеки ННГУ: 2 экз.

<http://www.lib.unn.ru/php/details.php?DocId=448627>.

в) программное обеспечение и Интернет-ресурсы:

Интернет-ресурсы Фундаментальной библиотеки ННГУ

<http://www.lib.unn.ru/>.

8. Материально-техническое обеспечение дисциплины

Материально-техническое обеспечение дисциплины обусловлено наличием учебных аудиторий для проведения занятий, оборудованных специализированной мебелью, меловыми или магнитно-маркерными досками для представления учебной информации большой аудитории. Ресурс мела и маркеров для доски в учебных аудиториях регулярно возобновляется.

Учебные аудитории могут быть при необходимости оснащены демонстрационным оборудованием для сопровождения учебных занятий презентациями.

Помещения для самостоятельной работы обучающихся (на базе Фундаментальной библиотеки ННГУ) оснащены компьютерной техникой с подключением к сети «Интернет» и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду ННГУ.

Программа составлена в соответствии с требованиями федерального государственного образовательного стандарта высшего образования по направлению подготовки 03.04.02 Физика.

Автор(ы):

декан физического факультета,
к. ф.-м. н., доцент _____ / Малышев А.И. /

Рецензент(ы):

Зав. кафедрой теоретической физики
физического факультета,
д. ф.-м. н., доцент _____ / Бурдов В.А. /

Программа одобрена на заседании Учебно-методической комиссии
физического факультета ННГУ от «_____» _____ 202_ года,
протокол № б/н.

Председатель
Учебно-методической комиссии
физического факультета ННГУ _____ / Перов А.А. /