

ИНСТИТУТ ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ И ТЕХНОЛОГИЙ
КАФЕДРА ФИЗИКИ ЭЛЕМЕНТАРНЫХ ЧАСТИЦ

ОДОБРЕНО УМС ИЯФИТ

Протокол № 01/0821-573.1

от 31.08.2021 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

ВВЕДЕНИЕ В КОСМОМИКРОФИЗИКУ: ПРОДВИНУТЫЙ УРОВЕНЬ

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, экс./зач./КР/КП
2	4	144	30	30	0		48	0	Э
Итого	4	144	30	30	0	30	48	0	

АННОТАЦИЯ

В курсе излагаются проблемы современной физики частиц, известные пути их решения и возможности проверки последних в лабораторных условиях. Целью курса является развитие понимания у студентов основ космологии, необходимости введения космологической инфляции, скрытой массы, бариосинтеза, а также методов проверки новой физики, новых космологических представлений на основе данных астрономических наблюдений и физических экспериментов.

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

В курсе излагаются проблемы современной физики частиц, известные пути их решения и возможности проверки последних в лабораторных условиях. Целью курса является развитие понимания у студентов основ космологии, необходимости введения космологической инфляции, скрытой массы, бариосинтеза, а также методов проверки новой физики, новых космологических представлений на основе данных астрономических наблюдений и физических экспериментов.

2. МЕСТО УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП ВО

Дисциплина относится к курсу по выбору профессионального цикла (М2.ДВ2). Поставлена на 4-й семестр для групп 11-й кафедры и на 2-й для всех остальных кафедр. К данному времени студенты уже пройдут спец. курсы необходимые для начала изучения «Космомикрофизики»: «Введение в космомикрофизику», «Квантовую механику», «Фундаментальные взаимодействия», «физику элементарных частиц», «Теоретическую астрофизику» и др. Также изучение данного курса необходимо для научной работы в рамках НИРС и, главное, в рамках работы над дипломом.

3. ФОРМИРУЕМЫЕ КОМПЕТЕНЦИИ И ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ

Универсальные и(или) общепрофессиональные компетенции:

Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции
ОПК-1 [1] – Способен формулировать цели и задачи исследования, выбирать критерии оценки, выявлять приоритеты решения задач	З-ОПК-1 [1] – знать: цели и задачи научных исследований по направлению деятельности, базовые принципы и методы их организации; основные источники научной информации и требования к представлению информационных материалов У-ОПК-1 [1] – уметь: составлять общий план работы по заданной теме, предлагать методы исследования и способы обработки результатов, проводить исследования по согласованному с руководителем плану, представлять полученные результаты В-ОПК-1 [1] – владеть: систематическими знаниями по направлению деятельности; углубленными знаниями по

	выбранной направленности подготовки, базовыми навыками проведения научно- исследовательских работ по предложенной теме.
ОПК-2 [1] – Способен применять современные методы исследования, оценивать и представлять результаты выполненной работы	З-ОПК-2 [1] – Знать: современные методы исследования, оценивать и представлять результаты выполненной работы; У-ОПК-2 [1] – Уметь: применять современные методы исследования, оценивать и представлять результаты выполненной работы В-ОПК-2 [1] – Владеть: навыками применения современных методов исследования, оценивать и представлять результаты выполненной работы

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 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	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 экспериментов, астрофизики	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 ; У-ПК-4[1] - Уметь: применять методы проведения экспериментов; использовать математические методы обработки результатов исследований и их обобщения; оформлять результаты научно-исследовательских

