

ИНСТИТУТ ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ И ТЕХНОЛОГИЙ  
КАФЕДРА ФИЗИКИ ЭЛЕМЕНТАРНЫХ ЧАСТИЦ

ОДОБРЕНО УМС ИЯФИТ

Протокол № 01/423-573.1

от 20.04.2023 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**  
**ВВЕДЕНИЕ В АСТРОФИЗИКУ И КОСМОЛОГИЮ**

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, экс./зач./КР/КП
7	2	72	16	32	0		24	0	3
Итого	2	72	16	32	0	0	24	0	

## АННОТАЦИЯ

Целями освоения учебной дисциплины – дать студентам основные представления о структуре Вселенной, физике звезд и их эволюции, астрофизике космических лучей.

### 1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Целями освоения учебной дисциплины – дать студентам основные представления о структуре Вселенной, физике звезд и их эволюции, астрофизике космических лучей.

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

Для изучения дисциплины студенты должны пройти такие спец. курсы как теория поля, квантовая механика, статистическая физика, ядерная физика. Изучение дисциплины необходимо для научной работы в рамках НИРС и дипломной работы.

### 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			
Получение новых знаний в области физики элементарных частиц и космологии, описание явлений в данной области. Участие в решении задач по физике элементарных частиц и космологии.	Элементарные частицы, детекторы элементарных частиц, ускорители элементарных частиц (Большой Адронный Коллайдер и др.), нейтрино, экзотические ядра, кварк-глюонная материя, скрытая масса и темная энергия, гравитация с многомерными обобщениями, и	ПК-3 [1] - Способен проводить физические эксперименты по заданной методике, составлять описания проводимых исследований, отчетов, анализу результатов и подготовке научных публикаций  <i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 40.011	З-ПК-3[1] - знать основные физические законы и методы обработки данных ; У-ПК-3[1] - уметь работать по заданной методике, составлять описания проводимых исследований и отчеты, подготавливать материалы для научных публикаций; В-ПК-3[1] - владеть

	КОСМОЛОГИЯ.		навыками проведения физических экспериментов по заданной методике, основами компьютерных и информационных технологий, научной терминологией
производственно-технологический			
участие в разработке способов проведения экспериментов по физике элементарных частиц; разработка методов регистрации элементарных частиц, основываясь на различных видах процессов взаимодействия элементарных частиц с веществом.	Разработка и совершенствование современных ускорительно-накопительных комплексов.	ПК-6 [1] - Способен к контролю соблюдения технологической дисциплины и обслуживания оборудования  <i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 40.011	З-ПК-6[1] - знать технические характеристики и принципы безопасного обслуживания технологического оборудования ; У-ПК-6[1] - уметь контролировать соблюдение технологической дисциплины и обслуживание оборудования; В-ПК-6[1] - владеть методами контроля, проверок и испытаний систем и навыками выявления неисправностей в работе оборудования
участие в разработке способов проведения экспериментов по физике элементарных частиц; разработка методов регистрации элементарных частиц, основываясь на различных видах процессов взаимодействия элементарных частиц с веществом.	Разработка и совершенствование современных ускорительно-накопительных комплексов.	ПК-8 [1] - Способен к оценке ядерной и радиационной безопасности и контролю за соблюдением экологической безопасности  <i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 40.011	З-ПК-8[1] - Знать методы оценки ядерной и радиационной безопасности, контроля за соблюдением экологической безопасности ; У-ПК-8[1] - Уметь оценивать ядерную и радиационную безопасность, проводить контроль за соблюдением экологической безопасности; В-ПК-8[1] - Владеть навыками оценки ядерной,

			радиационной и экологической безопасности
организационно-управленческий			
Участие в организации работы научной группы.	Работа в научной группе, отчеты и научные статьи.	ПК-11.1 [1] - Способен участвовать в научных исследованиях в области физики элементарных частиц и космологии, определять необходимые средства и к их использованию для решения поставленных задач  <i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 40.011	З-ПК-11.1[1] - Знать физику элементарных частиц и основные средства и методы исследования в данной области.; У-ПК-11.1[1] - Уметь использовать методы детектирования элементарных частиц и излучений и программные средства при решении задач в соответствующей области.; В-ПК-11.1[1] - Владеть методами исследования в области физики элементарных частиц.

