

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 ФИЗИКИ ЭЛЕМЕНТАРНЫХ ЧАСТИЦ

ОДОБРЕНО УМС ИЯФИТ

Протокол № 01/08/24-573.1

от 30.08.2024 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

ВВЕДЕНИЕ В КОСМОЛОГИЮ И АСТРОФИЗИКУ (INTRODUCTION TO COSMOLOGY AND  
ASTROPHYSICS)

Направление подготовки  
(специальность)

[1] 14.04.02 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
2	4	144	30	30	0		48	0	Э
Итого	4	144	30	30	0	30	48	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

Студенты должны пройти курсы, необходимые для начала изучения дисциплины, квантовую механику, ядерную физику и др. Также, изучение данного курса 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			
проведение научных исследований поставленных проблем; формулировка новых задач, возникающих в ходе научных исследований; работа с научной литературой с использованием новых информационных технологий, слежение за научной	элементарные частицы, космические лучи, ускорительные эксперименты, астрофизика, математические модели для теоретического и экспериментального исследований явлений и закономерностей в области физики высоких энергий, космических лучей, ускорительных	ПК-4 [1] - Способен самостоятельно выполнять экспериментальные и теоретические исследования для решения научных и производственных задач  <i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 40.011	З-ПК-4[1] - Знать: цели и задачи проводимых исследований; основные методы и средства проведения экспериментальных и теоретических исследований; методы и средства математической обработки результатов экспериментальных данных ;

периодикой; разработка методов и приборов для регистрации ионизирующих и электромагнитных излучений; выбор технических средств, подготовка оборудования, работа на экспериментальных физических установках; выбор необходимых методов исследования; анализ получаемой физической информации с использованием современной вычислительной техники	экспериментов, астрофизики		У-ПК-4[1] - Уметь: применять методы проведения экспериментов; использовать математические методы обработки результатов исследований и их обобщения; оформлять результаты научно-исследовательских работ; В-ПК-4[1] - Владеть: навыками самостоятельного выполнения экспериментальных и теоретических исследования для решения научных и производственных задач
--	----------------------------	--	---

#### 4. 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>2 Семестр</i>						
1	Часть 1	1-8	16/16/0		25	КИ-8	З-ПК-4, У-ПК-4, В-ПК-4
2	Часть 2	9-15	14/14/0		25	КИ-15	З-ПК-4, У-ПК-4, В-ПК-4
	<i>Итого за 2 Семестр</i>		30/30/0		50		
	<b>Контрольные мероприятия за 2 Семестр</b>				50	Э	З-ПК-4, У-ПК-4, В-ПК-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
Э	Экзамен

## КАЛЕНДАРНЫЙ ПЛАН

Недели	Темы занятий / Содержание	Лек., час.	Пр./сем., час.	Лаб., час.
	<i>2 Семестр</i>	30	30	0
<b>1-8</b>	<b>Часть 1</b>	16	16	0
1	<b>Структура современной Вселенной</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.	Всего аудиторных часов		
		2	2	0
		Онлайн		
		0	0	0
2 - 3	<b>Расширяющаяся Вселенная</b> Систематическое красное смещение галактик. Закон Хаббла. Космологический принцип. Ньютоновская модель расширяющейся Вселенной, критическая плотность. Основы ОТО. Уравнения Фридмана эволюции Вселенной. Основные космологические параметры. Стадии эволюции вещества (RD, MD, темная энергия).	Всего аудиторных часов		
		4	4	0
		Онлайн		
		0	0	0
4 - 6	<b>Основы теории образования крупномасштабной структуры Вселенной</b> Теория Джинса. Джинсовская длина и масса. Внутренние проблемы теории. Обобщение теории Джинса на случай расширяющейся Вселенной. Теория Боннора	Всего аудиторных часов		
		6	6	0
		Онлайн		
		0	0	0
7	<b>Классификация звезд</b> Диаграмма Герцшпрунга-Рассела. Главная последовательность. Красные гиганты, сверхгиганты. Голубые гиганты. Массы, светимости, звездный ветер. Эволюционные треки.	Всего аудиторных часов		
		2	2	0
		Онлайн		
		0	0	0
8	<b>Основы физики внутреннего строения звезд</b> Теория политропных шаров. Уравнения Эмдена. Уравнения равновесия звезды, основные свойства их решения. Энтальпия, теорема вириала для звезд. Более точные уравнения, учет переноса энергии. Характерные времена эволюции звёзд: динамическое, тепловое, ядерное. Эддингтоновский предел.	Всего аудиторных часов		
		2	2	0
		Онлайн		
		0	0	0
<b>9-15</b>	<b>Часть 2</b>	14	14	0
9 - 10	<b>Ядерные циклы, нейтринное излучение звезд</b> Скорость термоядерных реакций, фактор Гамова подбарьерного перехода, S-фактор. Вычисление характерного времени реакции. Ядерные реакции звёзд главной последовательности: pp- и CNO-циклы. Спектры солнечных нейтрино. Стандартная	Всего аудиторных часов		
		4	4	0
		Онлайн		
		0	0	0