использованием современной вычислительной техники			работ; В-ПК-4[1] - Владеть: навыками самостоятельного выполнения экспериментальных и теоретических исследования для решения научных и производственных задач
проектный			
<p>формирование целей проекта (программы), задач, критериев и показателей достижения целей, построение структуры их взаимосвязей, выявление приоритетов решения задач с учетом всех аспектов деятельности; разработка обобщенных вариантов решения проблемы, анализ этих вариантов, прогнозирование последствий, нахождение компромиссных решений в условиях многокритериальности, неопределенности, планирование реализации проекта, использование информационных технологий при разработке новых установок, материалов и изделий; разработка проектов технических условий, стандартов и технических описаний новых установок, материалов и изделий</p>	<p>современная электронная схемотехника, электронные системы ядерных и физических установок, системы автоматизированного управления ядерно-физическими установками, разработка и технологии применения приборов и установок для проведения исследований, разработка ядерно-физических установок, обеспечение ядерной и радиационной безопасности, систем контроля и автоматизированного управления ядерно-физическими установками, экологический мониторинг окружающей среды, обеспечение безопасности ядерных объектов</p>	<p>ПК-5 [1] - Способен проводить расчет и проектирование физических установок и приборов с использованием современных информационных технологий</p> <p><i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 40.008</p>	<p>З-ПК-5[1] - Знать основные физические законы и стандартные прикладные пакеты используемые при моделировании физических процессов и установок ; У-ПК-5[1] - Уметь применять стандартные прикладные пакеты используемые при моделировании физических процессов и установок; В-ПК-5[1] - Владеть стандартными прикладными пакетами используемыми при моделировании физических процессов и установок</p>

4. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

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

№ п.п	Наименование раздела учебной дисциплины	Недели	Лекции/ Практик. (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	Раздел 1	1-8	16/16/0		15	КИ-8	З-ОПК-1, У-ОПК-1, В-ОПК-1, 3-ОПК-2, У-ОПК-2, В-ОПК-2, 3-ПК-4, У-ПК-4, В-ПК-4, 3-ПК-5, У-ПК-5, В-ПК-5
2	Раздел 2	9-15	14/14/0		35	Реф-15	З-ОПК-1, У-ОПК-1, В-ОПК-1, 3-ОПК-2, У-

							ОПК-2, В-ОПК-2, 3-ПК-4, У-ПК-4, В-ПК-4, 3-ПК-5, У-ПК-5, В-ПК-5
	<i>Итого за 2 Семестр</i>		30/30/0		50		
	Контрольные мероприятия за 2 Семестр				50	Э	3-ОПК-1, У-ОПК-1, В-ОПК-1, 3-ОПК-2, У-ОПК-2, В-ОПК-2, 3-ПК-4, У-ПК-4, В-ПК-4, 3-ПК-5, У-ПК-5, В-ПК-5

* – 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
Реф	Реферат
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
1-8	Раздел 1	16	16	0
1 - 2	Модель горизонтального объединения Горизонтальное объединение как феноменология «теории всего». Космомикрофизическое исследование модели. Нестабильная скрытая масса.	Всего аудиторных часов		
		4	4	
		Онлайн		
3 - 5	Дополнительные наблюдательные астрофизические свидетельства возможной новой физики Космическое гамма-излучение, космические позитроны, антипротоны и антиядра. Космические лучи сверхвысоких энергий. Гамма-всплески.	Всего аудиторных часов		
		6	6	
		Онлайн		
6 - 8	Поиски скрытой массы - 1 Особенности распределения плотности холодной скрытой массы, сравнение предсказаний с наблюдениями. Прямые поиски WIMP (Weakly Interacting Massive Particle) в подземных и надземных экспериментах, поиски эффектов аннигиляции в Галактике, накопление WIMP в Земле, Солнце и Солнечной системе с последующей аннигиляцией.	Всего аудиторных часов		
		6	6	
		Онлайн		
9-15	Раздел 2	14	14	0
9 - 15	Поиски скрытой массы - 2. Основные сведения о моделях с дополнительными измерениями Космомикрофизика нового семейства (мета) стабильных кварков и лептонов. Тяжелое нейтрино, тяжелые кварки, «О-гелий», «No-go» теорема для частиц с зарядами +/-1. Основные представления о гравитационном линзировании. Поиски объектов MACHO. Количество первичного гелия как индикатор новой физики. Браны, малый энергетический масштаб гравитации (модели типа KK, ADD, RS).	Всего аудиторных часов		
		14	14	
		Онлайн		

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 ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ

Недели	Темы занятий / Содержание
	<i>2 Семестр</i>
1 - 2	Модель горизонтального объединения Горизонтальное объединение как феноменология «теории всего». Космомикрофизическое исследование модели. Нестабильная скрытая масса.
3 - 5	Дополнительные наблюдательные астрофизические свидетельства возможной новой физики Космическое гамма-излучение, космические позитроны, антипротоны и антиядра. Космические лучи сверхвысоких энергий. Гамма-всплески.
6 - 8	Поиски скрытой массы - 1 Особенности распределения плотности холодной скрытой массы, сравнение предсказаний с наблюдениями. Прямые поиски WIMP (Weakly Interacting Massive Particle) в подземных и надземных экспериментах, поиски эффектов аннигиляции в Галактике, накопление WIMP в Земле, Солнце и Солнечной системе с последующей аннигиляцией.
9 - 12	Поиски скрытой массы - 2. Основные сведения о моделях с дополнительными измерениями Космомикрофизика нового семейства (мета) стабильных кварков и лептонов. Тяжелое нейтрино, тяжелые кварки, «О-гелий», «No-go» теорема для частиц с зарядами +/-1. Основные представления о гравитационном линзировании. Поиски объектов MACHO. Количество первичного гелия как индикатор новой физики. Браны, малый энергетический масштаб гравитации (модели типа KK, ADD, RS).

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.

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)
ОПК-1	З-ОПК-1	Э, КИ-8, Реф-15
	У-ОПК-1	Э, КИ-8, Реф-15
	В-ОПК-1	Э, КИ-8, Реф-15
ОПК-2	З-ОПК-2	Э, КИ-8, Реф-15
	У-ОПК-2	Э, КИ-8, Реф-15
	В-ОПК-2	Э, КИ-8, Реф-15
ПК-4	З-ПК-4	Э, КИ-8, Реф-15
	У-ПК-4	Э, КИ-8, Реф-15
	В-ПК-4	Э, КИ-8, Реф-15
ПК-5	З-ПК-5	Э, КИ-8, Реф-15
	У-ПК-5	Э, КИ-8, Реф-15
	В-ПК-5	Э, КИ-8, Реф-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 – <i>«отлично»</i>	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 – <i>«хорошо»</i>	B	Оценка «хорошо» выставляется студенту, если он твердо 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 – <i>«удовлетворительно»</i>	E	Оценка «удовлетворительно» выставляется студенту, если он имеет знания только основного материала, но не усвоил его деталей, допускает неточности, недостаточно правильные формулировки, нарушения
60-64			

			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.

Оценочные средства приведены в Приложении.

7. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

ОСНОВНАЯ ЛИТЕРАТУРА:

1. ЭИ М35 Defect Evolution in Cosmology and Condensed Matter : Quantitative Analysis with the Velocity-Dependent One-Scale Model, Cham: Springer International Publishing, 2016
2. ЭИ В21 Introduction to Particle Cosmology : The Standard Model of Cosmology and its Open Problems, Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2016
3. ЭИ М94 Multi-scale Structure Formation and Dynamics in Cosmic Plasmas : , New York, NY: Springer New York, 2016
4. ЭИ Т44 The Cosmic Microwave Background : Proceedings of the II Jose Plinio Baptista School of Cosmology, Cham: Springer International Publishing, 2016
5. ЭИ Т44 Theoretical Frontiers in Black Holes and Cosmology : Theoretical Perspective in High Energy Physics, Cham: Springer International Publishing, 2016
6. ЭИ U51 Understanding the Epoch of Cosmic Reionization : Challenges and Progress, Cham: Springer International Publishing, 2016
7. ЭИ Л 84 Физическая космология : , Москва: Физматлит, 2012
8. 52 Г85 Элегантная Вселенная : Суперструны, скрытые размерности и поиски окончательной теории, Б. Грин ; ред. : В. О. Малышенко, Москва: ЛКИ, 2008
9. 539.1 Е60 Лекции по основам электрослабой модели и новой физике : учебное пособие для вузов, В. М. Емельянов, К. М. Белоцкий, Москва: МИФИ, 2007
10. ЭИ Е60 Лекции по основам электрослабой модели и новой физике : учебное пособие для вузов, В. М. Емельянов, К. М. Белоцкий, Москва: МИФИ, 2007
11. ЭИ Б88 Лекции по гравитации и космологии : учебное пособие для вузов, К. А. Бронников, С. Г. Рубин, Москва: МИФИ, 2008

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА:

