

**Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе
Российской академии наук**

УТВЕРЖДАЮ

Зам. директора Института по научной работе

С.В. Лебедев

«20» 02 2015 г.



**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ
СОВРЕМЕННАЯ КОСМОЛОГИЯ**
основной образовательной программы подготовки
научно-педагогических кадров в аспирантуре
по направлению 03.06.01 Физика и астрономия

Профиль:

01.03.02 Астрофизика и звездная астрономия

Квалификация: Исследователь. Преподаватель-исследователь.

Принято Ученым советом

Протокол №1 от 20 февраля 2015 г.

САНКТ-ПЕТЕРБУРГ

Рабочая программа составлена на основании федеральных государственных образовательных стандартов основных образовательных программ высшего образования подготовки научно-педагогических кадров в аспирантуре по направлению 03.06.01 Физика и астрономия, профиль 01.03.02 «Астрофизика и звездная астрономия»

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Рассматриваемая дисциплина является основной в подготовке аспирантов, обучающихся по профилю 01.03.02 «Астрофизика и звездная астрономия»

Целями изучения дисциплины является:

- изучение современных представлений о строении и эволюции Вселенной, протекании различных физических процессов на различных этапах ее эволюции (первичный нуклеосинтез, первичная рекомбинация водородно-гелиевой плазмы, формирование крупномасштабной структуры, первых галактик и звезд);
- изучение наблюдательных методов современной космологии (элементы оптической, радио, гамма, нейтринной астрономии);

Задачи дисциплины заключаются в изучении:

- фундаментальных понятий, законов и теорий, относящихся к современной космологии: основы теории гравитации, физика частиц и фундаментальных взаимодействий в нестационарной, искривлённой геометрии четырехмерного пространства времени;
- современных аналитических и численных методов, необходимых для расчета химического состава вещества, крупномасштабной структуры.

Для достижения задач, поставленных при изучении дисциплины, используется набор методических средств: учебная, учебно-методическая литература, информационные ресурсы библиотеки, электронные курсы и др.

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП

- 2.1. Учебная дисциплина «Современная космология» входит в вариативную часть ООП.
- 2.2. Данная программа строится на преемственности программ в системе высшего образования и предназначена для аспирантов ФТИ, прошедших обучение по программе подготовки магистров, прослушавших соответствующие курсы и имеющих по ним положительные оценки. Она основывается на положениях, отраженных в учебных программах указанных уровней.
- 2.3. Дисциплина «Современная космология» необходима при подготовке выпускной квалификационной работы аспиранта и подготовке к сдаче кандидатского экзамена.

3. ТРЕБОВАНИЯ К РЕЗУЛЬТАТАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Процесс изучения дисциплины «Современная космология» направлен на формирование следующих компетенций в соответствии с ООП по направлению подготовки «Физика и астрономия»:

3.1. Универсальные компетенции:

- способность к критическому анализу и оценке современных научных достижений, генерированию новых идей при решении исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях (УК-1).

3.2. **Общепрофессиональные компетенции:**

- способность самостоятельно осуществлять научно-исследовательскую деятельность в соответствующей профессиональной области с использованием современных методов исследования и информационно-коммуникационных технологий (ОПК-1).

3.3. **Профессиональные компетенции:**

- способность планировать, организовывать работу по проектам, требующим знания астрофизики и звездной астрономии (ПК-1);

- способность к теоретическому расчету необходимых астрофизических и астрономических величин (ПК-2);

- способность к разработке математических моделей, определяющих изучаемые процессы в астрофизике и звездной астрономии (ПК-3);

- способность получать, обрабатывать, анализировать и систематизировать научно-техническую информацию по теме исследования, выбирать и обосновывать методики и средства решения поставленных задач (ПК-4).

4. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

4.1. **Разделы дисциплины и виды занятий**

Приводимая ниже таблица показывает распределение бюджета учебного времени, отводимого на освоение основных разделов курса согласно учебному плану «Современная космология»

Наименование разделов и тем	Трудоёмкость (в ЗЕТ)	Объём работы (в часах)	Всего учебных занятий (в часах)			
			Лекции	Лаб. / практ.	Самостоятельная работа	Контроль
1	2	3	4	5	6	7
Раздел 1. Основы теории гравитации						
Тема 1.1. Основные положения ОТО		4	1		3	
Тема 1.2. Однородные изотропные пространства. FRW-метрика.		4	1		3	
Тема 1.3. Движение частиц в искривленном нестационарном пространстве времени. Красное смещение.		5	2		3	
Раздел 2. Динамика расширения Вселенной						
Тема 2.1. Уравнения Фридмана		5	2		3	

Тема 2.2. Примеры космологических решений. Возраст Вселенной.		5	2		3	
Тема 2.3. Космологические модели с темной энергией. Горизонты		5	2		3	
Раздел 3. Ключевые физические процессы в расширяющейся Вселенной						
Тема 3.1. Термодинамика в расширяющейся Вселенной.		5	2		3	
Тема 3.2. Фазовые переходы в ранней Вселенной.		5	2		3	
Тема 3.3. Теория первичного нуклеосинтеза.		5	2		3	
Тема 3.4. Первичная рекомбинация.		5	2		3	
Раздел 4. Наблюдательная космология						
Тема 4.1. Распространенность химических элементов и методы их наблюдения		6	2		4	
Тема 4.2. Реликтовое излучение, его основные свойства и методы его наблюдения.		6	2		4	
Тема 4.3. Крупномасштабная структура Вселенной		6	2		4	
Тема 4.4. Наблюдательные проявления темной материи и темной энергии		6	2		4	
Всего по дисциплине		72	26		46	Зачет

4.2. Содержание разделов и тем

Раздел 1. Основы теории гравитации

Тема 1.1. Основные положения ОТО.

Лекции (1 час)

Ключевые представления об искривленном пространстве-времени, способы его координатного описания, понятие метрики. Символы Кристоффеля. Основные свойства тензора Римана и его свертки. Уравнения Гильберта-Эйнштейна.

Тема 1.2. Однородные изотропные пространства. FRW-метрика.

Лекции (1 час)

Космологический принцип. Однородные изотропные пространства. Метрика Фридмана-Робертсона-Уокера, ее свойства.

Тема 1.3. Движение частиц в искривленном нестационарном пространстве времени. Красное смещение.

Лекции (2 часа)

Уравнение движения массивных и безмассовых частиц в искривленном нестационарном пространстве-времени. Импульс частицы. Космологическое красное смещение.

Раздел 2. Динамика расширения Вселенной

Тема 2.1. Уравнения Фридмана.

Лекции (2 часа)

Решение уравнений Гильберта-Эйнштейна для случая однородного и изотропного пространства, описываемого метрикой Фридмана-Робертсона-Уокера. Система уравнений, определяющая динамику масштабного фактора Вселенной.

Тема 2.2. Примеры космологических решений. Возраст Вселенной.

Лекции (2 часа)

Решения уравнений Фридмана для радиационно-доминированной, пылевидной стадий эволюции Вселенной. Лямбда-доминированная стадия эволюции Вселенной, вселенная де-Ситтера. Решения у-й Фридмана для уравнения состояния вещества с произвольным параметром линейной связи давления и плотности энергии. Определения возраста Вселенной.

Тема 2.3. Космологические модели с темной энергией. Горизонты.

Лекции (2 часа)

Формы материи, имитирующие вакуумно-подобное уравнение состояния вещества: Лямбда-член, Квинтесценция, фоновая энергия. Горизонт событий. Горизонт частиц. Радиус де-Ситтера.

Раздел 3. Ключевые физические процессы в расширяющейся Вселенной

Тема 3.1. Термодинамика в расширяющейся Вселенной.

Лекции (2 часа)

Функции распределения бозонов и фермионов, энтропия в расширяющейся Вселенной. Основные термодинамические характеристики газов свободных частиц и их эволюция в расширяющейся Вселенной. Барион-фотонное отношение. Неравновесные процессы.

