Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова
ФИЗИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ

КАФЕДРА НЕБЕСНОЙ МЕХАНИКИ, АСТРОМЕТРИИ И ГРАВИМЕТРИИ

УТВЕРЖДАЮ

Декан физического факультета МГУ

_____/ Н.Н. Сысоев /

«___» _____20 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

Наименование дисциплины:

ОСНОВЫ КОСМОЛОГИИ

Уровень высшего образования:
Специалитет

Направление подготовки:

03.05.01 Астрономия

Направленность (профиль) ОПОП:

Общая специальность

Квалификация «Специалист»

Форма обучения: Очная форма обучения

Рабочая программа рассмотрена и одобрена

Ученым советом физического факультета МГУ

(протокол №_____,)

Москва 20___

Рабочая программа дисциплины разработана в соответствии с самостоятельно установленным МГУ образовательным стандартом (ОС МГУ) для реализуемых основных профессиональных образовательных программ высшего образования по специальности 03.05.01 Астрономия.

Год (годы) приема на обучение_____

Авторы–составители:
Д.ф.-м.н., профессор Сажин Михаил Васильевич, кафедра небесной механики, астрометрии и гравиметрии физического факультета МГУ

Заведующий кафедрой
Д.ф.-м.н. профессор Жаров Владимир Евгеньевич

Аннотация к рабочей программе дисциплины
«Основы космологии»

Дисциплина «Основы космологии» является составной частью профессионального блока вариативной части. Читается студентам астрономического отделения физического факультета МГУ им. Ломоносова в 9-м семестре. На лекциях студенты получают сведения о современной космологии, её роли в астрономии. В рамках курса студенты познакомятся с основными явлениями и понятиями космологии: релятивистскими уравнениями Фридмана, уравнениями Фридмана, полученными с помощью классической механики, уравнениями движения лучей света в расширяющейся Вселенной, определения расстояний в космологии. Рассматриваются основные тесты в космологии: расширение Вселенной, обилие химических элементов, реликтовое излучение и его анизотропия, крупномасштабная структура Вселенной. Отдельно рассматривается теория малых возмущений плотности, векторных и тензорных компонент гравитационного поля.

Разделы рабочей программы

1. Место дисциплины в структуре основной профессиональной образовательной программы высшего образования (ОПОП ВО).
2. Входные требования для освоения дисциплины (модуля), предварительные условия (при наличии)

3. Результаты обучения по дисциплине (модулю), соотнесенные с формируемыми компетенциями
4. Форма обучения.
5. Язык обучения.
6. Содержание дисциплины.
7. Объем дисциплины
8. Структурированное по темам (разделам) содержание дисциплины (модуля) с указанием отведенного на них количества академических часов и виды учебных занятий
9. Текущий контроль и промежуточная аттестация.
10. Фонд оценочных средств (ФОС) для оценивания результатов обучения по дисциплине (модулю).
11. Шкала оценивания.
12. Типовые контрольные задания или иные материалы для проведения текущего контроля успеваемости.
13. Типовые контрольные задания или иные материалы для проведения промежуточной аттестации.
14. Материально-техническая база, информационные технологии, программное обеспечение и информационные справочные системы

1. Место дисциплины в структуре ОПОП ВО

Дисциплина «Основы космологии» реализуется на 9-ом семестре и является составной частью профессионального блока вариативной части.

2. Входные требования для освоения дисциплины (модуля), предварительные условия

Знания основ математического анализа, тензорного исчисления.

3. Результаты обучения по дисциплине (модулю), соотнесенные с формируемыми компетенциями

В результате освоения дисциплины у обучающихся должны быть сформированы:

Формируемые компетенции (код компетенции)	**Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю)**
УК-1.Б	***З-1 Знать:*** основные тесты наблюдательной космологии ***З-2 Знать:*** этапы эволюции Вселенной и их особенности ***У-1Уметь:*** выводить уравнения Фридмана ***У-2Уметь:*** выводить уравнения для описания эволюции малых возмущений ***В-1 Владеть:*** математическим аппаратом, применяемым в космологии
ОПК-1.Б	***З-1 Знать:*** основные математические методы, используемые при решении практических задач космологии ***У-1Уметь:*** решать типовые задачи космологии ***У-2Уметь:*** вычислять характеристики Вселенной на разных этапах ее расширения. ***В-1 Владеть:*** навыками анализа и физической интерпретации космологически моделей

4. Форма обучения: очная.

