

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова
Филиал Московского государственного университета имени М.В.Ломоносова в городе Сарове

«УТВЕРЖДАЮ»



**Директор филиала МГУ в г.Сарове
Член-корреспондент РАН В.В. Воеводин**

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

Наименование дисциплины:

Теоретическая космология

Уровень высшего образования:

Магистратура

Направление подготовки:

03.04.02 Физика

Направленность (профиль) ОПОП:

Теоретическая физика

Квалификация «Магистр»

Форма обучения: Очная

Саров 2021 г.

Рабочая программа дисциплины разработана в соответствии с самостоятельно установленным МГУ образовательным стандартом (ОС МГУ) для реализуемых основных профессиональных образовательных программ высшего образования по направлению подготовки 03.04.02 Физика в редакции приказа по МГУ от 30 декабря 2020 г. №1366.

Автор: академик РАН В.А.Рубаков

Рабочая программа дисциплины

1. Место в структуре ОПОП ВО: является дисциплиной вариативной части программы, читается в 1-м семестре
 2. *Входные требования для освоения дисциплины, предварительные условия:* знание основных элементов общей теории относительности
 4. *Объем дисциплины в зачетных единицах с указанием количества академических или астрономических часов, выделенных на контактную работу обучающихся с преподавателем (по видам учебных занятий) и на самостоятельную работу обучающихся (указывается согласно рабочему плану):*
Объем дисциплины составляет 2 зачетных единицы, всего 72 часа,
-

5. Содержание дисциплины, структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества **академических часов** и виды учебных занятий

№ темы	Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины, форма промежуточной аттестации по дисциплине	Виды учебной нагрузки и их трудоемкость, часы				Форма текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации
		Всего часов	Лекции	Семинары	Самостоятельная работа	
1	Ранняя и современная Вселенная: общий обзор. Естественная система единиц. Современная Вселенная. Баланс энергий в современной Вселенной. Вселенная в прошлом. Вселенная до горячей стадии.	7	2	2	3	Собеседование, опрос
2	Расширяющаяся Вселенная: кинематика. Метрика Фридмана-Робертсона-Уокера. Красное смещение. Закон Хаббла. Замедление относительного движения. Свободные релятивистские и нерелятивистские частицы во Вселенной.	7	2	2	3	
3	Расширяющаяся Вселенная: динамика. Уравнения Фридмана. Ковариантное сохранение энергии и уравнения состояния. Примеры космологических решений: пыль, радиация, вакуум. Возраст Вселенной. Космологический горизонт. Горизонт событий в пространстве де Ситтера.	7	2	2	3	

4	Стандартная космологическая модель. Космологическая модель с темной материей и темной энергией. Баланс энергии в реальной Вселенной. Эпохи смены режимов расширения. Феноменология поздней Вселенной. Возраст Вселенной и фотометрическое расстояние. Расстояние углового размера. Барионные акустические осцилляции. Звуковой горизонт эпохи рекомбинации. Расширение на радиационно-доминированной стадии. Сохранение энтропии.	7	2	2	3
5	Рекомбинация. Рекомбинация в условиях термодинамического равновесия. Последнее рассеяние фотонов. Горизонт на момент рекомбинации и угол, под которым он виден сегодня. Рекомбинация в реальной Вселенной: основные процессы и температура рекомбинации.	7	2	2	3
6	Нейтрино во Вселенной. Температура заковки нейтрино. Эффективная температура нейтрино. Космологическое ограничение на массу нейтрино. Возможность лептонной асимметрии Вселенной.	7	2	2	3
7	Первичный нуклеосинтез. Заковка нейтронов. Начало нуклеосинтеза и направление термоядерных реакций. Горение дейтерия. Сравнение теории нуклеосинтеза и наблюдательных данных	7	2	2	3
8	Темная материя. Горячая, теплая, холодная темная материя. Кандидаты на роль темной материи, Слабовзаимодействующие массивные частицы (WIMPs). Стерильные нейтрино как теплая темная метрия. Аксион как частица темной материи.	7	2	2	3
9	Космологические фазовые переходы.	7	2	2	3

	Эффективный потенциал. Фазовые переходы первого и второго рода. Эффективный потенциал в однопетлевом приближении. Инфракрасная проблема. Критический пузырь. Протекание фазового перехода первого рода.					
	Промежуточная и итоговая аттестации	9	-	-	9	Экзамен в форме письменной работы с последующим собеседованием
ИТОГО:		72	18	18	36	

* Текущий контроль успеваемости может быть реализован в рамках занятий семинарского типа, групповых или индивидуальных консультаций

6. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине:
учебные пособия, интернет-ресурсы.

7. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине
(приводятся типовые вопросы, тесты, темы рефератов и пр., а также таблица оценивания учебных достижений)

Типовые задачи можно найти по адресу <http://www.evarist.org/course/cosmology/>

Вопросы к зачету и экзамену можно найти по адресу <http://ppc.inr.ac.ru/data/rubakov-cosmology-2012.pdf>

Пример 1: Приведите пример однородной, но анизотропной метрики. Приведите пример изотропной, но неоднородной метрики.

Пример 2: Пусть при температуре $T=10$ МэВ вклад кривизны в уравнение Фридмана составлял 10%. Каков относительный вклад кривизны в уравнение Фридмана сегодня? Требуется аккуратная оценка.

8. Таблица оценивания учебных достижений

Планируемые результаты обучения	Критерии оценивания результатов обучения			
	2	3	4	5
ЗНАТЬ: основные этапы эволюции Вселенной и связанные с ними физические процессы.	Отсутствие знаний основных этапов эволюции Вселенной и связанных с ними физические процессы.	В целом успешные, но не систематические знания основных этапов эволюции Вселенной и связанных с ними физические процессы.	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы знания основных этапов эволюции Вселенной и связанных с ними физические процессы.	Успешные и систематические знания основных этапов эволюции Вселенной и связанных с ними физические процессы.
УМЕТЬ: количественно анализировать важнейшие космологические явления и оценивать характерные для них параметры.	Отсутствие умения количественно анализировать важнейшие космологические явления и оценивать характерные для них параметры.	В целом успешное, но не систематическое умение количественно анализировать важнейшие космологические явления и оценивать характерные для них параметры.	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы умение количественно анализировать важнейшие космологические явления и оценивать характерные для них параметры.	Успешное и систематическое умение количественно анализировать важнейшие космологические явления и оценивать характерные для них параметры.
ВЛАДЕТЬ: навыками анализа и моделирования	Отсутствие/фрагментарное владение навыками анализа и моделирования	В целом успешное, но не систематическое владение навыками анализа и	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы владение навыками анализа и	Успешное и систематическое владение навыками анализа и моделирования физических

физических процессов в ранней Вселенной.	физических процессов в ранней Вселенной.	моделирования физических процессов в ранней Вселенной.	моделирования физических процессов в ранней Вселенной.	процессов в ранней Вселенной.
--	--	--	--	-------------------------------

9. Перечень основной и дополнительной учебной литературы

Основная литература

1. Д.С. Горбунов, В.А. Рубаков, «Введение в теорию ранней Вселенной. Теория горячего Большого взрыва», М.: УРСС, 2020.
2. Я.Б. Зельдович, И.Д. Новиков, «Строение и эволюция Вселенной», М: Наука, 1975.
3. С. Вайнберг, «Космология», М.: УРСС, 2013.
4. V.A.Rubakov. Cosmology. Proceedings of the 2014 Asia-Europe-Pacific School of High-Energy Physics Vol. 2 (2017) (<https://doi.org/10.23730/CYRSP-2017-002.239>)
5. R. Adler. General Relativity and Cosmology. Springer, 2021 (<https://www.springer.com/gp/book/9783030615734>)
6. G. Calcagni, Classical and Quantum Cosmology. Springer, 2017 (<https://www.springer.com/gp/book/9783319411255>)

Дополнительная литература

1. V. Mukhanov, «Physical Foundations of Cosmology», Cambridge University Press, 2005.
2. V.A. Rubakov, «Cosmology and Dark Matter», Lectures at European School on High Energy Physics ESHEP2019, e-Print: 1912.04727.
3. A. De Simone, «Introduction to cosmology and dark matter», CERN Yellow Rep.School Proc. 6 (2019) 145-180.
4. G.Bertone, D.Hooper. History of dark matter. Rev. Mod. Phys. 90 (2018) 045002 (<https://doi.org/10.1103/RevModPhys.90.045002>)

10. Перечень ресурсов Интернет, необходимых для освоения дисциплины:

1. <http://www.evarist.org/course/cosmology/>
2. <http://arxiv.org/>

11. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины:

сообщаются во время групповых и индивидуальных консультаций (дополнительная литература для решения отдельных задач, книги и оригинальные статьи для углубленного изучения избранных разделов курса по запросу обучающихся).

