

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего  
образования Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова  
ФИЗИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ  
КАФЕДРА АСТРОФИЗИКИ и ЗВЕЗДНОЙ АСТРОНОМИИ

УТВЕРЖДАЮ  
Декан физического факультета  
МГУ  
\_\_\_\_\_ / Н.Н. Сысоев /  
«\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**

**Наименование дисциплины:**

ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ АСТРОФИЗИКА

---

**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:**

1. Д.ф.-м.н., профессор, Липунов Владимир Михайлович, кафедра астрофизики и звездной астрономии физического факультета МГУ

Заведующий кафедрой

Д.ф.-м.н. профессор Постнов Константин Александрович

## **Аннотация к рабочей программе дисциплины «ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ АСТРОФИЗИКА»**

В лекционном курсе “ **Теоретическая астрофизика** ” профессора Липунова В.М. содержатся фундаментальные знания о теории переноса и методах решения уравнения переноса; об излучении черного тела; о современных моделях возникновения и расширения Вселенной; о развитии неустойчивостей и теории роста малых возмущений в расширяющейся Вселенной ; о возникновении галактик и звезд; о физических условиях в атмосферах звезд и о внутреннем строении звезд; об условиях формирования непрерывного спектра звезд; о классической и квантовой теориях поглощения в линиях; об эволюции одиночных и двойных звезд; о различных механизмах аккреции ; о магнитосферах нейтронных звезд и белых карликов; о типах замагниченных звезд и их эволюции; о популяционном синтезе двойных звезд ; о сверхмассивных черных дырах и квазарах; о нестационарных процессах во Вселенной и т.д.

### **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 «Теоретическая астрофизика» реализуется на 4-ом курсе в 7-ом и 8-ом семестрах и содержит фундаментальные знания по части модуля «Астрономия» профессионального блока базовой части. Дисциплина является обязательным спецкурсом кафедры (вариативная часть, профессиональный блок, модуль «Астрономия»). Курс является необходимым связывающим звеном между общими курсами «Общая астрофизика», «Галактическая астрономия», «Астрофизика нейтронных звезд и черных дыр», «Экстремальные процессы во Вселенной», «Роботизированные обсерватории и взрывные процессы во Вселенной», спецкурсами по физике межзвездной среды, эволюции галактик и космологии.

3.1. Дисциплины и практики, которые должны быть освоены для начала освоения данной дисциплины.

«Общая астрономия», «Общая астрофизика», «Галактическая астрономия».

3.2. Дисциплины и практики, для которых освоение данной дисциплины (модуля) необходимо как предшествующее.

Спецкурсы по астрофизике нейтронных звезд и черных дыр, звездной динамике, физике межзвездной среды, физике и эволюции галактик и космологии. Ее освоение также обязательно для научно-исследовательской работы, курсовых работ, дипломных работ, связанной с исследованием всех стадий эволюции одиночных и кратных звезд.

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

«Общая астрономия», «Общая астрофизика», «Галактическая астрономия».

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

Спецкурсы по астрофизике нейтронных звезд и черных дыр, звездной динамике, физике межзвездной среды, физике и эволюции галактик и космологии. Ее освоение также обязательно для научно-исследовательской работы, курсовых работ, дипломных работ, связанной с исследованием всех стадий эволюции одиночных и кратных звезд.

В результате освоения дисциплины у обучающихся должны быть сформированы:

Формируемые компетенции (код компетенции)	Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю)
УК-1.Б	<b>3-1 Знать:</b> фундаментальные законы теоретической астрофизики <b>3-2 Знать:</b> теорию переноса и методы решения уравнения переноса; законы излучения черного тела; современные модели возникновения и расширения Вселенной; теорию развития неустойчивостей и теорию роста малых возмущений в расширяющейся Вселенной; теорию возникновения галактик и звезд; физические условия в атмосферах звезд и внутреннее строение звезд; условия формирования непрерывного спектра

