

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ (НИ ТГУ)

Физический факультет

УТВЕРЖДАЮ

Декан физического факультета



С. Н. Филимонов

«15» апреля 2021 г.

Рабочая программа дисциплины

Общая теория относительности

по направлению подготовки

03.03.02 Физика

Направленность (профиль) подготовки:
«Фундаментальная физика»

Форма обучения
Очная

Квалификация
Бакалавр

Год приема
2021

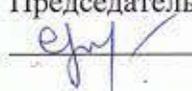
Код дисциплины в учебном плане: **Б1.В.ДВ.01.01.14**

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель ОП

 О.Н. Чайковская

Председатель УМК

 О.М. Сюсина

Томск–2021

1. Цель и планируемые результаты освоения дисциплины (модуля)

Целью освоения дисциплины является формирование следующих компетенций:

- ОПК-2 — Способен проводить научные исследования физических объектов, систем и процессов, обрабатывать и представлять экспериментальные данные;
- ПК-1 — Способен проводить научные исследования в выбранной области с использованием современных экспериментальных и теоретических методов, а также информационных технологий.

Результатами освоения дисциплины являются следующие индикаторы достижения компетенций:

ИОПК 2.2 — Анализирует и интерпретирует экспериментальные и теоретические данные, полученные в ходе научного исследования, обобщает полученные результаты, формулирует научно обоснованные выводы по результатам исследования;

ИПК 1.1 — Собирает и анализирует научно-техническую информацию по теме исследования, обобщает научные данные в соответствии с задачами исследования.

2. Задачи освоения дисциплины

- изучение механических и электромагнитных явлений в искривлённом пространстве-времени и в неинерциальных системах отсчёта;
- изучение уравнений гравитационного поля;
- изучение астрофизических процессов на основе сферически симметричного и осесимметричного решений уравнений гравитационного поля;
- изучение гравитационных волн и космологических процессов на основе соответствующих решений уравнений гравитационного поля и данных наблюдений;
- изучение курса ОТО должно также сформировать навыки построения и анализа решений уравнений гравитационного поля и исследования физических явлений на искривлённом пространственно-временном фоне.

3. Место дисциплины (модуля) в структуре образовательной программы

Дисциплина относится к части образовательной программы, формируемой участниками образовательных отношений, входит в профессиональный модуль «Теоретическая и математическая физика», предлагается обучающимся на выбор.

4. Семестр(ы) освоения и форма(ы) промежуточной аттестации по дисциплине

Семестр 8, дифференцированный зачёт.

5. Входные требования для освоения дисциплины

Для изучения и понимания материала данной дисциплины обучающийся должен владеть основными понятиями и методами дифференциального и интегрального исчисления, линейной алгебры, теории обыкновенных дифференциальных уравнений, математической физики, дифференциальной геометрии и топологии, классической механики, классической теории поля. Особенно важно для понимания данного курса знать основные понятия и методы теории обыкновенных дифференциальных уравнений, линейных уравнений математической физики, специальной теории относительности, лагранжева формализма в механике и теории поля, римановой геометрии.

6. Язык реализации

Русский

7. Объем дисциплины (модуля)

Общая трудоемкость дисциплины составляет 3 зачетные единицы, 108 часов, из которых:

- лекции: 24 ч.;
- практические занятия: 24 ч.;
- объем самостоятельной работы студента определен учебным планом.

8. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам

Тема 1. Введение.

Предмет общей теории относительности.

Тема 2. Риманова геометрия.

Алгебра тензоров. Риманова метрика и аффинная связность. Тензор кривизны. Векторы Киллинга.

Тема 3. Физика в искривлённом пространстве-времени.

Свободное движение тел в искривлённом пространстве-времени. Ньютоновское приближение. Электродинамика в общей теории относительности. Тензор энергии-импульса.

Тема 4. Уравнения гравитационного поля.

Уравнение гравитационного поля в теории Ньютона. Уравнения гравитационного поля в общей теории относительности. Лагранжева формулировка.

Тема 5. Сферически-симметричное гравитационное поле.

Решение Шварцшильда. Уравнения движения тел в сферически симметричном гравитационном поле. Движение планет. Смещение перигелия Меркурия. Отклонение луча света полем массивного тела. Запаздывание радарного эха. Гравитационное красное смещение.