В результате освоения дисциплины обучающийся должен знать основные этапы эволюции Вселенной и связанные с ними физические процессы; уметь количественно анализировать важнейшие космологические явления и оценивать характерные для них параметры.

12. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине, включая перечень программного обеспечения и информационных справочных систем (при необходимости):

Дисциплина является авторским курсом, составленным с учетом результатов исследований научных школ МГУ и ведущих мировых научных центров. Помимо обсуждения материала, входящего в программу курса, предполагаются дискуссии по актуальным проблемам современной космологии и физики элементарных частиц с использованием интернет-ресурсов (например, <http://arxiv.org/>). Кроме этого, возможно дополнительное изучение материала курса с помощью видео-лекций, опубликованных на сайте <http://www.evarist.org/course/cosmology/>.

13. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине:
аудитория для ведения лекционных и семинарских занятий, доска, мел, а также опционально ноутбук, проектор и экран.

Перечень лицензионного программного обеспечения, в том числе отечественного производства

При реализации дисциплины может быть использовано следующее программное обеспечение:

1. Программный продукт Red Hat Enterprise Linux Server for HPC Compute Node for Power, LE, Self-support 4 шт. №5540331
2. Программный продукт Red Hat Enterprise Linux Server for HPC Head Node for Power, LE, Standard 1 шт. №5540332
3. Операционная система SUSE Linux Enterprise Server 11 SP4 for x86_64 16 шт.

4. Операционная система Red Hat Enterprise Linux Server 5.0 for x86_64 14шт.
5. Операционная система SUSE Linux Enterprise Server 10 SP3 for ppc64 7 шт.
6. Операционная система Ubuntu 18.04.
7. Программное обеспечение для виртуализации Oracle VM VirtualBox
8. Операционная система ALTLinuxMATEStarterkit 9 лицензияGPL
9. Программный продукт JetBrains IntelliJ IDEA Community Edition Free Educational Licenses
10. Программный продукт JetBrains PyCharm Community Edition Free Educational Licenses
11. Программный продукт JetBrains CLion Community Edition Free Educational Licenses
12. Программный продукт UPPAAL (<http://www.uppaal.org/>) академическая лицензия
13. Программный продукт Java 8 (64-bit) Oracle Corporation
14. Программный продукт Java SE Development Kit 8(64-bit) Oracle Corporation
15. Программный продукт NetBeans IDE 8.2 NetBeans.org
16. Программный продукт Dev-C++ Bloodshed Software
17. Программный продукт CodeBlocks The Code::Blocks Team
18. Программный продукт Free Pascal 3.0.0 Free Pascal Team
19. Программный продукт Python 3.5.1 (64-bit) Python Software Foundation
20. Программный продукт R for Windows 3.2.2 R Core Team
21. Программный продукт Haskell Platform 7.10.3 Haskell.org
22. Операционная система Microsoft Windows 7 корпоративная академическая лицензия
23. Операционная система Microsoft Windows 10 Education академическая лицензия
24. Программный продукт Microsoft Project Professional 2013 академическая лицензия
25. Программный продукт Microsoft Visio Professional 2013 академическая лицензия
26. Программный продукт Microsoft Visual Studio Professional 2013 - RUS [Русский (Россия)] академическая лицензия

Перечень профессиональных баз данных и информационных справочных систем

1. <http://www.edu.ru> – портал Министерства образования и науки РФ
2. <http://www.ict.edu.ru> – система федеральных образовательных порталов «ИКТ в образовании»
3. <http://www.openet.ru> - Российский портал открытого образования
4. <http://www.mon.gov.ru> - Министерство образования и науки Российской Федерации
5. <http://www.fasi.gov.ru> - Федеральное агентство по науке и инновациям