	солнечная модель.			
11	<b>Релятивистские звезды</b> Уравнение состояние вырожденного электронного газа, нерелятивистский и релятивистский случаи. Предел Чандрасекара для белых карликов. Нейтронизация вещества, нейтринное излучение, взрывы сверхновых, предел Оппенгеймера-Волкова.	Всего аудиторных часов		
		2	2	0
		Онлайн		
		0	0	0
12	<b>Особенности эволюции двойных систем</b> Точки Лагранжа. Полость Роша. Обмен вещества. Вспышки новых.	Всего аудиторных часов		
		2	2	0
		Онлайн		
		0	0	0
12 - 13	<b>Аккреция</b> Элементы теории аккреции вещества. Случаи сферически-симметричной (задача Бонди), цилиндрической, дисковой аккреции. Аккреция на нейтронные звезды (радиопульсар, пропеллер, аккректор и барстер, георотатор) и черные дыры (рентгеновское излучение).	Всего аудиторных часов		
		2	2	0
		Онлайн		
		0	0	0
13 - 14	<b>Основные сведения о космических лучах (КЛ)</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 альбедо). Наблюдения КЛ. Основные эксперименты. Классификация по происхождению и типу источников: дискретное и рассеянное, распады $\pi^0$ , «обратный Комптон», неразрешенные источники, изотропная компонента. Данные наблюдений. Зависимость интенсивности от плотности источников.	Всего аудиторных часов		
		2	2	0
		Онлайн		
		0	0	0
15	<b>Основные источники КЛ</b> 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.	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

## ТЕМЫ ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЙ

Недели	Темы занятий / Содержание
	<i>2 Семестр</i>
2 - 3	<b>Расширяющаяся Вселенная</b> Систематическое красное смещение галактик. Закон Хаббла. Космологический принцип. Ньютоновская модель расширяющейся Вселенной, критическая плотность. Уравнения Фридмана эволюции Вселенной. Основные космологические параметры. Стадии эволюции вещества (RD, MD, темная энергия).
4 - 8	<b>Основы физики внутреннего строения звезд</b> Приближенные уравнения равновесия звезды, основные свойства их решения. Энтальпия, теорема вириала для звезд. Более точные уравнения, учет переноса энергии. Характерные времена эволюции звёзд: динамическое, тепловое, ядерное.
9 - 12	<b>Ядерные циклы, нейтринное излучение звезд</b> Скорость реакций под барьером, фактор Гамова, S-фактор. Ядерные реакции звёзд главной последовательности: pp-цикл, CNO-цикл. Спектр солнечных нейтрино. Основные эксперименты по измерению потока солнечных нейтрино и их результаты (Хоумстейк, (Super-)Kamiokande, SAGE, Gallex, SNO, Borexino, ...).
13 - 16	<b>Основные сведения о космических лучах (КЛ)</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 альбедо). 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 определения сорта первичной частицы по анализу ШАЛ, существующие рез-ты. Модели top-down, down-up и ограничения на них.

## ТЕМЫ СЕМИНАРОВ

Недели	Темы занятий / Содержание
	<i>2 Семестр</i>
1 - 3	<b>Расширяющаяся Вселенная</b> Систематическое красное смещение галактик. Закон Хаббла. Космологический принцип. Ньютоновская модель расширяющейся Вселенной, критическая плотность.

	Уравнения Фридмана эволюции Вселенной. Основные космологические параметры. Стадии эволюции вещества (RD, MD, темная энергия).
4 - 8	<b>Основы физики внутреннего строения звезд</b> Приближенные уравнения равновесия звезды, основные свойства их решения. Энтальпия, теорема вириала для звезд. Более точные уравнения, учет переноса энергии. Характерные времена эволюции звёзд: динамическое, тепловое, ядерное.
9 - 12	<b>Ядерные циклы, нейтринное излучение звезд</b> Скорость реакций под барьером, фактор Гамова, S-фактор. Ядерные реакции звёзд главной последовательности: pp-цикл, CNO-цикл. Спектр солнечных нейтрино. Основные эксперименты по измерению потока солнечных нейтрино и их результаты (Хоумстейк, (Super-)Kamiokande, SAGE, Gallex, SNO, Borexino, ...).
13 - 16	<b>Основные сведения о космических лучах (КЛ)</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 альбедо). 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 определения сорта первичной частицы по анализу ШАЛ, существующие рез-ты. Модели top-down, down-up и ограничения на них.

## 5. 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.

## 6. 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-4	З-ПК-4	Э, КИ-8, КИ-15

	У-ПК-4	Э, КИ-8, КИ-15
	В-ПК-4	Э, 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.

