

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

ИНСТИТУТ ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ И ТЕХНОЛОГИЙ

КАФЕДРА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ И КОСМОФИЗИКИ

ОДОБРЕНО УМС ИЯФИТ

Протокол № 01/08/24-573.1

от 30.08.2024 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

ВВЕДЕНИЕ В ОБЩУЮ ТЕОРИЮ ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ

Направление подготовки  
(специальность)

[1] 14.03.02 Ядерные физика и технологии

Семестр	Трудоемкость, кред.	Общий объем курса, час.	Лекции, час.	Практич. занятия, час.	Лаборат. работы, час.	В форме практической подготовки/ В	СРС, час.	КСР, час.	Форма(ы) контроля, экз./зач./КР/КП
5	1	36	16	16	0		4	0	3
Итого	1	36	16	16	0	0	4	0	

## АННОТАЦИЯ

Релятивистская теория тяготения Эйнштейна (Общая Теория Относительности) существенно изменила представления о пространстве, времени, гравитации, происхождении и эволюции Вселенной и в настоящее время является важнейшим элементом физической картины мира. В курсе рассматриваются основные принципы и математический аппарат ОТО (тензорный анализ и риманова геометрия), обсуждаются важнейшие экспериментально проверяемые предсказания теории (замедление времени и отклонение света в гравитационном поле, прецессия перигелия планет, излучение гравитационных волн) и степень их согласия с опытом. Анализируются концептуальные сходства и различия между ОТО и классической электродинамикой. Большое внимание уделяется приложениям ОТО к астрофизике и космологии. Выводится решение Шварцшильда и обсуждаются свойства черных дыр. Рассмотрена космологическая модель Вселенной, основанная на теории «Большого взрыва». Помимо лекций, студентам предлагается набор оригинальных задач для самостоятельного решения по всем разделам курса.

### 1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Цель: ознакомление студентов с основными принципами, понятиями и методами общей теории относительности (релятивистской теории гравитации).

Задачи: освоение римановой геометрии и тензорного анализа, формулировка основных уравнений ОТО, ознакомление с ее основными экспериментально проверяемыми предсказаниями и приложениями к астрофизике и космологии, приобретение навыков самостоятельного решения задач.

### 2. МЕСТО УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП ВО

Знания, полученные при изучении данного курса, имеют важное значение для формирования у студентов современной научной картины мира, а также могут быть полезны при изучении специальной литературы, в том числе в рамках дальнейшего обучения.

### 3. ФОРМИРУЕМЫЕ КОМПЕТЕНЦИИ И ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ

Универсальные и(или) общепрофессиональные компетенции:

Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции
--------------------------------	--

Профессиональные компетенции в соответствии с задачами и объектами (областями знаний) профессиональной деятельности:

Задача профессиональной деятельности (ЗПД)	Объект или область знания	Код и наименование профессиональной компетенции; Основание (профессиональный	Код и наименование индикатора достижения профессиональной компетенции
--	---------------------------	---	---

		стандарт-ПС, анализ опыта)	
научно-исследовательский			
изучение научно-технической информации, отечественного и зарубежного опыта по направлению исследований;	элементарные частицы, атомное ядро и плазма, газообразное и конденсированное состояние вещества, лазеры и их применения, ядерные реакторы, материалы ядерных реакторов, ядерные материалы и системы обеспечения их безопасности, ускорители заряженных частиц, современная электронная схемотехника, электронные системы ядерных и физических установок, системы автоматизированного управления ядерно-физическими установками,	ПК-9.1 [1] - Способен осуществлять поиск, хранение, обработку и анализ информации из различных источников и баз данных, представлять ее в требуемом формате с использованием информационных, компьютерных и сетевых технологий;  <i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 40.011	З-ПК-9.1[1] - знать методы поиска, хранения, обработки и анализа информации из различных источников и баз данных, методы представления ее в требуемом формате с использованием информационных, компьютерных и сетевых технологий;; У-ПК-9.1[1] - уметь осуществлять поиск, хранение, обработку и анализ информации из различных источников и баз данных, представлять ее в требуемом формате с использованием информационных, компьютерных и сетевых технологий; В-ПК-9.1[1] - владеть методами поиска, хранения, обработки и анализа информации из различных источников и баз данных, методами представления ее в требуемом формате с использованием информационных, компьютерных и сетевых технологий;
проведение экспериментов по заданным методикам, обработка и анализ результатов;	элементарные частицы, атомное ядро и плазма, газообразное и конденсированное состояние вещества, лазеры и их применения, ядерные реакторы, материалы	ПК-9.2 [1] - Способен участвовать в научных исследованиях в области физики частиц и ядра, космофизике и космологии, к самостоятельному определению	З-ПК-9.2[1] - Знать методы исследования в области физики частиц и ядра, космофизике и космологии, методы определения необходимых средств