5. Язык обучения: русский.

6. Содержание дисциплины

Тема 1. Наблюдательный фундамент космологии. Пять основных тестов, образующих фунда мент.
Тема 2. Уравнения Фридмана. Уравнение состояния в космологии и анализ решений для Вселенной заполненной идеальной жидкостью с различными уравнениями состояния.
Тема 3. Вывод уравнений Фридмана. Вывод уравнений Фридмана с помощью классической механики, физический смысл уравнений Фридмана.
Тема 4. Понятие красного смещения, диаграмма Хаббла.
Тема 5. Расстояния в космологии. Понятие углового расстояния, космического расстояния, болометрического расстояния.
Тема 6. Основные стадии расширения нашей вселенной, первичный нуклеосинтез.
Тема 7. Слабое возмущения плотности. Эволюция малых возмущений плотности на стационарном фоне и в расширяющейся Вселенной (описание на ньютоновском языке).
Тема 8. Классфикация слабых возмущений гравитационного поля по спиральностям.

Тема 9. Вывод калибровочно-инвариантных уравнений для описания эволюции малых возмущений в расширяющейся Вселенной.
Тема 10. Типы возмущений. Возмущение скалярной компоненты гравитационного поля - возмущения плотности. Общерелятивистское описание эволюции возмущений плотности на фоне расширяющейся Вселенной. Эволюция векторных возмущений на фоне расширяющейся Вселенной. Эволюция тензорных возмущений (космологических гравитационных волн) на фоне расширяющейся Вселенной.
Тема 11. Реликтовое излучение. Закон эволюции темепературы реликтового излучения в горячей Вселенной.
Тема 12. Анизотропия и поляризация реликтового излучения. Основные физические механизмы, генерирующие анизотропию реликтового излучения и его поляризацию.
Тема 13. *Крупномастабная структура Вселенной.* Основные принципы описания, образования и эволюция крупномасштабной структуры. Понятие темной материи.
Тема 14. *Темная энергия - новый вид вещества.*

7. Объем дисциплины

НАЗВАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ	Трудоемкость в зачетных единицах	объем учебной нагрузки в ак. часах				
		Общая трудоемкость	в том числе ауд. занятий			Самостоятельная работа студентов
			Общая аудиторная нагрузка	Лекций	Семинаров	
Основы космологии	3	108	72	36	36	36

8. Структурированное по темам (разделам) содержание дисциплины (модуля) с указанием отведенного на них количества академических часов и виды учебных занятий

Изучение курса «Основы космологии» включает в себя лекции, на которых рассматривается теоретическое содержание курса и решение практических задач. Также в изучение курса входит самостоятельная работа, заключающаяся в подготовке к лекционным занятиям и решению задач. По вопросам, вызывающим затруднения, проводятся консультации.

№ темы	Наименование раздела дисциплины	Виды учебной нагрузки и их трудоемкость, часы	Форма текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации

		Всего часов	Лекции	Лабораторные практические	Семинары	Самостоятельная работа	
1	Наблюдательный фундамент космологии.	**5**	**3**	**-**	**-**	**3**	Собеседование, опрос
2	Уравнения Фридмана.	**5**	**2**	**-**	**-**	**2**	
3	Вывод уравнений Фридмана.	**5**	**3**	**-**	**-**	**3**	
4	Понятие красного смещения, диаграмма Хаббла.	**5**	**3**	**-**	**-**	**3**	
5	Расстояния в космологии.	**5**	**2**	**-**	**-**	**2**	
6	Основные стадии расширения нашей вселенной, первичный нуклеосинтез.	**5**	**2**	**-**	**-**	**2**	
7	Слабое возмущения плотности.	**5**	**3**	**-**	**-**	**3**	
8	Классфикация слабых возмущений гравитационного поля по спиральностям.	**5**	**3**	**-**	**-**	**3**	
9	Вывод калибровочно-инвариантных уравнений для описания эволюции малых возмущений в расширяющейся Вселенной.	**5**	**3**	**-**	**-**	**3**	
10	Типы возмущений.	**5**	**3**	**-**	**-**	**2**	
11	Реликтовое излучение.	**5**	**2**	**-**	**-**	**2**	
12	Анизотропия и поляризация реликтового излучения.	**5**	**2**		**-**	**2**	
13	Крупномастабная структура Вселенной.	**4**	**3**		**-**	**2**	
14	Темная энергия - новый вид вещества.	**4**	**2**	**-**	**-**	**2**	
	Промежуточная аттестация	**4**				2	Экзамен в форме письменной работы с последующим собеседованием
ИТОГО:		**72**	**36**	**-**	**-**	**36**	

9. Текущий контроль и промежуточная аттестация.

Текущий контроль по дисциплине «Основы космологии» осуществляется на лекциях и заключается в оценке активности и качества участия в опросах и собеседованиях по

проблемам, изучаемых в рамках тем лекционных занятий, аргументированности позиции; оценивается широта используемых теоретических знаний.

Промежуточная аттестация по дисциплине «Основы космологии» проводится в 9-ом семестре в форме экзамена. Экзамен в форме письменной работы с последующим собеседованием по программе.

Результаты сдачи экзамена оцениваются по шкале «неудовлетворительно», «удовлетворительно», «хорошо», «отлично». Оценки «отлично», «хорошо», «удовлетворительно» означают успешное прохождение промежуточной аттестации.

10. Фонд оценочных средств (ФОС) для оценивания результатов обучения по дисциплине (модулю).

Требования к структуре и содержанию фонда оценочных средств текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине

Перечень оценочных средств, применяемых на каждом этапе проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине, представлены в таблице

Наименование оценочного средства	Краткая характеристика оценочного средства	Представление оценочного средства в фонде
Оценочные средства текущего контроля		
Тематический опрос (в форме ответов на вопросы)	Средство контроля, организованное как специальная беседа по тематике предыдущей лекции и рассчитанное на выяснение объема и качества знаний, усвоенных обучающимися по определенному разделу, теме, проблеме.	Перечень тем, изучаемых в рамках дисциплины
Собеседование (в форме беседы, дискуссии по теме)	Средство контроля, организованное как свободная беседа, дискуссия по тематике изучаемой дисциплины, рассчитанное на выяснение объема знаний обучающегося по всем изученным разделам, темам; свободного использования терминологии для аргументированного выражения собственной позиции.	Перечень тем, изучаемых в рамках дисциплины
Тестирование	Средство контроля, позволяющее получить оценку уровня фактических знаний аспиранта по изученной теме.	Образцы тестов
Оценочные средства промежуточной аттестации		
Письменная работа	Средство, позволяющее оценить сформированность систематических представлений о методах научно-исследовательской деятельности.	Перечень вопросов к зачету
Собеседование	Средство, позволяющее получить экспертную оценку знаний, умений и навыков по для оценивания и анализа различных фактов и явлений в своей профессиональной области.	Требования к порядку проведения собеседования

11. Шкала оценивания.

Планируемые результаты обучения	Критерии оценивания результатов обучения			
	2	**3**	**4**	**5**
ЗНАТЬ: основные тесты наблюдательной космологии УК-1.Б З-1	Отсутствие знаний основных тестов наблюдательной космологии	В целом успешные, но не систематические знания основных тестов наблюдательной космологии	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы знания основных тестов наблюдательной космологии	Успешные и систематические знания основных тестов наблюдательной космологии
ЗНАТЬ: этапы эволюции Вселенной и их особенности УК-1.Б З-2	Отсутствие знаний или фрагментарное знание основных этапов эволюции Вселенной и их особенности	В целом успешное, но не систематическое знание основных этапов эволюции Вселенной и их особенности	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы знание основных этапов эволюции Вселенной и их особенности	Успешное и систематическое знание основных этапов эволюции Вселенной и их особенности
ЗНАТЬ: основные математические методы, используемые при решении практических задач космологии ОПК-1.Б З-1	Отсутствие знаний или фрагментарное применение основных математических методов, используемых при решении практических задач космологии	В целом успешное, но не систематическое применение основных математических методов, используемых при решении практических задач космологии	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы знание основных математических методов, используемых при решении практических задач космологии	Успешное и систематическое знание основных математических методов, используемых при решении практических задач космологии
УМЕТЬ: выводить уравнения Фридмана УК-1.Б У-1	Отсутствие умения выводить уравнения Фридмана	В целом успешное, но не систематическое умение выводить	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы	Успешное и систематическое умение выводить уравнения Фридмана

