

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

ИНСТИТУТ ЛАЗЕРНЫХ И ПЛАЗМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

КАФЕДРА ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ

ОДОБРЕНО УМС ЛАПЛАЗ

Протокол № 1/08-577

от 29.08.2024 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

ОБЩАЯ ТЕОРИЯ ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ

Направление подготовки
(специальность)

[1] 03.03.01 Прикладные математика и физика

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
6	2	72	30	15	0		27	0	3
Итого	2	72	30	15	0	0	27	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. Зачет выставляется по результатам решения предложенных задач.

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

Предлагаемый учебно-методический комплекс предназначен для студентов НИЯУ МИФИ.

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 работы над магистерской диссертацией.

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 стандарт-ПС, анализ опыта)	Код и наименование индикатора достижения профессиональной компетенции
научно-исследовательский			
проведение научных и аналитических исследований по отдельным разделам (этапам, заданиям) темы (проекта) в рамках предметной области по профилю специализации в соответствии с утвержденными планами и методиками исследований участие в проведении наблюдений и измерений, выполнении эксперимента и обработке данных с использованием современных компьютерных технологий	природные и социальные явления и процессы, объекты техники, технологии и производства, модели, методы и средства фундаментальных и прикладных исследований и разработок в области математики, физики и других естественных и социально-экономических наук по профилям предметной деятельности в науке, технике, технологиях, а также в сферах наукоемкого производства, управления и бизнеса.	ПК-2.1 [1] - Способен применять математические методы дифференциального и интегрального исчисления, векторного и тензорного анализа, теории функции комплексного переменного, теории групп и представлений и приближенными методами вычислений. <i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 40.011	3-ПК-2.1[1] - Знать математические методы дифференциального и интегрального исчисления, векторного и тензорного анализа, теории функции комплексного переменного, теории групп и представлений и приближенными методами вычислений.; У-ПК-2.1[1] - Уметь применять в профессиональной деятельности математические методы дифференциального и интегрального исчисления, векторного и тензорного анализа, теории функции комплексного переменного, теории групп и представлений и приближенными методами вычислений.; В-ПК-2.1[1] - Владеть навыками использования в профессиональной деятельности математическими методами дифференциального и интегрального исчисления, векторного и тензорного анализа, теории функции комплексного переменного, теории групп и представлений и приближенными

			методами вычислений.
участие в обобщении полученных данных, формировании выводов, в подготовке научных и аналитических отчетов, публикаций и презентаций результатов научных и аналитических исследований участие в создании новых методов и технических средств исследований и новых разработок;	природные и социальные явления и процессы, объекты техники, технологии и производства, модели, методы и средства фундаментальных и прикладных исследований и разработок в области математики, физики и других естественных и социально-экономических наук по профилям предметной деятельности в науке, технике, технологиях, а также в сферах наукоемкого производства, управления и бизнеса.	ПК-2.4 [1] - Способен демонстрировать владение аппаратом и методологией теоретической физики, а также объем знаний, дающий целостное представление о предмете и позволяющем осуществлять профессиональную деятельность в различных разделах теоретической физики. <i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 40.011	3-ПК-2.4[1] - Знать основные методы и принципы нахождения оптимальных решений при создании продукции с учетом требований качества, стоимости, сроков исполнения, конкурентоспособности и безопасности жизнедеятельности.; У-ПК-2.4[1] - Уметь применять в профессиональной деятельности аппарат и методологию теоретической физики, применять в профессиональной деятельности объем знаний, дающий целостное представление о предмете и позволяющий осуществлять профессиональную деятельность в различных разделах теоретической физики.; В-ПК-2.4[1] - Владеть аппаратом и методологией теоретической физики, а также объемом знаний, дающем целостное представление о предмете и позволяющем осуществлять профессиональную деятельность в различных разделах теоретической физики.

4. ВОСПИТАТЕЛЬНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ ДИСЦИПЛИНЫ

Направления/цели воспитания	Задачи воспитания (код)	Воспитательный потенциал дисциплин
Профессиональное воспитание	Создание условий, обеспечивающих, формирование ответственности	Использование воспитательного потенциала дисциплин профессионального модуля для

	за профессиональный выбор, профессиональное развитие и профессиональные решения (B18)	формирования у студентов ответственности за свое профессиональное развитие посредством выбора студентами индивидуальных образовательных траекторий, организации системы общения между всеми участниками образовательного процесса, в том числе с использованием новых информационных технологий.
Профессиональное воспитание	Создание условий, обеспечивающих, формирование научного мировоззрения, культуры поиска нестандартных научно-технических/практических решений, критического отношения к исследованиям лженаучного толка (B19)	1.Использование воспитательного потенциала дисциплин/практик «Научно-исследовательская работа», «Проектная практика», «Научный семинар» для: - формирования понимания основных принципов и способов научного познания мира, развития исследовательских качеств студентов посредством их вовлечения в исследовательские проекты по областям научных исследований. 2.Использование воспитательного потенциала дисциплин "История науки и инженерии", "Критическое мышление и основы научной коммуникации", "Введение в специальность", "Научно-исследовательская работа", "Научный семинар" для: - формирования способности отделять настоящие научные исследования от лженаучных посредством проведения со студентами занятий и регулярных бесед; - формирования критического мышления, умения рассматривать различные исследования с экспертной позиции посредством обсуждения со студентами современных исследований, исторических предпосылок появления тех или иных открытий и теорий.

5. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

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

№ п.п	Наименование раздела учебной дисциплины	Недели	Лекции/ Практ. (семинары) / Лабораторные работы, час.	Обязат. текущий контроль (форма*, неделя)	Максимальный балл за раздел**	Аттестация раздела (форма*, неделя)	Индикаторы освоения компетенции
	<i>6 Семестр</i>						
1	Часть 1	1-8	16/8/0		25	КИ-8	3-ПК-2.1, У-ПК-2.1, В-ПК-2.1, 3-ПК-2.4, У-ПК-2.4, В-ПК-2.4
2	Часть 2	9-15	14/7/0		25	КИ-15	3-ПК-2.1, У-ПК-2.1, В-ПК-2.1, 3-ПК-2.4, У-ПК-2.4, В-ПК-2.4
	<i>Итого за 6 Семестр</i>		30/15/0		50		
	Контрольные мероприятия за 6 Семестр				50	3	3-ПК-2.1, У-ПК-2.1, В-ПК-2.1, 3-ПК-2.4, У-ПК-2.4, В-ПК-2.4

* – 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>6 Семестр</i>	30	15	0
1-8	Часть 1	16	8	0
1	Принцип эквивалентности Историческое введение. Принцип эквивалентности. Уравнение движения частицы в гравитационном поле.	Всего аудиторных часов		
		2	1	0
		Онлайн		
		0	0	0
2	Основы римановой геометрии	Всего аудиторных часов		

