

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

ГРАВИТАЦИОННО-ВОЛНОВАЯ АСТРОНОМИЯ. АСТРОНОМИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ
ИССЛЕДОВАНИЯ СВОЙСТВ ТЁМНОЙ МАТЕРИИ

Направление подготовки
(специальность)

- [1] 14.03.02 Ядерные физика и технологии
[2] 22.03.01 Материаловедение и технологии материалов
[3] 14.03.01 Ядерная энергетика и теплофизика

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
7	4	144	32	32	0		44	0	Э
Итого	4	144	32	32	0	0	44	0	

АННОТАЦИЯ

Первая часть курса посвящена продолжению введения в многоканальную астрономию, знакомя студентов со сравнительно молодым её направлением - гравитационно-волновой астрономией. В этом разделе изучаются гравитационные волны, возникающие в результате движения массивных объектов во Вселенной, и они являются одним из самых загадочных и малоизученных экспериментально явлений в современной физике, хотя предсказаны в рамках ОТО на заре появления этой науки. Курс предоставляет студентам уникальную возможность ознакомиться с передовыми исследованиями и достижениями в гравитационно-волновой астрономии. В рамках курса студенты изучат основные принципы общей теории относительности и космологии, а также получат знания о происхождении и свойствах гравитационных волн. Помимо этого, лекции включают в себя изучение методов обнаружения гравитационных волн, в том числе и при помощи интерферометрических методов. В курсе будет дан обзор результатов и возможностей, построенных и перспективных гравитационно-волновых обсерваторий, а также рассмотрены актуальные темы исследований, такие как изучение слияний черных дыр и поиск новых источников гравитационных волн. Вторая часть курса посвящена другой крупной проблеме современной физики - проблеме природы «темной материи». Сегодня известно, что плотность т. н. темной материи (или скрытой массы) в несколько раз превосходит плотность обычной барионной материи и в значительной мере определяет многие астрофизические процессы во Вселенной, включая процессы в галактиках и скоплениях галактик, и наша галактика – Млечный путь – не является исключением. Но до настоящего времени природа и состав темной материи остаются неизвестными, попытки обнаружить её в прямых экспериментах или на ускорителях не увенчались успехом и пока учёные могут только установить некоторые ограничения на свойства гипотетических частиц тёмной материи. В курсе студентам будет рассказано о убедительных доказательствах присутствия дополнительной гравитации во Вселенной, дана возможность узнать о возможностях исследования её пространственного распределения и эволюции в космическом пространстве, познакомиться с проводимыми теоретическими исследованиями, прямыми и косвенными способами поиска частиц тёмной материи в экспериментах.

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Учебная дисциплина вводится с целью ознакомления студентов с основными понятиями гравитационно-волновой астрономии и астрономическими методами исследования свойств темной материи. Из данного курса студент должен получить современные теоретические представления об источниках гравитационно-волнового сигнала, методов его регистрации, а также современные представления о природе и составе темной материи. В рамках данного курса изучаются принципы работы современных детекторов гравитационно-волнового излучения и астрономические методы поиска темной материи.

Цели освоения дисциплины:

- дать студентам представления: о происхождении, свойствах и регистрации гравитационно-волнового излучения;
- дать студентам представления: об астрономических методах исследования свойств тёмной материи;
- ознакомление с современными моделями развития Вселенной во взаимосвязи с источниками гравитационно-волнового излучения и темной материи.

Задачи освоения дисциплины:

- получение современных теоретических представлений о гравитационно-волновом излучении и темной материи;
- ознакомление с основными современными экспериментальными методами исследований гравитационно-волнового излучения и темной материи;
- получение представлений о новейших результатах исследований в области гравитационно-волновой астрономии.

2. МЕСТО УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП ВО

Данная дисциплина является продолжением других дисциплин минорной программы: «Возможности и достижения современной астрономии». Знания, полученные студентами в рамках дисциплины «Гравитационно-волновая астрономия. Астрономические методы исследования свойств тёмной материи» будут необходимы для выполнения научно-исследовательской работы.