#### 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>7 Семестр</i>						
1	Часть 1	1-8	8/16/0		25	СК-8	З-ПК-3, У-ПК-3, В-

							ПК-3, 3-ПК-6, У-ПК-6, В-ПК-6, 3-ПК-8, У-ПК-8, В-ПК-8, 3-ПК-11.1, У-ПК-11.1, В-ПК-11.1
2	Часть 2	9-16	8/16/0		25	КИ-16	3-ПК-3, У-ПК-3, В-ПК-3, 3-ПК-6, У-ПК-6, В-ПК-6, 3-ПК-8, У-ПК-8, В-ПК-8, 3-ПК-11.1, У-ПК-11.1, В-ПК-11.1
	<i>Итого за 7 Семестр</i>		16/32/0		50		
	<b>Контрольные мероприятия за 7 Семестр</b>				50	3	3-ПК-3, У-ПК-3,

							В-ПК-3, 3-ПК-6, У-ПК-6, В-ПК-6, 3-ПК-8, У-ПК-8, В-ПК-8, 3-ПК-11.1, У-ПК-11.1, В-ПК-11.1
--	--	--	--	--	--	--	--

\* – 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
СК	Семестровый контроль
КИ	Контроль по итогам
З	Зачет

### КАЛЕНДАРНЫЙ ПЛАН

Недели	Темы занятий / Содержание	Лек., час.	Пр./сем., час.	Лаб., час.
	<i>7 Семестр</i>	16	32	0
<b>1-8</b>	<b>Часть 1</b>	8	16	0
1 - 4	<b>Основы космологии</b> Единицы измерения в астрономии. Масштабы астрофизических объектов: звёзды, звёздные скопления, галактики и их скопления, обозримая Вселенная, войды. Характеристики межзвёздной среды, структура Галактики. Структура современной Вселенной. Расширение Вселенной. Систематическое красное смещение галактик. Закон Хаббла. Космологический принцип. Ньютоновская модель расширяющейся Вселенной, критическая плотность.	Всего аудиторных часов		
		4	8	0
		Онлайн		
		0	0	0

	Основы ОТО. Уравнения Фридмана эволюции Вселенной. Основные космологические параметры. Стадии эволюции вещества (RD, MD, тёмная энергия).			
5 - 8	<b>Основы теории образования крупномасштабной структуры Вселенной</b> Теория Джинса образования структур. Джинсовская длина и масса. Внутренние проблемы теории. Обобщение теории Джинса на случай расширяющейся Вселенной. Теория Боннора.	Всего аудиторных часов		
		4	8	0
		Онлайн		
		0	0	0
9-16	<b>Часть 2</b>	8	16	0
9 - 13	<b>Основы физики звёзд</b> Классификация звёзд. Диаграмма Герцшпрунга-Рассела. Главная последовательность. Красные гиганты, сверхгиганты. Голубые гиганты. Массы, светимости, звездный ветер. Эволюционные треки. Уравнения равновесия звезды, основные свойства. Теорема вириала для звезд. Оценка температуры и давления внутри звезды. Характерные времена эволюции звёзд: динамическое, тепловое, ядерное. Роль давления излучения внутри звезды. Эддингтоновский предел. Оценка максимальной массы звезды главной последовательности. Вырождение газа. Оценка минимальной массы звезды главной последовательности. Теория политропных шаров. Уравнение Лейна-Эмдена. Уравнение состояние вырожденного электронного газа, нерелятивистский и релятивистский случаи. Предел Чандрасекара для белых карликов. Нейтронизация вещества, нейтринное излучение, взрывы сверхновых, предел Оппенгеймера-Волкова. Термоядерные реакции. Подбарьерный переход. Фактор Гамова подбарьерного перехода. S-фактор. Скорость термоядерных реакций. Вычисление характерного времени реакции. Ядерные реакции звёзд главной последовательности: pp- и CNO-циклы. Спектры солнечных нейтрино. Стандартная солнечная модель. Особенности эволюции двойных систем. Точки Лагранжа. Полость Роша. Обмен вещества. Вспышки новых. Элементы теории аккреции вещества. Случаи сферически-симметричной (задача Бонди), цилиндрической, дисковой аккреции. Аккреция на нейтронные звезды (радиопульсар, пропеллер, акретор и барстер, георотатор) и чёрные дыры (рентгеновское излучение).	Всего аудиторных часов		
		5	10	0
		Онлайн		
		0	0	0
14 - 16	<b>Основные сведения о космических лучах</b> Основные понятия, интенсивность, состав, общая картина спектров (протонно-ядерная компонента, электроны, позитроны, гамма, антипротоны), «колено», «лодыжка». Классификация КЛ по происхождению (первичные и вторичные лучи, галактические и внегалактические, атмосферные и альbedo). Наблюдения КЛ. Основные эксперименты. Классификация по	Всего аудиторных часов		
		3	6	0
		Онлайн		
		0	0	0