	<p>ядерных реакторов, ядерные материалы и системы обеспечения их безопасности, ускорители заряженных частиц, современная электронная схемотехника, электронные системы ядерных и физических установок, системы автоматизированного управления ядерно-физическими установками,</p>	<p>необходимых средств и к их использованию для решения поставленных задач</p> <p><i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 40.011</p>	<p>и их использования для решения поставленных задач; У-ПК-9.2[1] - Уметь применять методы исследования в области физики частиц и ядра, космофизике и космологии, уметь применять методы определения необходимых средств и их использования для решения поставленных задач; В-ПК-9.2[1] - Владеть методами исследования в области физики частиц и ядра, космофизике и космологии, и методы определения необходимых средств и их использования для решения поставленных задач</p>
<b>проектный</b>			
<p>сбор и анализ информационных источников и исходных данных для проектирования приборов и установок;</p>	<p>элементарные частицы, атомное ядро и плазма, газообразное и конденсированное состояние вещества, лазеры и их применения, ядерные реакторы, материалы ядерных реакторов, ядерные материалы и системы обеспечения их безопасности, ускорители заряженных частиц, современная электронная схемотехника, электронные системы ядерных и физических установок, системы автоматизированного управления ядерно-физическими</p>	<p>ПК-9.8 [1] - Способен проводить основные расчёты при проектировании различных детекторов и установок в области физики частиц и ядра, а также контроль их соответствия исходным требованиям с использованием средств диагностики;</p> <p><i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 40.011</p>	<p>З-ПК-9.8[1] - методы проведения расчётов при проектировании различных детекторов и установок в области физики частиц и ядра, а также методы контроля их соответствия исходным требованиям с использованием средств диагностики;; У-ПК-9.8[1] - проводить расчёты при проектировании различных детекторов и установок в области физики частиц и ядра, а также</p>

	установками,		осуществлять контроль их соответствия исходным требованиям с использованием средств диагностики;; В-ПК-9.8[1] - методами проведения расчётов при проектировании различных детекторов и установок в области физики частиц и ядра, а также методами контроля их соответствия исходным требованиям с использованием средств диагностики;
--	--------------	--	---

#### 4. ВОСПИТАТЕЛЬНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ ДИСЦИПЛИНЫ

Направления/цели воспитания	Задачи воспитания (код)	Воспитательный потенциал дисциплин
-----------------------------	-------------------------	------------------------------------

#### 5. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Разделы учебной дисциплины, их объем, сроки изучения и формы контроля:

№ п.п	Наименование раздела учебной дисциплины	Недели	Лекции/ Практи. (семинары) / Лабораторные работы, час.	Обязат. текущий контроль (форма*, неделя)	Максимальный балл за раздел**	Аттестация раздела (форма*, неделя)	Индикаторы освоения компетенции
	<i>5 Семестр</i>						
1	Часть 1	1-8	8/8/0		25	КИ-8	3-ПК-9.1, У-ПК-9.1, В-ПК-9.1, 3-ПК-9.2, У-ПК-9.2, В-ПК-9.2, 3-ПК-9.8,

							У-ПК-9.8, В-ПК-9.8
2	Часть 2	9-16	8/8/0		25	КИ-16	3-ПК-9.1, У-ПК-9.1, В-ПК-9.1, 3-ПК-9.2, У-ПК-9.2, В-ПК-9.2, 3-ПК-9.8, У-ПК-9.8, В-ПК-9.8
	<i>Итого за 5 Семестр</i>		16/16/0		50		
	<b>Контрольные мероприятия за 5 Семестр</b>				50	3	3-ПК-9.1, У-ПК-9.1, В-ПК-9.1, 3-ПК-9.2, У-ПК-9.2, В-ПК-9.2, 3-ПК-9.8, У-ПК-9.8, В-ПК-9.8

\* – сокращенное наименование формы контроля

\*\* – сумма максимальных баллов должна быть равна 100 за семестр, включая зачет и (или) экзамен

Сокращение наименований форм текущего контроля и аттестации разделов:

Обозначение	Полное наименование
КИ	Контроль по итогам
З	Зачет

### КАЛЕНДАРНЫЙ ПЛАН

Недели	Темы занятий / Содержание	Лек., час.	Пр./сем., час.	Лаб., час.
	<i>5 Семестр</i>	16	16	0
<b>1-8</b>	<b>Часть 1</b>	8	8	0
1	<b>Принцип эквивалентности</b> Историческое введение. Принцип эквивалентности. Уравнение движения частицы в гравитационном поле.	Всего аудиторных часов		
		1	1	0
		Онлайн		
		0	0	0
2	<b>Основы римановой геометрии</b> Возможность введения локально-инерциальной системы отсчета. Нормальные координаты. Основы римановой геометрии. Метрический тензор. Тензоры в римановом пространстве. Параллельный перенос.	Всего аудиторных часов		
		1	1	0
		Онлайн		
		0	0	0
3	<b>Ковариантное дифференцирование</b> Ковариантное дифференцирование. Тензор Римана. Двумерный случай.	Всего аудиторных часов		
		1	1	0
		Онлайн		
		0	0	0

4	<b>Тензор Риччи и тензор Эйнштейна</b> Тождество Бьянки. Тензор Риччи и тензор Эйнштейна. Постулаты, лежащие в основе уравнений тяготения ОТО.	Всего аудиторных часов		
		1	1	0
		Онлайн		
		0	0	0
5	<b>Уравнения Эйнштейна</b> Уравнения Эйнштейна. Переход к ньютоновскому пределу. Уравнения движения как следствие уравнений поля. Возможны ли другие теории тяготения?	Всего аудиторных часов		
		1	1	0
		Онлайн		
		0	0	0
6	<b>Решение Шварцшильда</b> Решение Шварцшильда.	Всего аудиторных часов		
		1	1	0
		Онлайн		
		0	0	0
7	<b>Свойства решения Шварцшильда</b> Свойства решения Шварцшильда. Движение частицы в поле Шварцшильда. Прецессия перигелия.	Всего аудиторных часов		
		1	1	0
		Онлайн		
		0	0	0
8	<b>Эффекты ОТО</b> Эффекты ОТО (красное смещение, искривление луча света, задержка сигнала).	Всего аудиторных часов		
		1	1	0
		Онлайн		
		0	0	0
9-16	<b>Часть 2</b>	8	8	0
9	<b>Прецессия гироскопа</b> Прецессия гироскопа и прецессия Лензе–Тирринга.	Всего аудиторных часов		
		1	1	0
		Онлайн		
		0	0	0
10	<b>Радиальное движение в поле Шварцшильда</b> Радиальное движение в поле Шварцшильда. Особенности метрики Шварцшильда. Координаты Леметра.	Всего аудиторных часов		
		1	1	0
		Онлайн		
		0	0	0
11	<b>Эволюция звезд. Черные дыры.</b> Эволюция звезд. Черные дыры.	Всего аудиторных часов		
		1	1	0
		Онлайн		
		0	0	0
12	<b>Решение Фридмана уравнений ОТО</b> Симметрические пространства. Решение Фридмана уравнений ОТО.	Всего аудиторных часов		
		1	1	0
		Онлайн		
		0	0	0
13	<b>Фридмановский сценарий эволюции Вселенной</b> Фридмановский сценарий эволюции Вселенной. Горячая модель.	Всего аудиторных часов		
		1	1	0
		Онлайн		
		0	0	0
14 - 15	<b>Нуклеосинтез в горячей модели.</b> Нуклеосинтез в горячей модели.	Всего аудиторных часов		
		2	2	0
		Онлайн		
		0	0	0
16	<b>Инфляция</b> Сверххранная Вселенная. Гипотеза инфляции. Проблема темной материи.	Всего аудиторных часов		
		1	1	0
		Онлайн		
		0	0	0

Сокращенные наименования онлайн опций:

Обозначение	Полное наименование
ЭК	Электронный курс
ПМ	Полнотекстовый материал
ПЛ	Полнотекстовые лекции
ВМ	Видео-материалы
АМ	Аудио-материалы
Прз	Презентации
Т	Тесты
ЭСМ	Электронные справочные материалы
ИС	Интерактивный сайт

## 6. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

В курсе используются традиционные образовательные технологии, включая лекции и практические занятия с разбором задач и примеров.

## 7. ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

Фонд оценочных средств по дисциплине обеспечивает проверку освоения планируемых результатов обучения (компетенций и их индикаторов) посредством мероприятий текущего, рубежного и промежуточного контроля по дисциплине.

Связь между формируемыми компетенциями и формами контроля их освоения представлена в следующей таблице:

Компетенция	Индикаторы освоения	Аттестационное мероприятие (КП 1)
ПК-9.1	З-ПК-9.1	З, КИ-8, КИ-16
	У-ПК-9.1	З, КИ-8, КИ-16
	В-ПК-9.1	З, КИ-8, КИ-16
ПК-9.2	З-ПК-9.2	З, КИ-8, КИ-16
	У-ПК-9.2	З, КИ-8, КИ-16
	В-ПК-9.2	З, КИ-8, КИ-16
ПК-9.8	З-ПК-9.8	З, КИ-8, КИ-16
	У-ПК-9.8	З, КИ-8, КИ-16
	В-ПК-9.8	З, КИ-8, КИ-16

## Шкалы оценки образовательных достижений

Шкала каждого контрольного мероприятия лежит в пределах от 0 до установленного максимального балла включительно. Итоговая аттестация по дисциплине оценивается по 100-балльной шкале и представляет собой сумму баллов, заработанных студентом при выполнении заданий в рамках текущего и промежуточного контроля.