3. ФОРМИРУЕМЫЕ КОМПЕТЕНЦИИ И ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ

Универсальные и(или) общепрофессиональные компетенции:

Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции
УК-1 [1, 2, 3] – Способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач	З-УК-1 [1, 2, 3] – Знать: методики сбора и обработки информации; актуальные российские и зарубежные источники информации в сфере профессиональной деятельности; метод системного анализа У-УК-1 [1, 2, 3] – Уметь: применять методики поиска, сбора и обработки информации; осуществлять критический анализ и синтез информации, полученной из разных источников В-УК-1 [1, 2, 3] – Владеть: методами поиска, сбора и обработки, критического анализа и синтеза информации; методикой системного подхода для решения поставленных задач
УК-3 [1, 2, 3] – Способен осуществлять социальное взаимодействие и реализовывать свою роль в команде	З-УК-3 [1, 2, 3] – Знать: основные приемы и нормы социального взаимодействия; основные понятия и методы конфликтологии, технологии межличностной и групповой коммуникации в деловом взаимодействии У-УК-3 [1, 2, 3] – Уметь: устанавливать и поддерживать контакты, обеспечивающие успешную работу в коллективе; применять основные методы и нормы социального взаимодействия для реализации своей роли и взаимодействия внутри команды В-УК-3 [1, 2, 3] – Владеть: простейшими методами и приемами социального взаимодействия и работы в команде
УК-6 [1, 2, 3] – Способен	З-УК-6 [1, 2, 3] – Знать: основные приемы эффективного

управлять своим временем, выстраивать и реализовывать траекторию саморазвития на основе принципов образования в течение всей жизни	управления собственным временем; основные методики самоконтроля, саморазвития и самообразования на протяжении всей жизни У-УК-6 [1, 2, 3] – Уметь: эффективно планировать и контролировать собственное время; использовать методы саморегуляции, саморазвития и самообучения В-УК-6 [1, 2, 3] – Владеть: методами управления собственным временем; технологиями приобретения. использования и обновления социо-культурных и профессиональных знаний, умений, и навыков; методиками саморазвития и самообразования в течение всей жизни
--	--

4. ВОСПИТАТЕЛЬНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ ДИСЦИПЛИНЫ

Направления/цели воспитания	Задачи воспитания (код)	Воспитательный потенциал дисциплин
Духовно-нравственное воспитание	Создание условий, обеспечивающих, формирование этического мышления и профессиональной ответственности ученого (B2)	1. Использование воспитательного потенциала базовых гуманитарных дисциплин. 2. Разработка новых инновационных курсов гуманитарной и междисциплинарной направленности.
Духовно-нравственное воспитание	Создание условий, обеспечивающих, формирование личностно-центрированного подхода в профессиональной коммуникации, когнитивно-поведенческих и практико-ориентированных навыков, основанных на общероссийских традиционных ценностях (B3)	1. Использование воспитательного потенциала базовых гуманитарных дисциплин. 2. Разработка новых инновационных курсов гуманитарной и междисциплинарной направленности.
Профессиональное и трудовое воспитание	Создание условий, обеспечивающих, формирование глубокого понимания социальной роли профессии, позитивной и активной установки на ценности избранной специальности, ответственного отношения к профессиональной деятельности, труду (B14)	1.Использование воспитательного потенциала дисциплин естественнонаучного и общепрофессионального модуля для: - формирования позитивного отношения к профессии инженера (конструктора, технолога), понимания ее социальной значимости и роли в обществе, стремления следовать нормам профессиональной этики посредством контекстного обучения, решения практико-ориентированных ситуационных задач. - формирования устойчивого интереса к профессиональной деятельности, способности критически,

		самостоятельно мыслить, понимать значимость профессии посредством осознанного выбора тематики проектов, выполнения проектов с последующей публичной презентацией результатов, в том числе обоснованием их социальной и практической значимости; - формирования навыков командной работы, в том числе реализации различных проектных ролей (лидер, исполнитель, аналитик и пр.) посредством выполнения совместных проектов. 2.Использование воспитательного потенциала дисциплины «Экономика и управление в промышленности на основе инновационных подходов к управлению конкурентоспособностью», «Юридические основы профессиональной деятельности» для: - формирования навыков системного видения роли и значимости выбранной профессии в социально-экономических отношениях через контекстное обучение
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.
Профессиональное воспитание	Создание условий, обеспечивающих, формирование способности и стремления следовать в профессии нормам поведения, обеспечивающим нравственный характер трудовой деятельности и неслужебного поведения (B21)	1.Использование воспитательного потенциала дисциплин профессионального модуля для развития навыков коммуникации, командной работы и лидерства, творческого инженерного мышления, стремления следовать в профессиональной деятельности нормам поведения, обеспечивающим нравственный характер трудовой деятельности и неслужебного поведения, ответственности за принятые решения через подготовку групповых курсовых работ и практических заданий, решение кейсов, прохождение практик и подготовку ВКР. 2.Использование воспитательного потенциала дисциплин профессионального модуля для: - формирования производственного коллективизма в ходе совместного решения как модельных, так и практических задач, а также путем подкрепление рационально-технологических навыков взаимодействия в проектной деятельности эмоциональным эффектом успешного взаимодействия, ощущением роста общей эффективности при распределении проектных задач в соответствии с сильными компетентностными и эмоциональными свойствами членов проектной группы.