	<p>происхождению и типу источников: дискретное и рассеянное, распады пи0, «обратный Комптон», неразрешенные источники, изотропная компонента. Данные наблюдений. Зависимость интенсивности от плотности источников.</p> <p>Основные источники (первичное ускорение). Распространение заряженных КЛ: диффузия в магн. полях, вторичное ускорение (механизмы Ферми), потери энергии (на фотонах среды, синхротрон, ионизацию), расчетные модели рас-пространения в Галактике (leaky box, более точные уравнения переноса, программы расчета), Солнечные модуляции (модель силового поля, модель с учетом знака заряда). Данные о позитронах, антипротонах. Основные сведения, установки, данные, проблемы. Проблемы распространения для протонов (предел ГЗК), фотонов, электронов. Методы определения сорта первичной частицы по анализу ШАЛ, существующие результаты. Модели top-down, down-up и ограничения на них.</p>			
--	--	--	--	--

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

#### ТЕМЫ ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЙ

Недели	Темы занятий / Содержание
	<i>7 Семестр</i>
1 - 4	<p><b>Расширяющаяся Вселенная</b>            Основы ОТО. Уравнения Фридмана эволюции Вселенной. Основные космологические параметры. Стадии эволюции вещества (RD, MD, тёмная энергия).</p>
4 - 8	<p><b>Основы теории образования крупномасштабной структуры Вселенной</b>            Теория Джинса образования структур. Джинсовская длина и масса. Внутренние проблемы теории. Обобщение теории Джинса на случай расширяющейся Вселенной. Теория Боннора.</p>
9 - 12	<p><b>Основы физики звёзд</b>            Уравнения равновесия звезды, основные свойства. Теорема вириала для звезд. Оценка температуры и давления внутри звезды. Характерные времена эволюции</p>



	<p>звёзд: динамическое, тепловое, ядерное.  Роль давления излучения внутри звезды. Эддингтоновский предел. Оценка максимальной массы звезды главной последовательности.  Вырождение газа. Оценка минимальной массы звезды главной последовательности.  Теория политропных шаров. Уравнение Лейна-Эмдена. Уравнение состояние вырожденного электронного газа, нерелятивистский и релятивистский случаи. Предел Чандрасекара для белых карликов.  Нейтронизация вещества, нейтринное излучение, взрывы сверхновых, предел Оппенгеймера-Волкова.  Термоядерные реакции. Подбарьерный переход. Фактор Гамова подбарьерного перехода. S-фактор. Скорость термоядерных реакций. Вычисление характерного времени реакции.  Особенности эволюции двойных систем. Точки Лагранжа. Полость Роша. Обмен вещества. Вспышки новых.  Элементы теории аккреции вещества. Случаи сферически-симметричной (задача Бонди), цилиндрической, дисковой аккреции. Аккреция на нейтронные звезды (радиопульсар, пропеллер, акретор и барстер, георотатор) и чёрные дыры (рентгеновское излучение).</p>
13 - 16	<p><b>Основные сведения о космических лучах</b>  Основные понятия, интенсивность, состав, общая картина спектров (протонно-ядерная компонента, электроны, позитроны, гамма, антипротоны), «коллено», «лодыжка».  Классификация КЛ по происхождению (первичные и вторичные лучи, галактические и внегалактические, атмосферные и альbedo). Наблюдения КЛ.  Основные эксперименты. Классификация по происхождению и типу источников: дискретное и рассеянное, распады пи0, «обратный Комптон», неразрешенные источники, изотропная компонента.  Данные наблюдений. Зависимость интенсивности от плотности источников.  Основные источники (первичное ускорение).  Распространение заряженных КЛ: диффузия в магн. полях, вторичное ускорение (механизмы Ферми), потери энергии (на фотонах среды, синхротрон, ионизацию), расчетные модели рас-пространения в Галактике (leaky box, более точные уравнения переноса, программы расчета),  Солнечные модуляции (модель силового поля, модель с учетом знака заряда). Данные о позитронах, антипротонах.  Основные сведения, установки, данные, проблемы.  Проблемы распространения для протонов (предел ГЗК), фотонов, электронов. Методы определение сорта первичной частицы по анализу ШАЛ, существующие результаты. Модели top-down, down-up и ограничения на них.</p>

## 6. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Занятия проводятся в интерактивной форме. Даже во время лекции лектор постоянно обращается к аудитории с вопросами как на знание пройденного материала, так и озадачивающими студентов поднимаемой проблемой в рамках обсуждаемой темы.

На семинарах решаются задачи и даются на дом, которые разбираются на след. семинаре.