	<p>звезд; классическую и квантовую теорию поглощения в линиях; эволюцию одиночных и двойных звезд; различные механизмы аккреции ; свойства магнитосфер нейтронных звезд и белых карликов; типы замагниченных звезд и их эволюции; основы популяционного синтеза двойных звезд и принципы Машины сценариев ; условия образования сверхмассивных черных дыр и квазаров; нестационарные процессы во Вселенной.</p> <p><b>У-1 Уметь:</b> строить теоретические модели астрофизики, используя критический анализ данных</p> <p><b>У-2 Уметь:</b> планировать и проводить экспериментальные исследования в области теоретической астрофизики, объяснять и оценивать в рамках основных физических законов результаты, полученные в процессе эксперимента</p> <p><b>В-1 Владеть:</b> математическим аппаратом, применяемым в астрофизике</p> <p><b>В-2 Владеть:</b> методами решения уравнений переноса, излучения черного тела; уравнений развития неустойчивостей и роста малых возмущений в расширяющейся Вселенной ; уравнений классической и квантовой теории поглощения в линиях; уравнений различные механизмов аккреции ; методами построения эволюционных треков на основе популяционного синтеза двойных звезд с помощью Машины сценариев ; условия образования сверхмассивных черных дыр и квазаров; нестационарные процессы во Вселенной.</p>
ОПК-1.Б	<p><b>З-1 Знать:</b> основные математические методы, используемые при решении задач теоретической астрофизики</p> <p><b>У-1 Уметь:</b> решать типовые задачи теоретической астрофизики</p> <p><b>У-2 Уметь:</b> строить математические модели явлений и процессов, происходящих в звездах.</p> <p><b>В-1 Владеть:</b> навыками проведения физического эксперимента и обработки его результатов</p>

2. **Форма обучения:** очная.

3. **Язык обучения:** русский.

4. **Содержание дисциплины**

*Тема 1. Вводный раздел. Основные понятия теории переноса.*

Основные понятия теории переноса. Интенсивность, поток, плотность энергии излучения, коэффициент поглощения (объемный, на грамм, на частицу), коэффициент излучения.

*Тема 2. Излучение черного тела.*

Определение свойств равновесного излучения из первых принципов (изотропия, однородность, отсутствие поляризации, зависимость только от одной температуры).

Опыт Стефана.

Связь давления излучения и плотности энергии. Объяснение закона Стефана-Больцмана из термодинамических соображений.

Энтропия излучения.

### *Тема 3. Рождение Вселенной*

Неразрешенные парадоксы Фридмановской модели (принцип причинности и однородность Вселенной, близость плотности к критической). Инфляция.

### *Тема 4. Динамика расширения Вселенной.*

Наблюдательные свидетельства рождения Вселенной (Закон Хаббла, реликтовое излучение, однородность и изотропия). Ньютоновская и пост-ньютоновская теория расширения Вселенной (критическая плотность, параметр замедления, Фридмановская Вселенная, роль давления и уравнение Толмена). Основные формулы эволюции температуры, плотности, масштабного фактора).

### *Тема 5. Образование галактик.*

Джинсовская неустойчивость. Ньютоновская теория роста малых возмущений в расширяющейся Вселенной. Эволюция Джинсовской массы с расширением Вселенной.

### *Тема 6. Образование звезд.*

Протозвездная среда. Образование звезд в ранней Вселенной. Общая характеристика межзвездной среды. Магнитные поля, космические лучи. Функция Солпитера.

### *Тема 7. Уравнение переноса.*

Нестационарное уравнение переноса. Закон сохранения энергии, уравнение переноса в векторной форме, условие лучистого равновесия. Излучение плоского слоя.

### *Тема 8. Приближенные методы решения уравнения переноса*

Функция источника. Уравнение переноса в диффузионном приближении. Граничные условия.

### *Тема 9. Приближенные методы решения уравнения переноса*

Серая фотосфера. Метод Шварцшильда-Шустера. Метод Эддингтона.

### *Тема 10. Приближенные методы решения уравнения переноса*

Сравнение различных методов решения задачи о серой фотосфере. Распределение яркости по диску звезды. Зависимость температуры и плотности от глубины. Эддингтоновский предел..

### *Тема 11. Непрерывный спектр звезд.*

Коэффициент непрерывного поглощения. Свободно-свободные и связано-свободные переходы. Фактор Гаунта. Поглощение отрицательным ионом водорода. Средний коэффициент поглощения..