	Возможность введения локально-инерциальной системы отсчета. Нормальные координаты. Основы римановой геометрии. Метрический тензор. Тензоры в римановом пространстве. Параллельный перенос.	2	1	0
		Онлайн		
		0	0	0
3	Ковариантное дифференцирование Ковариантное дифференцирование. Тензор Римана. Двумерный случай.	Всего аудиторных часов		
		2	1	0
		Онлайн		
		0	0	0
4	Тензор Риччи и тензор Эйнштейна Тождество Бьянки. Тензор Риччи и тензор Эйнштейна. Постулаты, лежащие в основе уравнений тяготения ОТО.	Всего аудиторных часов		
		2	1	0
		Онлайн		
		0	0	0
5	Уравнения Эйнштейна Уравнения Эйнштейна. Переход к ньютоновскому пределу. Уравнения движения как следствие уравнений поля. Возможны ли другие теории тяготения?	Всего аудиторных часов		
		2	1	0
		Онлайн		
		0	0	0
6	Решение Шварцшильда Решение Шварцшильда.	Всего аудиторных часов		
		2	1	0
		Онлайн		
		0	0	0
7	Свойства решения Шварцшильда Свойства решения Шварцшильда. Движение частицы в поле Шварцшильда. Прецессия перигелия.	Всего аудиторных часов		
		2	1	0
		Онлайн		
		0	0	0
8	Эффекты ОТО Эффекты ОТО (красное смещение, искривление луча света, задержка сигнала).	Всего аудиторных часов		
		2	1	0
		Онлайн		
		0	0	0
9-15	Часть 2	14	7	0
9	Прецессия гироскопа Прецессия гироскопа и прецессия Лензе–Тирринга.	Всего аудиторных часов		
		2	1	0
		Онлайн		
		0	0	0
10	Радиальное движение в поле Шварцшильда Радиальное движение в поле Шварцшильда. Особенности метрики Шварцшильда. Координаты Леметра.	Всего аудиторных часов		
		2	1	0
		Онлайн		
		0	0	0
11	Эволюция звезд. Черные дыры. Эволюция звезд. Черные дыры.	Всего аудиторных часов		
		2	1	0
		Онлайн		
		0	0	0
12	Решение Фридмана уравнений ОТО Симметрические пространства. Решение Фридмана уравнений ОТО.	Всего аудиторных часов		
		2	1	0
		Онлайн		
		0	0	0
13	Фридмановский сценарий эволюции Вселенной Фридмановский сценарий эволюции Вселенной. Горячая модель.	Всего аудиторных часов		
		2	1	0
		Онлайн		
		0	0	0
14	Нуклеосинтез в горячей модели. Нуклеосинтез в горячей модели.	Всего аудиторных часов		
		2	1	0

15	Инфляция Сверххраня Вселенная. Гипотеза инфляции. Проблема темной материи.	Онлайн		
		0	0	0
		Всего аудиторных часов		
		2	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 и современные образовательные технологии, включая лекции с разбором задач и примеров, компьютерные презентации.

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-2.1	З-ПК-2.1	З, КИ-8, КИ-15
	У-ПК-2.1	З, КИ-8, КИ-15
	В-ПК-2.1	З, КИ-8, КИ-15
ПК-2.4	З-ПК-2.4	З, КИ-8, КИ-15
	У-ПК-2.4	З, КИ-8, КИ-15
	В-ПК-2.4	З, КИ-8, КИ-15

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 96 Основы космологии : , Гусейханов М. К., Санкт-Петербург: Лань, 2022

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

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

Методические рекомендации по освоению теоретического материала.

Для успешного изучения курса необходимо придерживаться определенной методики занятий. Основное условие успеха — систематические занятия.

Для успешного освоения теоретической части курса необходимо регулярно посещать лекции и вести конспект. После каждой лекции следует внимательно разбирать лекционный материал, причём при необходимости следует проделывать некоторые дополнительные выкладки, если такие были оставлены лектором для самостоятельной работы. Перед началом каждой лекции имеет смысл просмотреть конспект, чтобы усвоение нового материала проходило лучше, так как в большинстве случаев изложение опирается на материал, прочитанный на предыдущих занятиях.

Для полного освоения курса недостаточно изучать лишь лекционный материал. В ходе освоения курса следует читать книги, предложенные в списке литературы по курсу. Настоятельно рекомендуется также использовать литературу, обозначенную как «дополнительная», а также самостоятельно или с помощью преподавателя искать и другие источники. При работе с литературой почти бесполезно только читать предложенный материал. Следует проделывать все или хотя бы основные выкладки. Важно осознавать, что только самостоятельно проделанные выкладки приводят к пониманию материала. Все, что осталось непонятым, следует спросить у преподавателя на ближайшем занятии. Если даже целый раздел остался неясным, это не показатель ваших способностей; скорее всего вы еще не начали задавать вопросы себе и другим. А изучить теоретическую физику без вопросов: зачем?, почему?, откуда? — невозможно. То же касается и разбора лекционного материала.

Методические рекомендации для подготовки к семинарским занятиям и решению задач.

