

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
«Московский физико-технический институт (государственный университет)»
МФТИ

«УТВЕРЖДАЮ»
Проректор по учебной и методической работе
_____ **Д.А. Зубцов**
« » _____ **20** г.

Рабочая программа дисциплины (модуля)

по дисциплине: Гравитация и космология

по направлению: 010900 «Прикладные математика и физика»

профиль подготовки

магистерская программа: 010912 «Теоретические проблемы физики элементарных частиц»

факультет: ФОПФ

кафедра: Фундаментальных и прикладных проблем физики микромира

курс: 4

квалификация: бакалавр

Семестр, формы промежуточной аттестации: 7 (Осенний) Экзамен

Аудиторных часов: 34 всего, в том числе:

лекции: 34 час.

практические (семинарские) занятия: 0 час.

лабораторные занятия: 0 час.

Самостоятельная работа: 10 час., в том числе:
задания, курсовые работы: 0 час.

Подготовка к экзамену: 30 час.

Всего часов: 74, всего зач. ед.: 2

Программу составил: д.ф.-м.н. Фурсаев Д.В.

Программа обсуждена на заседании кафедры
14 октября 2014 г.

СОГЛАСОВАНО:

Заведующий кафедрой

Казаков Д.И.

Декан ФОПФ

Трунин М.Р.

Начальник учебного управления

Гарайшина И.Р.

1. Цели и задачи

Цель дисциплины

Цель курса - освоение студентами основ фундаментальных знаний и базовых методов вычислений в области теории гравитации и ее приложений к современным проблемам космологии, приобретение базовых навыков самостоятельной научно-исследовательской работы в данной области.

Задачи дисциплины

- формирование базовых знаний в области теории гравитации и космологии, понимания фундаментальных научных проблем этой области;
- обучение студентов базовым методам математического аппарата общей теории относительности и навыкам ее применения для решения задач, описывающих движение объектов в гравитационном поле, а также эволюцию вселенной в целом;
- формирование подходов к выполнению студентами исследований в области теоретической физики в рамках выпускных работ на степень бакалавра.

2. Место дисциплины (модуля) в структуре образовательной программы бакалавриата

Дисциплина «Гравитация и космология» включает в себя разделы, которые могут быть отнесены к вариативной части профессионального цикла ООП М.1.

Дисциплина «Гравитация и космология» базируется на материалах курсов, читаемых в рамках базовой и вариативной частей УЦ ООП Б.2 и Б.3 (Математический анализ, Дифференциальные уравнения, Уравнения математической физики, Физика элементарных частиц), и относится к профессиональному циклу.

3. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю), соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы

Освоение дисциплины «Гравитация и космология» направлено на формирование следующих общекультурных и профессиональных компетенций бакалавра:

а) общекультурные (ОК):

- компетенция самообразования и самоорганизации (ОК-1);
- компетенция профессиональной мобильности (ОК-2);
- компетенция получения знаний и использования новой информации (ОК-3);
- компетенция системного аналитического мышления (ОК-4);
- компетенция креативности (ОК-5).

б) профессиональные (ПК):

- компетенция профессионального использования информации (ПК-1);
- компетенция профессиональной аналитической деятельности (ПК-2);
- компетенция креативности в научно-исследовательской и инновационной деятельности (ПК-3);

- компетенция профессионального владения информационно-коммуникационными технологиями (ПК-4);
- компетенция презентации своей деятельности (ПК-6);
- компетенция самостоятельных исследований (ПК-10);
- компетенция обобщения и презентации результатов исследований (ПК-15).