### *Тема 12. Непрерывный спектр звезд.*

Общая постановка задач теории фотосфер. Приближенная теория. Бальмеровский декремент.

### *Тема 13. Непрерывный спектр звезд.*

Общая постановка задачи расчета непрерывного спектра звезд. Наблюдаемые характеристики непрерывных спектров звезд.

### *Тема 14. Классическая теория поглощения в линиях.*

Теория Лоренца. Естественная ширина линии. Постоянная затухания. Затухание вследствие столкновений, эффект Доплера. Формула Фойгта.

*Тема 15. Классическая теория поглощения в линиях*

Коэффициенты Эйнштейна. Формула Планка. Коэффициент поглощения, сила осциллятора.

*Тема 16. Линии поглощения при ЛТР.*

Уравнение переноса в линиях. Эквивалентная ширина. Определение профиля линии.

*Тема 17. Физические условия в атмосферах звезд.*

Возбуждение и ионизация атомов. Концентрация свободных электронов. Турбулентность. Вращение звезд. Магнитные поля звезд.

*Тема 18. Спектральные классы звезд.*

Зависимость спектра от температуры. Определение ионизационной температуры звезд. Звезды поздних спектральных классов.

### ***Весенний семестр.***

*Тема 19. Внутреннее строение звезд (гидростатическое равновесие).*

Уравнение гидростатического равновесия. Термодинамика звезд.

*Тема 20. Внутреннее строение звезд (политропы).*

Вариационный принцип. Теорема вириала. Теория политропных шаров.

*Тема 21. Внутреннее строение звезд (ядерные реакции).*

Гидродинамическое, тепловое и ядерное время. Ядерные реакции в звездах. Общая система уравнений внутреннего строения звезды. Соотношение масса-светимость.

*Тема 22. Звездная эволюция (устойчивость).*

Тепловая устойчивость звезд. Отрицательная теплоемкость звезд. Загорание гелия

*Тема 23. Звездная эволюция.*

Теорема о максимуме температуре самогравитирующей конфигурации. Продукты звездной эволюции: нейтронные звезды, черные дыры и белые карлики.

*Тема 24. Эволюция двойных звезд.*

Полость Роша. Тесные двойные. Перемена ролей. Общая оболочка. Эволюционный сценарий.

*Тема 25. Сферическая аккреция.*

Режимы истечения звезд и режимы аккреции. Энерговыделение в результате аккреции. Сферическая аккреция Бонди.

*Тема 26. Цилиндрическая аккреция.*

Радиус гравитационного захвата. Формула Бонди-Хойла-Литлтона.

Аккреция из звездного ветра. Рентгеновские источники в двойных системах.

*Тема 27. Дискковая аккреция (динамика).*

Стандартная модель дискковой аккреции Шакуры-Сюняева. Основные уравнения.

*Тема 28. Дискковая аккреция (светимость и спектр).*

Решение уравнений стационарной дискковой аккреции. Основные зоны аккреционного диска. К.П.Д. и зона максимального энерговыделения. Универсальный спектр.

*Тема 29. Магнитосферы нейтронных звезд и белых карликов.*

Теория рентгеновских пульсаров. Катаклизмические переменные и симбиотические звезды.

*Тема 30. Магнитоэмиттующее излучение компактных звезд.*

Радиопульсары. Электродинамика радиопульсаров.

*Тема 31. Типы замагниченных компактных звезд.*

Режимы взаимодействия гравитирующих замагниченных звезд с аккрецируемой плазмой. Характерные радиусы взаимодействия. Классификация замагниченных звезд.

*Тема 32. Эволюция компактных звезд.*

Приближенные уравнения эволюции. Треки нейтронных звезд в двойных системах.

*Тема 33. Популяционный синтез двойных звезд с релятивистскими компонентами.*

Основные методы популяционного синтеза. Машина Сценариев.

*Тема 34. Нестационарные процессы в метагалактике.*

Эволюция одиночных и двойных звезд. Нейтронные звезды, черные дыры и белые карлики. Сверхновые звезды. Гамма-всплески. МАСТЕР: обнаружение поляризации собственного оптического излучения гамма-всплесков.

*Тема 35. Сверхмассивные черные дыры и активность галактических ядер и квазаров.*

Образование сверхмассивных черных дыр. Аккреция звезд и газа на сверхмассивные черные дыры.