Тема 6. Законы сохранения в общей теории относительности.

Геометрия пространства-времени и законы сохранения. Псевдотензор энергии-импульса гравитационного поля.

Тема 7. Эволюция звёзд и чёрные дыры.

Эволюция звёзд в зависимости от их начальной массы. Синтез химических элементов. Новые и сверхновые звёзды. Белые карлики, нейтронные звёзды, чёрные дыры. Заряженные и вращающиеся чёрные дыры.

Тема 8. Гравитационные волны.

Волновое решение уравнений гравитационного поля. Возможные источники гравитационных волн. Приёмники гравитационных волн. Наблюдательные свидетельства существования гравитационных волн.

Тема 9. Строение и эволюция Вселенной.

Метрика Фридмана-Робертсона-Уокера. Измерение космических расстояний. Космологическое красное смещение. Решение Фридмана и динамика расширения Вселенной. Ускоряющееся расширение: данные наблюдений. Реликтовое излучение. Космологическая инфляция. Анизотропное космологическое решение.

Тема 10. Модификации общей теории относительности.
Теория Бранса-Дикке. Теория Лавлока. $f(R)$ - и $f(R, G)$ -теории.

Тема 11. Тетрадное представление уравнений гравитационного поля.

Тема 12. Теория Калуцы.

9. Текущий контроль по дисциплине

Текущий контроль по дисциплине проводится в виде коллоквиума приблизительно в середине семестра. Коллоквиум включает в себя вопросы по темам 1–8.

10. Порядок проведения и критерии оценивания промежуточной аттестации

Экзамен в 8 семестре проводится в письменной форме по экзаменационным билетам.

Экзаменационный билет состоит из двух теоретических вопросов и одной задачи. После ответа на основные вопросы (включая задачу) экзаменуемому задаются три дополнительных вопроса. Результаты экзамена определяются исходя из ответов на экзамене и коллоквиуме (для участвовавших в коллоквиуме).

11. Учебно-методическое обеспечение

а) Оценочные материалы текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине.

Вопросы к коллоквиуму:

1. Алгебра тензоров, риманова метрика и аффинная связность.
2. Тензор кривизны, тензор Риччи и скаляр Риччи.
3. Векторы Киллинга.
4. Свободное движение тел в искривлённом пространстве-времени. Ньютоновское приближение. Электродинамика в ОТО.
5. Тензор энергии-импульса.
6. Уравнения гравитационного поля в теории Ньютона и в ОТО.
7. Лагранжев вывод уравнений гравитационного поля.
8. Решение Шварцшильда.
9. Уравнения движения тел в сферически симметричном гравитационном поле.
10. Движение планет. Смещение перигелия.
11. Отклонение луча света полем массивного тела.

Экзаменационные вопросы:

1. Алгебра тензоров, риманова метрика и аффинная связность.
2. Тензор кривизны, тензор Риччи и скаляр Риччи.
3. Векторы Киллинга.
4. Свободное движение тел в искривлённом пространстве-времени. Ньютоновское приближение. Электродинамика в ОТО.
5. Тензор энергии-импульса.
6. Уравнения гравитационного поля в теории Ньютона и в ОТО.
7. Лагранжев вывод уравнений гравитационного поля.
8. Решение Шварцшильда.
9. Уравнения движения тел в сферически симметричном гравитационном поле.

10. Движение планет. Смещение перигелия.
11. Отклонение луча света полем массивного тела.
12. Геометрия пространства-времени и законы сохранения.
13. Псевдотензор энергии-импульса гравитационного поля.
14. Гравитационные волны.
15. Метрика Фридмана-Робертсона-Уокера.
16. Измерение космических расстояний.
17. Космологическое красное смещение.
18. Решение Фридмана и динамика расширения Вселенной.
19. Ускоряющееся расширение: данные наблюдений.
20. Реликтовое излучение.
21. Трудности учения о Большом взрыве и космологическая инфляция как способ их разрешения.
22. Инфляция в режиме медленного скатывания.
23. Модели инфляции: инфляция с большим полем, инфляция вблизи максимума потенциала, гибридная инфляция.
24. Анизотропное космологическое решение.