В результате освоения дисциплины «Гравитация и космология» обучающийся должен:

знать:

- постулаты СТО и ОТО;
- основные экспериментальные факты, на которых базируются СТО и ОТО;
- преобразования Лоренца и общие преобразования координат;
- понятие метрического тензора;
- понятие собственного времени;
- определения ковариантных производных различных объектов на многообразиях с метрикой;
- определение векторов 4-скорости и 4-ускорения;
- определение и тензора кривизны Римана и связанных с ним геометрических объектов;
- уравнения Эйнштейна;
- определение векторного поля Киллинга, понятие изометрий и интегралов движения в ОТО;
- определение инвариантного функционала действия в ОТО;
- решения Шварцшильда;
- основные свойства вселенной на больших масштабах;
- уравнения Фридмана;
- понятие z -фактора и характеристики удаленности объектов в космологии;
- экспериментальные данные, указывающие на существование темной энергии и скрытой массы вселенной;
- понятие «стандартной» модели космологии (модели Lambda-CDM), ее базовые константы, характерные свойства и временные масштабы;
- фундаментальные физические проблемы космологии и их взаимосвязь с физикой микромира;
- современные идеи в космологии такие как модели с дополнительными измерениями, теорию «ландшафтов» и др.

уметь:

- эффективно применять вышеуказанные знания на практике для решения базовых элементарных научных задач в теории гравитации и космологии;
- находить нерелятивистский предел уравнений;
- решать задачи СТО для движения точечных объектов с постоянной и переменной скоростью;
- решать уравнения Эйнштейна в простейших ситуациях (статическое сферически симметричное поле, удаленный источник и т.д.);
- решать задачи в рамках модели Lambda-CDM;.

владеть:

- техникой «жонглирования» индексами;
- техникой перехода от 4-мерного описания к 3-мерному;
- техникой вычисления символов Кристоффеля и ковариантных производных;
- техникой вычисления интегралов движения при наличии векторов Киллинга;
- техникой построения инвариантных функционалов действия;
- методом варьирования.

4. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и видов учебных занятий
4.1. Разделы дисциплины (модуля) и трудоемкости по видам учебных занятий

№ п/п	Тема (раздел) дисциплины	Виды учебных занятий, включая самостоятельную работу				
		Лекции	Практич. (семинар.) задания.	Лаборат. работы	Задания, курсовые работы	Самост. работа.
1	Введение.	2	0	0	0	0
2	Специальная теория относительности (СТО) – I. Постулаты, основы математического аппарата.	2	0	0	0	0
3	СТО-II. Понятие релятивистской теории поля. Симметрии и законы сохранения. Канонический тензор энергии- импульса	2	0	0	0	0
4	Постулаты и физические основы общей теории относительности (ОТО).	2	0	0	0	0
5	Основы математического аппарата ОТО.	2	0	0	0	0
6	Геодезические.	2	0	0	0	0
7	Тензор Римана и связанные с ним геометрические понятия. Девиация геодезических и кривизна.	2	0	0	0	0

8	Метрический тензор энергии-импульса в ОТО. Функционал действия полей материи	2	0	0	0	0
9	Уравнения Эйнштейна	2	0	0	0	2
10	Гравитационное поле сферически симметричного источника.	2	0	0	0	2
11	Примеры простейших решений ОТО (статическая модель де Ситтера, решение для слабого поля)	2	0	0	0	0
12	Черные дыры: астрофизические аспекты и математические свойства	2	0	0	0	2
13	Основные предсказания и проверки ОТО	2	0	0	0	0
14	Определение предмета космологии. Основные свойства Вселенной на больших масштабах и модель Фридмана	2	0	0	0	0
15	Мера удаленности объектов в расширяющейся Вселенной. Сверхновые как «стандартные свечи»	2	0	0	0	2
16	Темная энергия и скрытая масса, связь этих понятий с физикой микромира.	2	0	0	0	0
17	Модели инфляции. Новые концепции в космологии	2	0	0	0	2
Итого часов		34	0	0	0	10
Общая трудоемкость		44 час., 2 зач.ед.				

4.2. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам)

Семестр: 7 (Осенний)

1 Введение.