*Тема 36. Гравитационно-волновая астрономия.*

Астрофизические источники гравитационных волн. Детекторы гравитационных волн, расчет чувствительности для LIGO/Virgo на Маchine Сценариев. Локализация источников гравитационных волн в электромагнитном диапазоне. Глобальная сеть телескопов-роботов МАСТЕР МГУ: наибольший вклад в исследование тысяч квадратных градусов полей ошибок LIGO/Virgo в оптическом диапазоне и независимое обнаружение Килоновой GW 170817. Эпохи наблюдений O1, O2, O3.

## 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	
Теоретическая астрофизика	6	216	144	72	72	72

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

Изучение курса «Теоретическая астрофизика» включает в себя лекции, на которых рассматривается теоретическое содержание курса; семинарские занятия, предусматривающие углубленное изучение и обсуждение вопросов, обозначенных в темах дисциплины; самостоятельную работу, заключающуюся в подготовке к лекционным и семинарским занятиям. Темы, рассматриваемые на лекциях и изучаемые самостоятельно, закрепляются на семинарских занятиях, 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	Научно-практические занятия	Семинары	Самостоятельная работа	
1	Вводный раздел. Основные понятия теории переноса	6	2	1	2	1	Собеседование, опрос
2	Излучение черного тела.	6	2	1	2	1	
3	Рождение Вселенной	6	2	1	2	1	
4	Динамика расширения Вселенной.	6	2	1	2	1	
5	Образование галактик.	6	2	1	2	1	
6	Образование звезд.	6	2	1	2	1	
7	Уравнение переноса.	6	2	1	2	1	
8	Приближенные методы решения уравнения переноса	6	2	1	2	1	
9	Приближенные методы решения уравнения переноса	6	2	1	2	1	
10	Приближенные методы решения уравнения переноса	6	2	1	2	1	
11	Непрерывный спектр звезд. Свободно-свободные и связано-свободные переходы, средний коэффициент поглощения.	6	2	1	2	1	
12	Непрерывный спектр звезд. постановка задач теории фотосфер	6	2	1	2	1	
13	Непрерывный спектр звезд. расчета непрерывного спектра звезд	6	2	1	2	1	

14	Классическая теория поглощения в линиях.	6	2	1	2	1	
15	Классическая теория поглощения в линиях	6	2	1	2	1	
16	Линии поглощения при ЛТР.	6	2	1	2	1	
17	Физические условия в атмосферах звезд.	6	2	1	2	1	
18	Спектральные классы звезд.	6	2	1	2	1	
19	Внутреннее строение звезд (гидростатическое равновесие).	6	2	1	2	1	
20	Внутреннее строение звезд (политропы).	6	2	1	2	1	
21	Внутреннее строение звезд (ядерные реакции).	6	2	1	2	1	
22	Звездная эволюция (устойчивость).	6	2	1	2	1	
23	Звездная эволюция (продукты эволюции: НЗ, ЧД, БК).	6	2	1	2	1	
24	Эволюция двойных звезд.	6	2	1	2	1	
25	Сферическая аккреция.	6	2	1	2	1	
26	Цилиндрическая аккреция	6	2	1	2	1	
27	Дисковая аккреция (динамика).	6	2	1	2	1	
28	Дисковая аккреция (светимость и спектр).	6	2	1	2	1	
29	Магнитосферы нейтронных звезд и белых карликов.	6	2	1	2	1	
30	Магнитообращательное излучение компактных звезд.	6	2	1	2	1	
31	Типы замаскированных компактных звезд.	6	2	1	2	1	
32	Эволюция компактных звезд.	6	2	1	2	1	
33	Популяционный синтез двойных звезд с релятивистскими компонентами.	6	2	1	2	1	
34	Нестационарные процессы в метagalактике.	6	2	1	2	1	
35	Сверхмассивные черные дыры и активность галактических ядер и квазаров.	6	2	1	2	1	
36	Гравитационно-волновая астрономия.	6	2	1	2	1	
37	Промежуточная аттестация	4	2	1	1	-	