Экзаменационные задачи:

1. Вывести закон кругового обращения планет в ньютоновской теории тяготения и сопоставить его с тем, что получается в ОТО.
2. Вывести законы Кеплера из ньютоновской теории тяготения. Удовлетворяет ли движение по законам Кеплера уравнениям движения пробных частиц в пространстве с метрикой Шварцшильда (точно или хотя бы приближённо)?
3. Доказать, что коэффициенты аффинной связности не удовлетворяют закону преобразования тензоров.
4. Пользуясь выражением коэффициентов связности через компоненты метрического тензора, доказать, что метрический тензор ковариантно постоянен.
5. Найти тензор Римана в одномерном пространстве.
6. Выразить тензор Римана в двумерном пространстве через метрический тензор и скаляр Риччи.
7. Выразить тензор Римана в трёхмерном пространстве через метрический тензор и тензор Риччи.
8. Доказать, что вторые производные скалярного поля коммутируют.
9. Сколько независимых компонент имеет тензор Римана в n -мерном пространстве?
10. Доказать циклическое тождество и тождество Бианки для тензора Римана.
11. В плоском пространстве-времени Минковского найти 10 линейно независимых векторов Киллинга.
12. Небольшой спутник обращается с круговой частотой ω по орбите радиусом r вокруг центрального тела с массой m . Показать, что если известна только круговая частота обращения спутника ω , то мы не можем найти по отдельности ни r , ни m , а можем определить лишь эффективную «кеплеровскую плотность» центрального тела, получающуюся путём усреднения его массы по шару с радиусом, равным радиусу орбиты. Выразить ω через кеплеровскую плотность.

б) Методические указания по организации самостоятельной работы студентов.

Самостоятельная работа студента включает:

- углубленное теоретическое изучение разделов курса при подготовке лекционным и практическим занятиям;

- подготовку к обсуждению материала, в том числе самостоятельный поиск необходимых источников информации, включая научно-образовательные ресурсы сети Интернет;
- подготовку к зачету.

Вопросы, вынесенные на самостоятельное изучение:

1. Запаздывание радарного эха.
2. Новые и сверхновые звёзды.
3. Заряженные и вращающиеся чёрные дыры.
4. Тетрадное представление уравнений гравитационного поля.
5. Теория Калуцы.

12. Перечень учебной литературы и ресурсов сети Интернет

Основная литература:

1. С. Вейнберг. Гравитация и космология. — М.: «Мир», 1975. — 696 с.
2. Л. Д. Ландау, Е. М. Лифшиц. Теоретическая физика: Учеб. пособие. В 10 т. Т. II. Теория поля. — М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1988. — 512 с.
3. П. А. М. Дирак. Общая теория относительности. — М.: Атомиздат, 1978. — 63 с.
4. Р. М. Уолд. Общая теория относительности. — М.: РУДН, 2008. — 693 с.
5. Н. В. Мицкевич. Релятивистская физика: специальная теория относительности, общая теория относительности. — М.: ЛИБРОКОМ, 2012. — 195 с.
6. Р. С. Сингатуллин. Риманова геометрия и общая теория относительности. — М.: Ленанд, 2014. — 141 с.
7. Сборник задач по теории относительности и гравитации. — М.: Мир, 1979. — 535 с.
8. П. К. Рашевский. Риманова геометрия и тензорный анализ. — М.: Наука, 1967. — 664 с.
9. Б. А. Дубровин, С. П. Новиков, А. Т. Фоменко. Современная геометрия. Методы и приложения. Т. 1. — М.: Эдиториал УРСС, 2001. — 334 с.
10. Б. А. Дубровин, С. П. Новиков, А. Т. Фоменко. Современная геометрия. Методы и приложения. Т. 2. — М.: Эдиториал УРСС, 2001. — 293 с.
11. Б. А. Дубровин, С. П. Новиков, А. Т. Фоменко. Современная геометрия. Методы и приложения. Т. 3. — М.: Эдиториал УРСС, 2001. — 286 с.
12. А. Е. Либер. Тензорный анализ. — Саратов: Изд-во Саратовского университета, 1975. — 143 с.
13. С. Чандрасекар. Математическая теория чёрных дыр. Ч. 1. — М.: Мир, 1986. — 276 с.
14. С. Чандрасекар. Математическая теория чёрных дыр. Ч. 2. — М.: Мир, 1986. — 355 с.
15. И. Д. Новиков, В. П. Фролов. Физика чёрных дыр. — М.: Наука, 1986. — 326 с.
16. С. Вайнберг. Космология. — М.: УРСС, 2012. — 608 с.
17. Я. Б. Зельдович, И. Д. Новиков. Строение и эволюция Вселенной. — М.: Наука. Физматлит, 1975. — 735 с.