Итоговая оценка выставляется в соответствии со следующей шкалой:

Сумма баллов	Оценка по 4-ех балльной шкале	Оценка ECTS	Требования к уровню освоению учебной дисциплины
--------------	-------------------------------	-------------	---



90-100	5 – «отлично»	A	Оценка «отлично» выставляется студенту, если он глубоко и прочно усвоил программный материал, исчерпывающе, последовательно, четко и логически стройно его излагает, умеет тесно увязывать теорию с практикой, использует в ответе материал монографической литературы.
85-89	4 – «хорошо»	B	Оценка «хорошо» выставляется студенту, если он твёрдо знает материал, грамотно и по существу излагает его, не допуская существенных неточностей в ответе на вопрос.
75-84		C	
70-74		D	
65-69	3 – «удовлетворительно»	E	Оценка «удовлетворительно» выставляется студенту, если он имеет знания только основного материала, но не усвоил его деталей, допускает неточности, недостаточно правильные формулировки, нарушения логической последовательности в изложении программного материала.
60-64			
Ниже 60	2 – «неудовлетворительно»	F	Оценка «неудовлетворительно» выставляется студенту, который не знает значительной части программного материала, допускает существенные ошибки. Как правило, оценка «неудовлетворительно» ставится студентам, которые не могут продолжить обучение без дополнительных занятий по соответствующей дисциплине.

## 8. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

### ОСНОВНАЯ ЛИТЕРАТУРА:

1. ЭИ Б88 Лекции по гравитации и космологии : учебное пособие для вузов, Рубин С.Г., Бронников К.А., Москва: МИФИ, 2008
2. ЭИ Г 82 Основные представления современной космологии : учебное пособие, Гриб А. А., Москва: Физматлит, 2008
3. ЭИ Л 84 Физическая космология : , Михеева Е. В., Лукаш В. Н., Москва: Физматлит, 2012

### ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА:

1. 52 Г67 Введение в теорию ранней Вселенной. Космологические возмущения. Инфляционная теория : , Горбунов Д.С., Рубаков В.А., Москва: КРАСАНД, 2010
2. 531 В26 Гравитация и космология : Принципы и приложения общей теории относительности, Вейнберг С., М.: Платон, 2000

3. 53 У63 Общая теория относительности : , Уолд Р.М., Москва: РУДН, 2008

4. 530.1 Б48 Приложения теории тяготения Эйнштейна к астрофизике и космологии : учебное пособие, Кобзарев И.Ю., Берков А.В., Москва: МИФИ, 1990

5. 53 Б48 Теория тяготения Эйнштейна и ее экспериментальные следствия : учебное пособие, Кобзарев И.Ю., Жижин Е.Д., Берков А.В., Москва: МИФИ, 1981

#### ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ:

Специальное программное обеспечение не требуется

#### LMS И ИНТЕРНЕТ-РЕСУРСЫ:

<https://online.mephi.ru/>

<http://library.mephi.ru/>

### **9. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**

Специальное материально-техническое обеспечение не требуется

### **10. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ СТУДЕНТОВ**

Перед началом занятий внимательно ознакомиться со списком рекомендованной литературы.

Перед посещением очередной лекции освежить в памяти основные концепции пройденного ранее материала. Подготовить при необходимости вопросы преподавателю.

В процессе изучения лекционного курса необходимо по возможности часто возвращаться к основным понятиям и методам решения задач.

Желательно использовать конспекты лекций, в которых используется принятая преподавателем система обозначений.

### **11. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ ПРЕПОДАВАТЕЛЕЙ**

Перед началом занятий внимательно ознакомиться с учебным планом проведения лекций и практических занятий.

Перед очередной лекцией освежить в памяти основные концепции данного ранее материала. Подготовить вопросы для опроса.

На лекции внимание следует уделять не только формулам и математическим выкладкам, а содержанию изучаемых вопросов, определениям и постановкам задач.

Для более подробного изложения курса следует работать с дополнительными и вновь появляющимися литературными источниками.

Автор(ы):

Высоцкий Михаил Иосифович, д.ф.-м.н., профессор

Новиков Виктор Александрович, д.ф.-м.н., с.н.с.

Рецензент(ы):

С.В. Попруженко, Н.Б. Нарожный