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

### ОСНОВНАЯ 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, Glover, Simon C. O. [и др.], Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2016
3. ЭИ Б88 Лекции по гравитации и космологии : учебное пособие для вузов, Рубин С.Г., Бронников К.А., Москва: МИФИ, 2008
4. ЭИ Е60 Лекции по основам электрослабой модели и новой физике : учебное пособие для вузов, Емельянов В.М., Белоцкий К.М., Москва: МИФИ, 2007
5. 539.1 Е60 Лекции по основам электрослабой модели и новой физике : учебное пособие для вузов, Емельянов В.М., Белоцкий К.М., Москва: МИФИ, 2007
6. ЭИ Б 53 Осесимметричные стационарные течения в астрофизике : учебное пособие, Бескин В. С., Москва: Физматлит, 2005
7. ЭИ П 18 Радиогалактики и космология : учебное пособие, Парийский Ю. Н., Москва: Физматлит, 2009
8. ЭИ Л 84 Физическая космология : , Михеева Е. В., Лукаш В. Н., Москва: Физматлит, 2012

#### ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА:

1. 52 Б53 Гравитация и астрофизика : , Бескин В.С., Москва: Физматлит, 2009
2. 52 Ф57 Гравитация, астрофизика, космология : дополнительные главы курса общей физики, Евдокимов В.С., Фильченков М.Л., Копылов С.В., Москва: Либроком, 2017
3. 52 Б88 Лекции по гравитации и космологии : учебное пособие для вузов, Рубин С.Г., Бронников К.А., Москва: МИФИ, 2008
4. 52 З-36 Общая астрофизика : учеб. пособие для вузов, Засов А.В., Постнов К.А., Фрязино: Век 2, 2006

#### 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/>

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

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

Лекции читаются в аудитории. Несмотря на то, что материалы всех лекций доступны в электронном виде, важно присутствовать на каждой лекции и вести конспект. 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 проставлении оценки за экзамен.

В течение семестра студенты решают задачи и готовят темы. Их примеры приведены в «Заданиях для самостоятельной работы». Их выполнение является обязательным в рамках изучения курса и для получения экзамена. По темам могут делаться в виде доклада, в течение которого задаются вопросы преподавателя и слушающих студентов. Для подготовки тем рекомендуется использовать как библиотечные ресурсы МИФИ и кафедры (списки доступной литературы приведены соответственно в календарном плане и в дополнительных учебно-методических материалах по данному курсу), так и любые другие, включая интернет.

## **10. 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 ее связи с прошедшей.

На протяжении лекции полезно поддерживать интерактивность между лектором и студентами в виде вопросов в аудиторию. Важно задавать вопросы на знание материала из прошедших лекций или других курсов по мере обращения к нему или по крайней мере проговаривать их связь. Этим самым студенты могут почувствовать связь между различными знаниями и их востребованность. 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, ..).

В течение семестра выдаются задачи и темы для подготовки дома, чтобы потом разобрать на семинаре. Примеры задач и тем приведены в «заданиях для самостоятельной работы». Их решение разбирается на нескольких последних занятиях.

По содержанию курса можно рекомендовать литературу, имеющуюся в библиотеке МИФИ:

1.\* 523

350 Зельдович Я.Б., Новиков И.Д.. Релятивистская астрофизика. М: Наука, 1967.

2. 52

350 Зельдович Я.Б., Хлопов М.Ю.. Астрофизика и элементарные частицы. Конспект лекций, МИФИ, 1984.

3.\* 52

350 Зельдович Я.Б., Новиков И.Д.. Теория тяготения и эволюция звезд. М.: Наука, 1971.

\* Книга находится в читальном зале

а также на кафедре 40:

1) Я.Б. Зельдович, М.Ю. Хлопов, «Астрофизика и элементарные частицы», Москва: МИФИ – 1984.

2) М.Ю. Хлопов, «Основы космофизики», Москва: УРСС – 2004 [более 10 экз.]

3) К.А. Бронников, С.Г. Рубин, «Лекции по гравитации и космологии», Москва: МИФИ – 2008. [много экз.]

4) М.Ю.Хлопов, Космофизика, Москва: УРСС – 2003.

5) Ю.С. Лютоостанский и др., «Определение возраста галактики методом уран-ториевых изотопных соотношений», Москва: МИФИ – 1986.

6) Б. Росси, К. Грейзен, «Взаимодействие космических лучей с веществом», Москва: И.Л. – 1948.

7) Сборник “Elementary particle physics. Present and future”, World Scientific P. – 1995.

8) Сборник, «Элементарные частицы и ядерные процессы в ближнем космосе и астрофизических объектах», Москва: Энергоатомиздат – 1989.

9) Сборник, «Элементарные частицы и космические лучи», Москва: Атомиздат – 1980. [2 экз.]

10) Сборник, «Элементарные частицы и космическое излучение», Москва: Энергоатомиздат – 1982.

11) А.С. Компанеев, «Тяготение, кванты и ударные волны», Москва: Знание – 1968.

Автор(ы):

Кириллов Александр Александрович

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