		уравнения Фридмана	умение выводить уравнения Фридмана	
УМЕТЬ: выводить уравнения для описания эволюции малых возмущений УК-1.Б У-2	Отсутствие умения выводить уравнения для описания эволюции малых возмущений	В целом успешное, но не систематическое умение выводить уравнения для описания эволюции малых возмущений	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы умение выводить уравнения для описания эволюции малых возмущений	Успешное и систематическое умение выводить уравнения для описания эволюции малых возмущений
УМЕТЬ: решать типовые задачи космологии ОПК-1.Б У-1	Отсутствие умения решать типовые задачи космологии	В целом успешное, но не систематическое умение решать типовые задачи космологии	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы умение решать типовые задачи космологии	Успешное и систематическое умение решать типовые задачи космологии
УМЕТЬ: вычислять характеристики Вселенной на разных этапах ее расширения. ОПК-1.Б У-2	Отсутствие умения вычислять характеристики Вселенной на разных этапах ее расширения.	В целом успешное, но не систематическое умение вычислять характеристики Вселенной на разных этапах ее расширения.	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы умение вычислять характеристики Вселенной на разных этапах ее расширения.	Успешное и систематическое умение вычислять характеристики Вселенной на разных этапах ее расширения.
ВЛАДЕТЬ: математическим аппаратом, применяемым в космологии УК-1.Б В-1	Отсутствие/фрагментарное владение математическим аппаратом, применяемым в космологии	В целом успешное, но не систематическое владение математическим аппаратом, применяемым в космологии	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы владение математическим аппаратом, применяемым в космологии	Успешное и систематическое владение математическим аппаратом, применяемым в космологии
ВЛАДЕТЬ: навыками	Отсутствие/фрагментарное владение навыками	В целом успешное, но	В целом успешно	Успешное и систематическ

анализа и физической интерпретации космологическ и моделей ОПК-1.Б В-1	анализа и физической интерпретации космологически моделей	не систематическ ое владение навыками анализа и физической интерпретации космологическ и моделей	е, но содержащее отдельные пробелы владение навыками анализа и физической интерпретации космологическ и моделей	ое владение навыками анализа и физической интерпретации космологическ и моделей

12. Типовые контрольные задания или иные материалы для проведения текущего контроля успеваемости.

Материалы текущего контроля успеваемости обучающихся

Контрольные задания:

1. Перечислить пять основных фундаментальных тестов современной космологии.
2. Вывод первого уравнения Фридмана.
3. Вывод второго уравнения Фридмана.
4. Вывод третьего уравнения Фридмана.
5. Записать уравнения состояния в космологии для Вселенной заполненной идеальной жидкостью.
6. Физический смысл уравнений Фридмана.
7. Формула красного смещения.
8. Закон Хаббла.
9. Расстояния в космологии.
10. Угловое расстояние в космологии.
11. Космическое расстояние в космологии.
12. Болометрическое расстояние в космологии.
13. Основные стадии расширения нашей вселенной.
14. Первичный нуклеосинтез.
15. Слабое возмущения плотности. Эволюция малых возмущений плотности на стационарном фоне и в расширяющейся Вселенной (описание на ньютоновском языке).
16. Классфикация слабых возмущений гравитационного поля по спиральностям.
17. Вывод калибровочно-инвариантных уравнений для описания эволюции малых возмущений в расширяющейся Вселенной.
18. Типы возмущений. Возмущение скалярной компоненты гравитационного поля - возмущения плотности.
19. Общерелятивистское описание эволюции возмущений плотности на фоне расширяющейся Вселенной.
20. Эволюция векторных возмущений на фоне расширяющейся Вселенной.
21. Эволюция тензорных возмущений (космологических гравитационных волн) на фоне расширяющейся Вселенной.
22. Реликтовое излучение. Закон эволюции темепературы реликтового излучения в горячей Вселенной.
23. Анизотропия и поляризация реликтового излучения. Основные физические механизмы, генерирующие анизотропию реликтового излучения и его поляризацию.
24. Крупномастабная структура Вселенной. Основные принципы описания, образования и эволюция крупномасштабной структуры.
25. Понятие темной материи.
26. Темная энергия - новый вид вещества.

