

**Государственное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования Московской области  
«Международный университет природы, общества и человека «Дубна»  
(университет «Дубна»)  
Факультет естественных и инженерных наук  
Кафедра теоретической физики**

**УТВЕРЖДАЮ**

проректор по учебной работе

\_\_\_\_\_ С.В. Моржухина

«\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2011 г.

**ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**

**Введение в гравитацию и космологию**

по направлению **010700.62 «ФИЗИКА»**

Специализация «Теоретическая физика»

Форма обучения: очная

Уровень подготовки: *бакалавр*

Курс 4, семестр 7,8

г. Дубна, 2011 г.

## 1. Требования ГОС ВПО

Дисциплина относится к специальным дисциплинам, устанавливаемым вузом. Требования ГОС ВПО отсутствуют.

## 2. Аннотация

Программа дисциплины «Введение в гравитацию и космологию» составлена в соответствии с разделом СД.В. ГОС ВПО для подготовки бакалавров по направлению: **010700.62** «Физика».

### Место курса в профессиональной подготовке бакалавров

При чтении данного курса предполагается, что студенты уже изучили курсы общей физики, теоретической механики, электродинамики, статистической физики и квантовой механики.

Полученные знания необходимы студентам при подготовке, выполнении и защите выпускной квалификационной работы и при решении научно-исследовательских задач в будущей профессиональной деятельности.

**Формы работы студентов** в ходе изучения дисциплины предусмотрены лекции, семинарские занятия, выполнение домашних работ, подготовка презентаций. Отдельные темы теоретического курса прорабатываются студентами самостоятельно в соответствии с планом самостоятельной работы и конкретными заданиями преподавателя с учетом индивидуальных особенностей студентов.

### Самостоятельная работа студентов

Изложение материала сопровождается набором из 5-10 задач к каждой лекции. Часть задач разбирается в аудитории, остальные задачи студенты сдают лектору. В течение семестра студенты самостоятельно готовят презентации на предложенные лектором темы.

**Виды текущего контроля** – проверка домашних заданий, опросы по материалу лекций, контрольные работы.

**Формы промежуточного контроля** - курсовая работа, зачет.

## 3. Цели и задачи дисциплины

Данный курс предназначен для студентов-физиков теоретической специализации (4 курса). **Цель курса:** изучить физические и математические основы общей теории относительности, наиболее важные экспериментальные данные и современные теоретические модели в гравитации, космологии и физике черных дыр.

**Задачи курса:** сформировать у студента картину развития Вселенной, основанную на общепринятых теориях и моделях, разъяснить ее недостатки, проблемы и ограничения, указать на возможные пути их преодоления, учитывающие современные астрофизические наблюдения и экспериментальные данные.

## 4. Требования к уровню освоения содержания дисциплины (знания, умения, навыки)

После окончания курса студент должен **владеть** базовым математическим аппаратом общей теории относительности (тензорное исчисление, вычисление кривизны, интегрирование уравнений геодезических в частных случаях, вычисление тензора энергии импульса на основе вариационной процедуры и др.). Особые требования предъявляются к **знаниям** современных проблем космологии, **умению** делать элементарные оценки (возраст вселенной, начало ускоренного расширения и др.) в модели LCDM.

## 5. Объем дисциплины и виды учебной работы

Вид учебной работы	Всего часов	Семестр	
		7	8
Общая трудоемкость дисциплины	139	69	69
Аудиторные занятия	108	54	54
Лекции (Л)	72	36	36
Семинары (С)	36	18	18
Самостоятельная работа (СР)	30	15	15
Промежуточная аттестация	Зачет, курс.раб.,	Зачет	Курс.раб.