Тема 3.2. Фазовые переходы в ранней Вселенной.

Лекции (2 часа)

Типы фазовых переходов. Электрон-позитронная аннигиляция. Конфаймент. Электрослабый переход. Великое объединение.

Тема 3.3. Теория первичного нуклеосинтеза.

Лекции (2 часа)

Начало первичного нуклеосинтеза, отщепление нейтрино, начальный состав первичной релятивистской плазмы. Закалка нейтронов, нейтрон-протонное отношение. Начало термоядерных реакций. Кинетика первичного нуклеосинтеза: горение нейтронов, образование дейтерия, горение дейтерия, образование изотопов первичного гелия, образование и горение наиболее тяжелых изотопов первичной плазмы. Предсказываемая распространенность первичных элементов.

Тема 3.4. Первичная рекомбинация.

Лекции (2 часа)

Состав и эволюция температуры первичной гелиево-водородной плазмы. Температура рекомбинации, ключевые физические процессы, определяющие скорость ее протекания. Поверхность последнего рассеяния фотонов. Горизонт на момент рекомбинации и его современные угловые размеры. Пространственная плоскостность Вселенной.

Раздел 4. Наблюдательная космология

Тема 4.1. Распространенность химических элементов и методы их наблюдения.

Лекции (2 часа)

Распространенность химических элементов и их эволюция с момента первичного нуклеосинтеза до настоящих дней. Наблюдения относительной распространенности гелия-4 в малометаллических туманностях. Наблюдения дейтерия в суб-ДЛА системах, находящихся на больших красных смещениях. Наблюдения Li-7 в маломассивных звездах, «литиевая» проблема.

Тема 4.2. Реликтовое излучение, его основные свойства и методы его наблюдения.

Лекции (2 часа)

История открытия и наблюдения реликтового излучения. Основные свойства РИ. Современное значение температуры РИ. Анизотропия РИ. Ключевые космологические параметры, определяемые по результатам анализа анизотропии реликтового излучения.

Тема 4.3. Крупномасштабная структура Вселенной.

Лекции (2 часа)

Наблюдения и моделирование крупномасштабной структуры Вселенной. Спектр первичных флуктуаций плотности. Спектр Гэрисона-Зельдовича. Особенности спектра первичных флуктуаций плотности, предсказываемых инфляционной теорией.

Тема 4.4. Наблюдательные проявления темной материи и темной энергии.

Лекции (2 часа)

Наблюдательные проявления темной материи: дисперсия скоростей галактик в скоплениях, кривые вращения вещества в спиральных галактиках, гравитационное линзирование. Наблюдательные проявления темной энергии: ускоренное расширение Вселенной, взрывы сверхновых типа Ia.

5. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Технология процесса обучения по дисциплине «Современная космология» включает в себя следующие образовательные мероприятия:

- а) аудиторные занятия (лекционно-семинарская форма обучения);
- б) самостоятельная работа студентов;
- г) контрольные мероприятия в процессе обучения и по его окончании;
- д) зачет по окончании изучения дисциплины.

В учебном процессе используются как активные, так и интерактивные формы проведения занятий: дискуссия, метод поиска быстрых решений в группе, мозговой штурм.

Аудиторные занятия проводятся в интерактивной форме с использованием мультимедийного обеспечения (ноутбук, проектор) и технологии проблемного обучения.

Презентации позволяют качественно иллюстрировать практические занятия схемами, формулами, чертежами, рисунками. Кроме того, презентации позволяют четко структурировать материал занятия.

Электронная презентация позволяет отобразить процессы в динамике, что улучшает восприятие материала.

Самостоятельная работа организована в соответствии с технологией проблемного обучения и предполагает следующие формы активности:

- самостоятельная проработка учебно-проблемных задач, выполняемая с привлечением основной и дополнительной литературы;
- поиск научно-технической информации в открытых источниках с целью анализа и выявления ключевых особенностей.