Программа курса и семестровый календарный план составлены так, что темы семинарских занятий следуют за темами лекций. И программа курса, и семестровый

календарный план доступны каждому студенту на сайте учебного управления университета. Подготовиться к очередному семинарскому занятию - это, прежде всего, проработать лекционный материал, согласно методическим рекомендациям, данным выше. Все невыясненные вопросы теории можно (и нужно) задать преподавателю в начале семинарского занятия. На семинаре, как правило, разбираются вопросы и качественные задачи, дающие возможность более глубоко постичь изучаемый раздел курса. Кроме того, на семинаре учат правильно ставить и решать задачи, анализировать решение задач. По пройденной на семинаре теме даются задачи для самостоятельного (домашнего) решения. Усвоение курса во многом зависит от осмысленного выполнения домашнего задания, вдумчивого решения большого количества задач.

При решении задач целесообразно руководствоваться следующими правилами.

Прежде всего нужно хорошо вникнуть в условие задачи, записать кратко ее условие.

Следует прикинуть, какие основные законы и уравнения и в каких приближениях следует использовать и записать их, после чего попытаться решить.

Задача должна быть сначала решена в максимально общем виде.

Получив решение в общем виде, нужно проверить, правильную ли оно имеет размерность.

Если это возможно, исследовать поведение решения в предельных случаях и изобразить характер изучаемой зависимости графически.

Если возможно, при получении того или иного результата, следует указать границы его применимости.

Решение задач принесет наибольшую пользу только в том случае, если вы решаете задачи самостоятельно. Решить задачу без помощи, без подсказки часто бывает нелегко и не всегда удается. Но даже не увенчавшиеся успехом попытки найти решение, если они предпринимались достаточно настойчиво, приносят ощутимую пользу, так как развивают мышление и укрепляют волю. Не следует бояться непривычно длинных математических выкладок, т.к. подобные «длинные» задачи приближены к реальным задачам, с которыми вы можете столкнуться в будущем в научной или другой работе.

Методические рекомендации для подготовки к контрольным и проверочным работам.

Контрольные работы проводятся для проверки качества усвоения материала и выполнения домашних заданий студентами. Они основываются строго на пройденном материале и не выходят за рамки излагаемого курса. Своевременное изучение лекционных материалов и выполнение домашних заданий гарантирует успешное выполнение контрольных и проверочных работ. При подготовке следует руководствоваться общепринятыми установками, т.е. повторить изученный материал, запомнить основные идеи, принципы и результаты курса. Не следует пытаться «вызубрить» материал, достаточно понять и запомнить логику вывода тех или иных результатов и решения задач и осознать их физический и математический смысл. При выполнении контрольной или проверочной работы необходимо записывать все основные шаги при решении задачи, не «перескакивая» к какому-то промежуточному или окончательному результату без каких-либо на то физических или математических обоснований.

Никаких особых требований к оформлению работ нет. Работа должна быть записана так, чтобы была понятна логика решения задач. Окончательный ответ необходимо выделить каким-либо способом так, чтобы проверяющему было понятно, что это и есть ответ к задаче.

11. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ ПРЕПОДАВАТЕЛЕЙ

Проведение практических занятий и выполнение самостоятельных работ

Студенты должны, используя прослушанный на лекциях материал, научиться решать задачи по курсу. Следует использовать различные приемы вовлечения студентов в творческий процесс освоения учебного материала: опрос студентов по содержанию прочитанных лекций, вызов студентов к доске для решения текущих задач, самостоятельное решение задачи со сверкой промежуточных и конечного результатов решения, показ преподавателем на доске решения типовых задач, самостоятельные работы.

Организация контроля

Контроль знаний осуществляется и путем проведения контрольных или самостоятельных работ с последующей проверкой.

На основании этих результатов выставляется внутрисеместровый зачет/экзамен.

Проведение зачетов и экзаменов

Для допуска к аттестации необходимо иметь положительные оценки по каждой теме. Во время аттестации студент получает индивидуальный билет и готовит ответы на вопросы по курсу.

Автор(ы):

Федотов Александр Михайлович, к.ф.-м.н., доцент

Рецензент(ы):

С.В. Попруженко, Н.Б. Нарожный