## 6. Разделы дисциплины

№	Раздел дисциплины (7-й семестр)	Л	С	СР
1.	Вводная лекция	2	1	
2.	Постулаты СТО и основы аппарата	4	2	1
3.	Релятивистская теория поля в пространстве Минковского	2	1	1
4.	Симметрии и законы сохранения	2	1	1
5.	Канонический тензор энергии- импульса.	2	1	1
6.	Физические основы общей теории относительности.	2	1	1
7.	Основы математического аппарата ОТО.	2	1	1
8.	Геодезические	2	1	1
9.	Девиация геодезических и кривизна	2	1	1
10.	Тензор Римана	2	1	1
11.	Функционал действия полей материи	2	1	1
12.	Метрический тензор энергии-импульса в ОТО	2	1	1
13.	Уравнения Эйнштейна	2	1	1
14.	Гравитационное поле сферически симметричного источника	2	1	1
15.	Другие примеры решений ОТО (де Ситтера, решение для слабого гравитационного поля)	2	1	1
16.	Основные предсказания и проверки ОТО	2	1	1
17.	Прецессия гироскопов	2	1	
	Всего:	<b>36</b>	<b>18</b>	<b>15</b>
№	Раздел дисциплины (8-й семестр)	Л	С	СР
1	Космология	3	1	1
2	Мера удаленности объектов в расширяющейся Вселенной	2	1	1
3	Темная энергия и скрытая масса	4	2	1
4	Модели инфляции	2	1	1
5	Новые концепции в космологии	4	2	2
6	Физика черных дыр	2	1	1
7	Геометрия вечной черной дыры	2	1	1
8	Гравитационный коллапс	2	1	1
9	Описание систем отсчета в ОТО	3	2	1
10	Вращающаяся черная дыра	2	1	1
11	Черные дыры, термодинамика и квантовая теория	4	2	2
12	Геометрический подход к объединению взаимодействий	4	2	1
13	Концепция «мира на бране»	2	1	1
	Всего:	<b>36</b>	<b>18</b>	<b>15</b>

## Содержание разделов дисциплины

7 семестр

### 1. Вводная лекция.

Исторический обзор. Специальная теория относительности

### 2. Постулаты специальной теории относительности и основы аппарата.

Метрика, преобразования координат, связанные с переходом из одной инерциальной системы отсчета в другую. Ускоренные наблюдатели.

### 3. Теория поля в пространстве Минковского

Классическая механика и переход к теории поля. Примеры полевых моделей, обладающих релятивистской ковариантностью.

### 4. Симметрии и законы сохранения

Группа Пуанкаре и вектора Киллинга.

### 5. Канонический тензор энергии- импульса.

Симметрии и законы сохранения, теорема Нётер. Примеры интегралов движения.

### 6. Физические основы общей теории относительности

Слабый и сильный принцип эквивалентности, метрика.

Одновременные события и физические расстояния

### 7. Основы математического аппарата ОТО

Вектора, реперы, тензоры. Параллельный перенос и ковариантные производные.

### 8. Геодезические.

Уравнение геодезических и способы его вывода. Нерелятивистский предел

Перенос Ферми-Уолкера и примеры.

### 9. Девиация геодезических и кривизна

Вывод уравнения девиации. Его физический смысл и математические свойства.

Кривизна пространства.

### 10. Тензор Римана,

Свойства тензора Римана и его геометрическая интерпретация.

### 11. Функционал действия полей материи

Принцип эквивалентности и действие полевой системы в гравитационном поле.

Вариации по метрике и по динамическим переменным.

### 12. Метрический тензор энергии-импульса в ОТО

Получение тензора энергии-импульса (ТЭИ) вариационной процедурой. Связь с каноническим ТЭИ. Ковариантный закон сохранения. Энергетические условия.

ТЭИ идеальной жидкости.

### 13. Уравнения Эйнштейна

Мотивация для уравнений Эйнштейна. Предел слабого поля. Функционал действия Эйнштейна-Гильберта и его вариации по метрике.

### 14. Гравитационное поле сферически-симметричного источника

Получение решения Шварцшильда. Радиальные геодезические.

### **15. Другие примеры решений ОТО.**

Приближенное решение уравнения Эйнштейна вдали от вращающегося гравитирующего источника. Теория гравитации с космологической постоянной и решение де Ситтера.

### **16. Основные предсказания и проверки ОТО**

Проверка принципа эквивалентности. Гравитационное красное смещение. Отклонение лучей света в гравитационном поле. Смещение перигелия орбиты планет.

### **17. Прецессия гироскопов.**

Общее уравнение прецессии в ОТО. Ориентация ускоренных наблюдателей в плоском пространстве. Томасова прецессия. Эксперимент “Гравитационный зонд”.