13. Типовые контрольные задания или иные материалы для проведения промежуточной аттестации.

Материалы промежуточной аттестации обучающихся

Темы к экзамену:

1. Наблюдательный фундамент космологии. Пять основных тестов, образующих фундамент.
2. Уравнения Фридмана.
3. Уравнение состояния в космологии и анализ решений для Вселенной заполненной идеальной жидкостью с различными уравнениями состояния.
4. Вывод уравнений Фридмана.
5. Вывод уравнений Фридмана с помощью классической механики.
6. Физический смысл уравнений Фридмана.
7. Красное смещение.
8. Диаграмма Хаббла.
9. Расстояния в космологии.
10. Угловое расстояние в космологии.
11. Космическое расстояние в космологии.
12. Болометрическое расстояние в космологии.
13. Основные стадии расширения нашей вселенной.
14. Первичный нуклеосинтез.
15. Слабое возмущения плотности. Эволюция малых возмущений плотности на стационарном фоне и в расширяющейся Вселенной (описание на ньютоновском языке).
16. Классфикация слабых возмущений гравитационного поля по спиральностям.
17. Вывод калибровочно-инвариантных уравнений для описания эволюции малых возмущений в расширяющейся Вселенной.
18. Типы возмущений. Возмущение скалярной компоненты гравитационного поля - возмущения плотности.
19. Общерелятивистское описание эволюции возмущений плотности на фоне расширяющейся Вселенной.
20. Эволюция векторных возмущений на фоне расширяющейся Вселенной.
21. Эволюция тензорных возмущений (космологических гравитационных волн) на фоне расширяющейся Вселенной.
22. Реликтовое излучение. Закон эволюции темепературы реликтового излучения в горячей Вселенной.
23. Анизотропия и поляризация реликтового излучения. Основные физические механизмы, генерирующие анизотропию реликтового излучения и его поляризацию.
24. Крупномастабная структура Вселенной. Основные принципы описания, образования и эволюция крупномасштабной структуры.
25. Понятие темной материи.
26. Темная энергия - новый вид вещества.

14. Материально-техническая база, информационные технологии, программное обеспечение и информационные справочные системы

Основная литература.

1. Л.Д.Ландау, Е.М.Лифшиц. Теория поля. т. 2. М. Наука, 1988.
2. С.Вейнберг. Гравитация и космология. Изд.Мир, 1975.
3. А.Д.Долгов, Я.Б.Зельдович, М.В.Сажин. Космология ранней Вселенной. Изд.МГУ, 1988.
4. М.В.Сажин. Современная космология в популярном изложении. URSS. 2002.

5. М. В. Сажин. Анизотропия и поляризация реликтового излучения. Последние данные. Успехи Физических Наук 2004 т.174 No. 2, стр. 197-205.

Дополнительная литература.

1. Д.С.Горбунов, В.А.Рубаков, Введение в теорию ранней Вселенной. т.1,2. URSS, М.2008, 2009.

Интернет-ресурсы.
В стадии подготовки.

Материально-техническое обеспечение

В соответствии с требованиями п. 5.3. образовательного стандарта МГУ по направлению подготовки «Физика».

Курс может быть прочитан в поточной аудитории при наличии: современных мультимедийных возможностей и проекционного оборудования.