## 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-11.1	З-ПК-11.1	З, СК-8, КИ-16
	У-ПК-11.1	З, СК-8, КИ-16
	В-ПК-11.1	З, СК-8, КИ-16
ПК-3	З-ПК-3	З, СК-8, КИ-16
	У-ПК-3	З, СК-8, КИ-16
	В-ПК-3	З, СК-8, КИ-16
ПК-6	З-ПК-6	З, СК-8, КИ-16
	У-ПК-6	З, СК-8, КИ-16
	В-ПК-6	З, СК-8, КИ-16
ПК-8	З-ПК-8	З, СК-8, КИ-16
	У-ПК-8	З, СК-8, КИ-16
	В-ПК-8	З, СК-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»	В	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		С	
70-74		Д	
65-69	3 – «удовлетворительно»	Е	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»	Ф	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 Р 82 Актуальные вопросы космологии : Серия "Высшая школа физики", Москва: МЭИ, 2017
2. ЭИ Б 53 Гравитация и астрофизика : учебное пособие, Москва: Физматлит, 2009
3. ЭИ Л 84 Физическая космология : , Москва: Физматлит, 2012
4. 539.1 Е60 Лекции по основам электрослабой модели и новой физике : учебное пособие для вузов, В. М. Емельянов, К. М. Белоцкий, Москва: МИФИ, 2007
5. ЭИ Е60 Лекции по основам электрослабой модели и новой физике : учебное пособие для вузов, В. М. Емельянов, К. М. Белоцкий, Москва: МИФИ, 2007
6. ЭИ Б88 Лекции по гравитации и космологии : учебное пособие для вузов, К. А. Бронников, С. Г. Рубин, Москва: МИФИ, 2008

### ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА:

1. ЭИ А89 Astrophysics of Black Holes : From Fundamental Aspects to Latest Developments, Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2016

2. ЭИ S81 Star Formation in Galaxy Evolution: Connecting Numerical Models to Reality : Saas-Fee Advanced Course 43. Swiss Society for Astrophysics and Astronomy, Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2016
3. 52 Г67 Введение в теорию ранней Вселенной : теория горячего Большого взрыва , Москва: ЛКИ, 2012
4. 52 Ф57 Гравитация, астрофизика, космология : дополнительные главы курса общей физики, Москва: Либроком, 2017
5. ЭИ П 18 Радиогалактики и космология : , Москва: Физматлит, 2009
6. 52 З-36 Общая астрофизика : учеб. пособие для вузов, А. В. Засов, К. А. Постнов, Фрязино: Век 2, 2006
7. 52 Б65 Релятивистская астрофизика и физическая космология : , Г. С. Бисноватый-Коган, Москва: КРАСАНД, 2011
8. 52 Г67 Введение в теорию ранней Вселенной : теория горячего Большого взрыва, Д. С. Горбунов, В. А. Рубаков, Москва: ЛКИ, 2008
9. 52 Г67 Введение в теорию ранней Вселенной. Космологические возмущения. Инфляционная теория : , Д. С. Горбунов, В. А. Рубаков, Москва: КРАСАНД, 2010

#### ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ:

Специальное программное обеспечение не требуется

#### LMS И ИНТЕРНЕТ-РЕСУРСЫ:

1. Ядерная физика МГУ (<http://nuclphys.sinp.msu.ru/>)

2. arXiv (<http://arxiv.org/>)

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

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

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

1. Лекционная аудитория ()

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

Важно присутствовать на каждой лекции и вести конспект, поскольку материал основан на ряде учебников и обзорных статей, а не каком-то одном источнике. Рекомендуется записывать важные моменты, отмечаемые лектором словами, даже если таковые показались очевидными. На протяжении каждой лекции преподаватель может задавать вопросы. Активность студента в виде ответов на вопросы, а также в виде интересных вопросов преподавателю будет учитываться при итоговой отчётности.

В течение семестра студентам предлагается довести ряд вычислений, проводимых на лекциях, до конца самостоятельно, выполнение таких заданий является обязательным и помогает глубже понять суть изучаемого предмета, а также используемых в нём подходов.

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

Для лучшего усвоения материала студентами каждую лекцию следует начинать с напоминания предыдущей лекции (можно в виде вопросов) и пояснения ее связи с предстоящей. Также завершать лекцию следует подведением ее краткого итога с указанием темы следующей лекции и её связи с прошедшей.

На протяжении лекции полезно поддерживать интерактивность между лектором и студентами в виде вопросов в аудитории. Важно задавать вопросы на знание материала из прошедших лекций или других курсов по мере обращения к нему или по крайней мере проговаривать их связь. Это позволяет студентам почувствовать связь между различными областями знания и сформировать более полную картину мира. Также важно постоянно задавать вопросы, озадачивающие студентов поднимаемой проблемой в рамках обсуждаемой темы (даже если она совсем частного характера), стимулируя внимание и творческое участие студента в ходе рассуждений лектора.

Важно разъяснять происхождение вводимых терминов (белые карлики, темная энергия, термодинамическое время, Урка-процесс,...). Особенно это важно в случаях, когда прямое толкование неуместно или устарело (и даже сбивает с толку) (например, рекомбинация в космологии, ..).

Автор(ы):

Кириллов Александр Александрович

Белоцкий Константин Михайлович, к.ф.-м.н.