## **8 семестр**

### **1. Космология.**

Основные характеристики наблюдаемой Вселенной. Модель Фридмана и ее следствия. Закон Хаббла.

### **2. Мера удаленности объектов в расширяющейся Вселенной**

Распространение фотонов и z-фактор. Фотометрическое расстояние. Выход за предел применимости закона Хаббла. “Стандартные свечи”.

**3. Темная энергия и скрытая масса.** Далекие сверхновые и ускорение. Кривые вращения галактик. Анизотропия реликтового фона. Космологическая постоянная, скрытая масса и физика высоких энергий.

**4. Модели инфляции.** Основные трудности стандартной теории Большого Взрыва. Проблема горизонта. Проблема размера. Проблема плоскостности. Ключевая идея инфляции. Первоначальная модель инфляции, хаотическая инфляция.

**5. Новые концепции в космологии.** Теория ландшафтов и мультивселенная. Антропный принцип.

**6. Физика черных дыр.** Типы наблюдаемых объектов, интерпретируемых как черные дыры. Физические эффекты вблизи черных дыр. Неаналитичность и неполнота координат Шварцшильда.

**7. Геометрия вечной черной дыры.** Координаты Крускала-Шекереса. “Геометрия в целом” и диаграммы Картера-Пенроуза. Пространство Минковского. Черная дыра.

**8. Гравитационный коллапс.** Статическая модель. Уравнение Оппенгеймера-Волкова. Коллапс безмассовой сферической оболочки.

**9. Описание систем отсчета в ОТО.** Ускорение, вращение и деформация. Система отсчета киллинговских наблюдателей. Вращение системы отсчета.

**10. Вращающаяся черная дыра.** Хронометрическая система отсчета. Горизонт и эргосфера. Система отсчета наблюдателей с нулевым угловым моментом. Извлечение энергии из черной дыры: процесс Пенроуза.

**11. Черные дыры, термодинамика и квантовая теория.** Черные дыры как термодинамические системы. Квантовое испарение черных дыр. Черные дыры и квантовая гравитация.

**12. Геометрический подход к объединению взаимодействий.** Теория Калузы-Кляйна, ее геометрическая основа. Трудности объединения гравитации и электромагнетизма.

**13. Концепция «мира на бране».** Локализация поля на доменной стенке. Масшта квантовой гравитации и размер дополнительных измерений. Модель ADD и модель Рэндалла-Сандрума. Предсказания для физики ускорителей нового поколения.

#### Практические занятия (семинары)

№ п/п	№ раздела дисциплины	Наименование практических занятий (семинаров)
<b>7-ой семестр</b>		
1	1-3	Специальная Теория Относительности
2	4-5	Основы Общей Теории Относительности
3	6-7	Основы математического аппарата ОТО
4	8-9	Геодезические
5	10-11	Уравнения гравитационного поля
6	12-13	Тензор энергии-импульса в ОТО
7	14-15	Решение де Ситтера
8	16-17	Симметрии и законы сохранения в релятивистской теории поля
9	18	Прецессия гироскопов
<b>8-ой семестр</b>		
1	1-3	Космология
2	4-5	Темная энергия и скрытая масса
3	6-7	Период инфляции
4	8-9	Черные дыры. Геометрия Шварцшильда
5	10-11	Геометрия вечной черной дыры
6	12-13	Гравитационный коллапс
7	14	Описание систем отсчета ОТО
8	15-16	Вращающаяся черная дыра
9	17-18	Черные дыры, термодинамика и квантовая теория

#### 7. Учебно-методическое обеспечение дисциплины

##### ОСНОВНАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. **Л.Д. Ландау и Е.М. Лившиц.** Теория поля (II 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
4. **А. Лайтман, В. Пресс, Р. Прайс., С. Тюкольски.** Сборник задач по общей теории относительности и гравитации. М., Мир ,1979

##### 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. **Горбунов Д.С., Рубаков В.А.** Введение в теорию ранней Вселенной. Космологические возмущения. Инфляционная теория / Горбунов Д.С., Рубаков В.А. - : Красанд, 2010