Ключевые исторические факты из истории создания и развития СТО, ОТО и современной космологии. Структура курса и методы овладения учебным материалом

2 Специальная теория относительности (СТО) – I. Постулаты, основы математического аппарата.

Постулаты СТО, инерциальные системы отсчета, преобразования Лоренца, сокращение времени, понятия метрики и интервалов, траектории частиц, вектора 4 скорости и ускорения в СТО, 4-мерный формализм

3 СТО-II. Понятие релятивистской теории поля. Симметрии и законы сохранения. Канонический тензор энергии- импульса (ТЭИ)

Понятие полевой системы, примеры (скалярное поле, электромагнитное поле), требование релятивистская инвариантности, канонический ТЭИ, теоремы Нетер, изометрии пространства Минковского и связанные с ними интегралы

4 Постулаты и физические основы общей теории относительности (ОТО).

Постулаты ОТО: слабый принцип эквивалентности (ПЭ), ПЭ Эйнштейна, сильный ПЭ, локально-инерциальные системы отсчета, метрический тензор в ОТО, понятие одновременности и расстояния для близких событий

5 Основы математического аппарата ОТО.

Преобразования координат, понятие векторов и тензоров, их примеры, параллельный перенос, ковариантные производные, перенос Ферми-Уолкера

6 Геодезические.

Определение траекторий частиц в ОТО, собственное время, уравнения геодезических, нерелятивистский предел, примеры интегрирования уравнений геодезических для статического сферически симметричного поля

7 Тензор Римана и связанные с ним геометрические понятия. Девиация геодезических и кривизна.

Тензора Римана (ТР) и Риччи, скаляр кривизны, уравнения на компоненты, случай 2-мерной и 3-мерной геометрии, ТР и параллельный перенос по замкнутому контуру

8 Метрический тензор энергии-импульса в ОТО. Функционал действия полей материи

Функционал действия полей материи, варьирование по метрике, метрический ТЭ и «ковариантный закон сохранения»

9 Уравнения Эйнштейна

Уравнения Эйнштейна: мотивация, нерелятивистский предел, действие Эйнштейна-Гильберта

10 Гравитационное поле сферически симметричного источника.

Уравнения Эйнштейна для гравитационное поле сферически симметричного статического источника и их решение

11 Примеры простейших решений ОТО (статическая модель де Ситтера, решение для слабого поля)

Получение решений де Ситтера, знакомство с космологической константой, вложение решения де Ситтера в 5-мерное пространство, группа де Ситтера, решение уравнений Эйнштейна для удаленного источника, определение массы и углового момента

12 Черные дыры: астрофизические аспекты и математические свойства

Радиус Шварцшильда, координаты Эддингтона-Финкельштейна, горизонт, идея координат Крускала, астрофизические свойства черных дыр, термодинамика черных дыр.

13 Основные предсказания и проверки ОТО

Классические и современные опыты по проверке предсказаний ОТО

14 Определение предмета космологии.

Основные свойства Вселенной на больших масштабах, модель Фридмана и ее простейшие решение, космологическая сингулярность, закон Хаббла, микроволновой фон

15 Мера удаленности объектов в расширяющейся Вселенной. Сверхновые как «стандартные свечи»

Фактор красного смещения, движение фотонов во вселенной Фридмана, фотометрическое расстояние, наблюдения за вспышками сверхновых, ускорение расширения вселенной на данном этапе.

Свойства спектра реликтового излучения и его наблюдения.

16 Темная энергия и скрытая масса, связь этих понятий с физикой микромира.

Кривые вращения галактик, понятие скрытой массы. Необходимость введения вещества с необычным уравнением состояния (темной энергии) для описания эволюции вселенной. Проблема космологической постоянной. Модель Λ -CDM.

17 Модели инфляции. Новые концепции в космологии и гравитации

Проблемы начальных данных в космологии (проблемы плоскостности, горизонта и др.), идея инфляции. Новые концепции: «мир на бране» и новый масштаб квантовой гравитации, ландшафты, антропный принцип и т.д.

5. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине (модулю)

Необходимое оборудование для лекций и практических занятий: компьютер и мультимедийное оборудование (проектор).

Необходимое программное обеспечение: Adobe Acrobat Reader.

Обеспечение самостоятельной работы: доступ к библиотеке и базам данных по журналам Теоретическая и математическая физика, European Physical Journal C, Journal of High Energy Physics, Lecture Notes in Physics, Nuclear Physics B, Physics Letters B, Physics Reports, Physical Review D, Reviews of Modern Physics.

6. Перечень основной и дополнительной литературы, необходимой для освоения дисциплины (модуля)

Основная литература:

1. Л.Д. Ландау и Е.М. Лившиц. Теория поля (2-ой том курса теоретической физики) М; Наука. 1998
2. С. Вейнберг, Гравитация и космология, М.: Мир, 1975
3. Ч. Мизнер, К. Торн, Дж. Уиллер. Гравитация ,1-3 тт.М: Мир 1977

Дополнительная литература:

1. В.П. Фролов, И.Д. Новиков, Физика черных дыр, М.: Наука, 1986
2. А.Д. Чернин, «Космический Вакуум», Успехи Физических наук 171(2001)1153.
3. В.А. Рубаков, «Большие и бесконечные дополнительные измерения» Успехи Физических Наук 171(2001) 913
4. А. Лайтман, В. Пресс, Р. Прайс., С. Тюкольски. Сборник по общей теории относительности и гравитации. М.: Мир ,1979

7. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине (модулю)

-

8. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети "Интернет", необходимых для освоения дисциплины (модуля)

Информационные ресурсы: Доступные через интернет журналы по физике элементарных частиц (Теоретическая и математическая физика, European Physical Journal C, Journal of High Energy Physics, Lecture Notes in Physics, Nuclear Physics B, Physics Letters B, Physics Reports, Physical Review D, Reviews of Modern Physics), а также учебное пособие и сборник задач, разработанные для данного курса.

9. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине (модулю), включая перечень

программного обеспечения и информационных справочных систем (при необходимости)

-

10. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

-

11. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации по итогам обучения

Перечень контрольных вопросов для сдачи экзамена в 7-ом семестре:

1. Постулаты СТО и ОТО;
2. Основные экспериментальные основы СТО и ОТО;
3. Преобразования Лоренца и общие преобразования координат;
4. Движение точечных объектов с постоянной и переменной скоростью;
5. Понятие метрического тензора;
6. Понятие собственного времени;
7. Определения ковариантных производных различных объектов на многообразиях с метрикой;
8. Техника «жонглирования» индексами, вычисление символов Кристоффеля и ковариантных производных;
9. Определение векторов 4-скорости и 4-ускорения;
10. Определение и тензора кривизны Римана и связанных с ним геометрических объектов;
11. Уравнения Эйнштейна;
12. Решения уравнений Эйнштейна в простейших ситуациях (статическое сферически симметричное поле, удаленный источник и т.д.);
13. Векторное поле Киллинга, понятие изометрий и интегралов движения в ОТО;
14. Инвариантные функционалы действия в ОТО;
15. Построения инвариантных функционалов действия и техника варьирования по метрике;
16. Решения Шварцшильда и его свойства в различных системах координат;
17. Основные свойства вселенной на больших масштабах;
18. Уравнения Фридмана и их простейшие решения;
19. Понятие z-фактора и характеристики удаленности объектов в космологии;
20. Экспериментальные данные, указывающие на существование темной энергии и скрытой массы вселенной;
21. Модель Lambda-CDM, ее базовые константы, характерные свойства и временные

масштабы;

22. Фундаментальные физические проблемы космологии и их взаимосвязь с физикой микромира;
23. Проблема начальных данных в модели Фридмана и идея инфляции;
24. Модели с дополнительными измерениями, теория «ландшафтов»;