Дополнительная литература:

1. Д. В. Гальцов. Частицы и поля в окрестности чёрных дыр. — М.: Издательство Московского университета, 1986. — 287 с.
2. Д. С. Горбунов, В. А. Рубаков. Введение в теорию ранней Вселенной: Теория горячего Большого взрыва. — М.: Издательство ЛКИ, 2008. — 552 с., цв. вкл.
3. Д. С. Горбунов, В. А. Рубаков. Введение в теорию ранней Вселенной: Космологические возмущения. Инфляционная теория. — М.: КРАСАНД, 2010. — 568 с., цв. вкл.
4. Р. Пенроуз, В. Риндлер. Спиноры и пространство-время. Два-спинорное исчисление и релятивистские поля. — М.: Мир, 1987. — 528 с., ил.
5. Р. Пенроуз, В. Риндлер. Спиноры и пространство-время. Спинорные и твисторные методы в геометрии пространства-времени. — М.: Мир, 1988. — 572 с., ил.
6. А. А. Логунов. Лекции по теории относительности и гравитации: соврем. анализ проблемы. — М.: Наука, 2005. — 318 с.
7. Р. Ф. Фейнман, М. Б. Мориниго, У. Г. Вагнер. Фейнмановские лекции по гравитации. — М.: «Янус-К», 2000. — 296 с.
8. Ю. С. Владимиров. Геометрофизика. — М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2005. — 600 с.

Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети Интернет:

1. S. M. Carroll. Lecture notes on general relativity <http://lanl.arxiv.org/abs/gr-qc/9712019>
2. A. Liddle. An Introduction to cosmological inflation <http://lanl.arxiv.org/abs/astro-ph/9901124>
3. A. Linde. Inflatinary Cosmology <http://lanl.arxiv.org/abs/0705.0164>
4. M. Trodden, S. M. Carroll. TASI Lectures: Introduction to Cosmology <http://lanl.arxiv.org/abs/astro-ph/0401547>

13. Перечень информационных технологий

- а) лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение:
- Microsoft Office Standart 2013 Russian: пакет программ. Включает приложения: MS Office Word, MS Office Excel, MS Office PowerPoint, MS Office On-eNote, MS Office Publisher, MS Outlook, MS Office Web Apps (Word Excel MS PowerPoint Outlook); системы компьютерной вёрстки LaTeX;
 - публично доступные облачные технологии (Google Docs, Яндекс диск и т.п.).
- б) информационные справочные системы:
- Электронный каталог Научной библиотеки ТГУ – <http://chamo.lib.tsu.ru/search/query?locale=ru&theme=system>
 - Электронная библиотека (репозиторий) ТГУ – <http://vital.lib.tsu.ru/vital/access/manager/Index>
 - ЭБС Лань – <http://e.lanbook.com/>
 - ЭБС Консультант студента – <http://www.studentlibrary.ru/>
 - Образовательная платформа Юрайт – <https://urait.ru/>
 - ЭБС ZNANIUM.com – <https://znanium.com/>
 - ЭБС IPRbooks – <http://www.iprbookshop.ru/>

14. Материально-техническое обеспечение

Аудитории для проведения занятий лекционного типа.

Аудитории для проведения практических занятий, индивидуальных и групповых консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации.

Помещения для самостоятельной работы, оснащенные компьютерной техникой и доступом к сети Интернет, в электронную информационно-образовательную среду и к информационным справочным системам.

Аудитории для проведения занятий лекционного типа, практических занятий, индивидуальных и групповых консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации в смешанном формате, оснащенные системой («Актру»).

15. Информация о разработчиках

Кирнос Илья Васильевич, кандидат физико-математических наук, кафедра квантовой теории поля физического факультета ТГУ, доцент.