Основные аспекты применяемой технологии проблемного обучения:

- постановка проблемных задач отвечает целям освоения дисциплины «Физическая кинетика» и формирует необходимые компетенции;
- решаемые проблемные задачи стимулируют познавательную деятельность и научно-исследовательскую активность аспирантов.

6. ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ И ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ

Цель контроля – получение информации о результатах обучения и степени их соответствия результатам обучения.

6.1. Текущий контроль

Текущий контроль успеваемости, т.е. проверка усвоения учебного материала, регулярно

осуществляемая на протяжении семестра. Текущий контроль знаний аспирантов организован как выступления на семинарах.

Текущая самостоятельная работа аспиранта направлена на углубление и закрепление знаний и развитие практических умений.

6.2. Промежуточная аттестация

Промежуточная аттестация завершает изучение дисциплины «Физическая кинетика». Форма аттестации – зачет в письменной или устной форме.

Контрольные вопросы для промежуточной аттестации

1. Основные положения ОТО.
2. Космологический принцип, однородные и изотропные пространства, метрика Фридмана-Робертсона-Уокера.
3. Динамика расширения Вселенной. Уравнения Фридмана и их решения.
4. Фазовые переходы в ранней Вселенной.
5. Теория первичного нуклеосинтеза. Распространенность химических элементов.
6. Первичная рекомбинация водородно-гелиевой плазмы.
7. История открытия и наблюдений реликтового излучения, его основные свойства. Эволюция РИ.
8. Наблюдательные методы современной космологии.

7. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

7.1. Основная литература

1. Д.С. Горбунов, В.А. Рубаков. Введение в теорию ранней Вселенной. I том. Москва, УРСС, 2008.
2. С. Вайнберг. Космология. Москва, УРСС, 2012.
3. Л.Д. Ландау. Теория поля. Москва, Наука, 1988.

7.2. Дополнительная литература

1. Д.С. Горбунов, В.А. Рубаков. Введение в теорию ранней Вселенной. II том. Москва, УРСС, 2009.
2. С. Вайнберг. Гравитация и космология. «ПЛАТОН», 2000.

7.3. Интернет-ресурсы

Отечественные журналы:

1. *Астрономический вестник* (http://elibrary.ru/title_about.asp?id=7665; доступ с 2007 по текущий год)
2. *Астрономический журнал* (http://elibrary.ru/title_about.asp?id=7666; доступ с 2007 по текущий год)
3. *Письма в астрономический журнал* (http://elibrary.ru/title_about.asp?id=79414; доступ с

2007 по текущий год)

4. Геомагнетизм и аэрономия (http://elibrary.ru/title_about.asp?id=7765; доступ с 2007 по текущий год)
5. Исследование Земли из космоса (http://elibrary.ru/title_about.asp?id=7842; доступ с 2007 по текущий год)
6. Космические исследования (http://elibrary.ru/title_about.asp?id=7859; доступ с 2007 по текущий год)
7. Вестник МГУ. Часть 3. Физика, астрономия (<http://vmu.phys.msu.ru/toc/list>; доступ с 1985 по 2014)
8. Проблемы передачи информации (http://www.mathnet.ru/php/journal.phtml?jrnid=ppi&wshow=details&option_lang=rus; доступ с 1965 по 2012)
9. Земля и Вселенная (http://elibrary.ru/title_about.asp?id=7808; доступ с 1965 по 2012)

Отечественные журналы в переводе:

1. Astronomy Reports (<http://link.springer.com/journal/11444>; доступ с 2000 по текущий год,
2. Astronomy Letters (<http://www.springerlink.com/content/119837/>; доступ с 2000 по текущий год)
3. Bulletin of the Crimean Astrophysical Observatory (<http://link.springer.com/journal/11989>; доступ с 2007 по текущий год)
4. Cosmic Research (<http://link.springer.com/journal/10604>; доступ с 2000 по текущий год)
5. Earth and Space Science (<http://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/agu/journal/10.1002/%28ISSN%292333-5084/>; доступ с 2014 по текущий год)
6. Geomagnetism and Aeronomy (<http://link.springer.com/journal/11478>; доступ с 2006 по текущий год)
7. Problems of Information Transmission (<http://link.springer.com/journal/11122>; доступ с 2001 по текущий год)
8. Solar System Research (<http://link.springer.com/journal/11208>; доступ с 2000 по текущий год)
9. Radiophysics and Quantum Electronics (<http://www.springer.com/astronomy/journal/11141>; доступ с 1965 по текущий год)

Международные журналы:

Gravitation and Cosmology (<http://link.springer.com/journal/12267>; доступ с 2008 по текущий год)

Иностранные журналы:

1. Astronomy and Astrophysics (<http://www.aanda.org/>; частичный свободный доступ к отдельным номерам журнала с 2001 по текущий год)
2. Astronomy and Astrophysics Review (<http://link.springer.com/journal/159>; доступ с 1989 по текущий год)
3. Astronomy & Geophysics (<http://astrogeo.oxfordjournals.org/>; доступ с 1997 по текущий год)
4. Astroparticle Physics (<http://www.sciencedirect.com/science/journal/09276505/23/1>; доступ с

2006 по текущий год)

5. Astrophysics (<http://link.springer.com/journal/10511>; доступ с 1965 по текущий год)
6. Astrophysics and Space Science (<http://link.springer.com/journal/10509>; доступ с 1968 по текущий год)
7. Classical and Quantum Gravity (<http://iopscience.iop.org/0264-9381/>; доступ с 1984 по текущий год)
8. Computational Astrophysics and Cosmology (<http://link.springer.com/journal/40668>; доступ с 2014 по текущий год)
9. Experimental Astronomy (<http://link.springer.com/journal/10686>; доступ с 1989 по текущий год)
10. Journal of Astrophysics and Astronomy (<http://link.springer.com/journal/12036>; доступ с 1980 по текущий год)
11. Journal of Cosmology and Astroparticle Physics (<http://iopscience.iop.org/1475-7516/>; доступ с 2003 по текущий год)
12. Microgravity Science and Technology (<http://link.springer.com/journal/12217>; доступ с 2001 по текущий год)
13. Monthly Notices of the Royal Astronomical Society (<http://mnras.oxfordjournals.org/>; доступ с 1827 по текущий год); (<http://onlinelibrary.wiley.com/journal/10.1111/%28ISSN%291365-2966>; доступ с 1998 по 2012);
14. Monthly Notices Letters of the Royal Astronomical Society (<http://mnrasl.oxfordjournals.org>; доступ с 2005 по текущий год)
15. Nature (<http://www.nature.com/nature/index.html>; доступ с 1940 по текущий год)
16. Planetary Science (<http://link.springer.com/journal/13535>; доступ с 2012 по текущий год)
17. Research in Astronomy and Astrophysics (<http://iopscience.iop.org/1674-4527/>; доступ с 2001 по текущий год)
18. Space Science Reviews (<http://link.springer.com/journal/11214>; доступ с 1962 по текущий год)
19. Space Weather (<http://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/agu/journal/10.1002/%28ISSN%291542-7390/>; доступ с 2003 по текущий год)
20. Solar Physics (<http://link.springer.com/journal/11207>; (доступ с 1967 по текущий год)
21. The Astronomical Journal (<http://iopscience.iop.org/1538-3881>; доступ с 1849 по текущий год)
22. The Astrophysical Journal (<http://iopscience.iop.org/0004-637X>; доступ с 1996 по текущий год)
23. The Astrophysical Journal Letters (<http://iopscience.iop.org/2041-8205/>; доступ с 1995 по текущий год)
24. The Astrophysical Journal. Supplement series (<http://iopscience.iop.org/0067-0049/>; доступ с 1996 по текущий год)

8. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

1. Лекционная аудитория

2. Мультимедийный проектор
3. Персональный компьютер