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>7 Семестр</i>						
1	Гравитационно-волновая астрономия.	1-8	16/16/0	к.р-8 (25)	25	КИ-8	З-УК-1, У-УК-1, В-УК-1, З-УК-3, У-УК-3, В-УК-3, З-УК-6, У-УК-6, В-УК-6
2	Астрономические методы исследования свойств тёмной материи.	9-16	16/16/0	к.р-16 (25)	25	КИ-16	З-УК-1, У-УК-1, В-УК-1, З-УК-3, У-УК-3, В-УК-3, З-УК-6, У-УК-6, В-УК-6
	<i>Итого за 7 Семестр</i>		32/32/0		50		
	Контрольные мероприятия за 7 Семестр				50	Э	З-УК-1, У-УК-1, В-УК-1, З-УК-3, У-УК-3, В-УК-3, З-УК-6, У-УК-6, В-УК-6

* – 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
к.р	Контрольная работа
Э	Экзамен

КАЛЕНДАРНЫЙ ПЛАН

Недели	Темы занятий / Содержание	Лек., час.	Пр./сем., час.	Лаб., час.
	<i>7 Семестр</i>	32	32	0
1-8	Гравитационно-волновая астрономия.	16	16	0
1 - 2	Введение Предсказания и обнаружения гравитационных волн. Обзор источников гравитационно-волнового излучения. Проблема двух тел и её значение для гравитационно-волновой астрономии.	Всего аудиторных часов		
		4	4	0
		Онлайн		
		0	0	0
3 - 5	Формирование и распространение гравитационных волн Линеаризованные уравнения Эйнштейна в вакууме. Калибровочные преобразования. Решение в виде плоской волны. ТТ- калибровка. Влияние гравитационной волны на систему пробных частиц. Линеаризованные уравнения Эйнштейна с материей. Энергия гравитационной волны. Возможные решения для гравитационной волны. Гравитационные волны во вращающийся двойной системе.	Всего аудиторных часов		
		6	6	0
		Онлайн		
		0	0	0
6 - 8	Регистрация гравитационных волн Способы регистрации гравитационных волн. Резонанс в массивных детекторах, проблема шума. Детекторы на световых лучах. Интерферометрия проблема шума. Оценки гравитационно-волнового сигнала от разных источников (в размерных единицах). Распознавание слабых сигналов. Гравитационно-волновые обсерватории LIGO и Virgo. Интерпретация полученных данных о наблюдениях гравитационно-волн и определения источника излучения. Перспективные гравитационно-волновые обсерватории. Наблюдения с помощью космических аппаратов.	Всего аудиторных часов		
		6	6	0
		Онлайн		
		0	0	0
9-16	Астрономические методы исследования свойств тёмной материи.	16	16	0
9	Астрономические методы исследования свойств тёмной материи. Исторический обзор Исторический обзор. Определения и возможные формы темной материи. Данные наблюдений галактик в скоплениях и звезд в галактиках. Использование теоремы о вириале для оценки массы галактик и скопления галактик.	Всего аудиторных часов		
		2	2	0
		Онлайн		
		0	0	0
10	Трёхкомпонентная модель Кривые вращения звёзд в галактиках и их трёхкомпонентная модель. Определение радиального профиля распределения тёмной материи по кривым вращения.	Всего аудиторных часов		
		2	2	0
		Онлайн		
		0	0	0
11	Классификация галактик. Темное гало галактик Классификация галактик. Галактики с доминирующей ТМ: карликовые галактики, галактики низкой поверхностной яркости, галактики-призраки.	Всего аудиторных часов		
		2	2	0
		Онлайн		
		0	0	0