1. И А22 Adventures in cosmology : , New Jersey [and oth.]: World scientific, 2012
2. И В87 Black holes, cosmology and extra dimensions : , New Jersey [and oth.]: World scientific, 2013
3. 52 G36 Cosmology: Foundations and Frontiers : , Moscow: KomKniga, 2007
4. 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
5. ЭИ P52 The Intrinsic Bispectrum of the Cosmic Microwave Background : , Cham: Springer International Publishing, 2016

ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ:

1. COSMOVIA (<http://viavca.in2p3.fr/>)

LMS И ИНТЕРНЕТ-РЕСУРСЫ:

1. COSMOVIA (<http://viavca.in2p3.fr/>)

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

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

8. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

1. Компьютерная аудитория ()
2. Проектор ()
3. Звуковая система ()

9. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ СТУДЕНТОВ

Лекции читаются в аудиториях с использованием презентаций, проецируемых на широкий экран. 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 предоставлении права досрочной сдачи экзамена, а также при выставлении оценки за экзамен.

В начале семестра каждому студенту выдается тема для реферата, которую он выбирает из предлагаемого списка или предлагает ее сам при одобрении преподавателя. Примеры тем

приведены в «Заданиях для самостоятельной работы». Их выполнение является обязательным в рамках изучения курса и для получения зачета. Сдача рефератов начинается заблаговременно до конца семестра. Она может проходить в несколько заходов, после каждого из которого отмечаются вопросы для доработки реферата и поднятия за него оценки. При согласии студента с текущей оценкой за реферат, которая не может быть «неудовлетворительной», реферат считается сданным и студент допускается к экзамену. Оценка за реферат определяет оценку за экзамен на 70%.

Для подготовки рефератов 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 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. 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 и приводить их англоязычные аналоги (сгустки скрытой массы, универсальные измерения, брана). Особенно это важно в случаях, когда прямое толкование не совсем уместно или устарело (например, МАСНО, рехитинг, каустики и «cusr» в распределение CDM,..).

В начале семестра выдаются темы рефератов для подготовки дома, примеры которых приведены в «заданиях для самостоятельной работы». Сдача назначается заблаговременно до конца семестра. Она может проходить в несколько этапов: если первоначальный вариант реферата оставляет неснятыми важные вопросы, то он возвращается студенту на доработку. При каждой попытке сдачи студенту можно сообщать оценку за текущий вариант реферата, с которой он может согласиться. К экзамену студент допускается только при положительной оценке (удовлетворительно и выше) за реферат, которая определяет оценку за экзамен на 70%.

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

ОСНОВНАЯ

1. 52

X58 Хлопов М.Ю. Основы космофизики. М.: УРСС, 2004.

2. 539.1

E60 Емельянов В.М., Белоцкий К.М. Лекции по основам электрослабой модели и новой физике. М.: МИФИ, 2007

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ

1. 52

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

2.* 52

350 Новиков И.Д., Зельдович Я.Б. Строение и эволюция Вселенной. М.: Наука, 1975.

* Книга находится в читальном зале

а также на кафедре 40:

1) М.Ю.Хлопов, Космомикрофизика, Москва: УРСС – 2003.

2) М.Ю. Хлопов, «Основы космомикрофизики», Москва: УРСС – 2004 [много экз.]

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

4) В.М. Емельянов, «Стандартная модель и ее расширения», Москва: Физматлит – 2007.

5) Journal of Physics G, Nuclear and Particle Physics, V.33 2006 (Обзор по физике частиц)

6) Physics Letters B, V.667 (Обзор по физике частиц)

7) В.А. Любимов, «Существует ли у нейтрино масса покоя?», Москва: МИФИ – 1981.

8) В.И. Захаров, «Суперсимметрия – 87», Москва: МИФИ – 1987.

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

10) В.Л. Гинзбург, «Некоторые проблемы физики и астрофизики», Москва: Знание – 1971.

11) Э. Шмутцер, «Теория относительности. Современные представления», Москва: Мир – 1981.

12) И.Л. Розенталь, «Элементарные частицы и структура Вселенной», Москва: Наука – 1984.

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

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

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

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

Автор(ы):

Хлопов Максим Юрьевич, д.ф.-м.н., профессор