	Темное гало галактик и его параметризация. Способы исследования тёмного гало. Структура и устойчивость звёздного диска. Разогретые газовые короны галактик. Е-галактики.			
12	Способы исследования тёмного гало Способы исследования тёмного гало. Карликовые галактики-спутники. Газовые и звёздные (приливные) потоки. Высокоскоростные облака. Движение звезд в гало. Убегающие и сверхбыстрые звёзды.	Всего аудиторных часов		
		2	2	0
		Онлайн		
		0	0	0
13	Результаты наблюдений темного гало Горизонтальная и вертикальная шкалы галактических дисков. Обзор результатов наблюдений темного гало и определение параметров триаксиальной аппроксимации.	Всего аудиторных часов		
		2	2	0
		Онлайн		
		0	0	0
14	Взаимодействующие галактики Взаимодействующие галактики, как источник информации о распределении тёмной материи в галактиках.	Всего аудиторных часов		
		2	2	0
		Онлайн		
		0	0	0
15	Гравитационное линзирование Общее представление о гравитационном линзировании. Примеры гравитационного линзирования по данным всеволновых наблюдений. Сильное гравитационное линзирование. Слабое гравитационное линзирование. Изучение пространственного распределения темной материи с помощью гравитационного линзирования.	Всего аудиторных часов		
		2	2	0
		Онлайн		
		0	0	0
16	Гравитационное микролинзирование Гравитационное микролинзирование. Поиск компактных массивных объектов – кандидатов на роль астрофизической тёмной материи. Перспективы поиска и исследования темной материи.	Всего аудиторных часов		
		2	2	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

Преподавание дисциплины основано на интерактивной технологии проведения практических занятий по каждой теме и контрольных работах в качестве тестирования степени усвоения материала, выборочном контроле, экзамене.

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)
УК-1	З-УК-1	Э, КИ-8, КИ-16, к.р-8, к.р-16
	У-УК-1	Э, КИ-8, КИ-16, к.р-8, к.р-16
	В-УК-1	Э, КИ-8, КИ-16, к.р-8, к.р-16
УК-3	З-УК-3	Э, КИ-8, КИ-16, к.р-8, к.р-16
	У-УК-3	Э, КИ-8, КИ-16, к.р-8, к.р-16
	В-УК-3	Э, КИ-8, КИ-16, к.р-8, к.р-16
УК-6	З-УК-6	Э, КИ-8, КИ-16, к.р-8, к.р-16
	У-УК-6	Э, КИ-8, КИ-16, к.р-8, к.р-16
	В-УК-6	Э, КИ-8, КИ-16, к.р-8, к.р-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,
60-64			

			недостаточно правильные формулировки, нарушения логической последовательности в изложении программного материала.
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:

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА:

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

Самостоятельная аудиторная и внеаудиторная работа студентов является одним из основных видов познавательной деятельности, направленной на более глубокое и разностороннее изучение материалов дисциплины. Основная часть времени, предусмотренного для самостоятельной работы студентов по дисциплине, отводится на подготовку к лекционным занятиям и итоговому контролю (зачету). Студенты должны прочитать рекомендованные преподавателем учебные и научные материалы.

Самостоятельная аудиторная работа студентов включает обязательное посещение лекций, их конспектирование в тетради. Самостоятельная внеаудиторная работа студентов включает обязательное выполнение домашних заданий, разбор лекционного материала.

Результаты выполнения самостоятельной работы проверяются и оцениваются преподавателем в ходе текущего (промежуточного, итогового) контроля в соответствии с рейтинговой системой оценки и учета успеваемости, учебным планом (расписанием занятий, зачётно-экзаменационной сессии).

11. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ ПРЕПОДАВАТЕЛЕЙ

Самостоятельная аудиторная и внеаудиторная работа студентов является одним из основных видов познавательной деятельности, направленной на более глубокое и разностороннее изучение материалов дисциплины. Основная часть времени, предусмотренного для самостоятельной работы студентов по дисциплине, отводится на подготовку к лекционным занятиям и итоговому контролю (зачету). Студенты должны прочитать рекомендованные преподавателем учебные и научные материалы.

Самостоятельная аудиторная работа студентов включает обязательное посещение лекций, их конспектирование в тетради. Самостоятельная внеаудиторная работа студентов включает обязательное выполнение домашних заданий, разбор лекционного материала.

Результаты выполнения самостоятельной работы проверяются и оцениваются преподавателем в ходе текущего (промежуточного, итогового) контроля в соответствии с рейтинговой системой оценки и учета успеваемости, учебным планом (расписанием занятий, зачётно-экзаменационной сессии).

Автор(ы):

Роденко Светлана Александровна

Майоров Андрей Георгиевич, к.ф.-м.н., доцент