Экзамен в форме письменной работы с последующим собеседованием

<b>ИТОГО:</b>	<b>216</b>	<b>72</b>	<b>36</b>	<b>72</b>	<b>36</b>	
---------------	------------	-----------	-----------	-----------	-----------	--

## 9. Текущий контроль и промежуточная аттестация.

Текущий контроль по дисциплине «Теоретическая астрофизика» осуществляется на лекциях и семинарских занятиях 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 «Теоретическая астрофизика» проводится в первом семестре в форме зачета и экзамена. Зачет в форме письменной работы, 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
<b>Оценочные средства текущего контроля</b>		
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
<b>Оценочные средства промежуточной аттестации</b>		
Письменная работа	Средство, позволяющее оценить сформированность систематических представлений о методах научно-исследовательской деятельности.	Перечень вопросов к экзамену

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: фундаментальные законы теоретической астрофизики и их взаимосвязь УК-1.Б 3-1	Отсутствие знаний фундаментальных законов теоретической астрофизики и их взаимосвязей	В целом успешные, но не систематические знания фундаментальных законов теоретической астрофизики и их взаимосвязей	В целом успешно, но содержащее отдельные пробелы знания фундаментальных законов теоретической астрофизики и их взаимосвязей	Успешные и систематические знания фундаментальных законов теоретической астрофизики и их взаимосвязей
ЗНАТЬ: основные математические методы, используемые при решении задач теоретической астрофизики ОПК-1.Б 3-1	Отсутствие знаний или фрагментарное применение основных математических методов, при решении задач теоретической астрофизики	В целом успешное, но не систематическое применение основных математических методов, при решении задач теоретической астрофизики	В целом успешно, но содержащее отдельные пробелы знание основных математических методов, при решении задач теоретической астрофизики	Успешное и систематическое знание основных математических методов, при решении задач теоретической астрофизики
УМЕТЬ: строить теоретические модели теоретической астрофизики, используя критический анализ данных УК-1.Б У-1	Отсутствие умения строить теоретические модели теоретической астрофизики, используя критический анализ данных	В целом успешное, но не систематическое умение строить теоретические модели теоретической астрофизики, используя критический анализ данных	В целом успешно, но содержащее отдельные пробелы умение строить теоретические модели теоретической астрофизики, используя критический анализ данных	Успешное и систематическое умение строить теоретические модели теоретической астрофизики, используя критический анализ данных
УМЕТЬ: решать	Отсутствие умения решать	В целом успешное, но	В целом успешно	Успешное и систематическое

типовые задачи теоретической астрофизики ОПК-1.Б У-1	типовые задачи	не систематическое умение решать типовые задачи	е, но содержащее отдельные пробелы умение решать типовые задачи	умение решать типовые задачи
УМЕТЬ: строить математические модели явлений и процессов теоретической астрофизики ОПК-1.Б У-2	Отсутствие умения строить математические модели физических явлений и процессов	В целом успешное, но не систематическое умение строить математические модели физических явлений и процессов	В целом успешно, но содержащее отдельные пробелы умение строить математические модели физических явлений и процессов	Успешное и систематическое умение строить математические модели физических явлений и процессов
ВЛАДЕТЬ: математическим аппаратом, применяемым в теоретической астрофизике УК-1.Б В-1	Отсутствие/фрагментарное владение математическим аппаратом, применяемым в теоретической астрофизике	В целом успешное, но не систематическое владение математическим аппаратом, применяемым в теоретической астрофизике	В целом успешно, но содержащее отдельные пробелы владение математическим аппаратом, применяемым в теоретической астрофизике	Успешное и систематическое владение математическим аппаратом, применяемым в теоретической астрофизике
ВЛАДЕТЬ: методами теоретического исследования явлений и процессов в теоретической астрофизике УК-1.Б В-2	Отсутствие/фрагментарное владение методами теоретического исследования явлений и процессов в теоретической астрофизике	В целом успешное, но не систематическое владение методами теоретического исследования явлений и процессов в теоретической астрофизике	В целом успешно, но содержащее отдельные пробелы владение методами теоретического исследования явлений и процессов в теоретической астрофизике	Успешное и систематическое владение методами теоретического исследования явлений и процессов в теоретической астрофизике

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

### *Материалы текущего контроля успеваемости обучающихся*

Задачи можно найти по адресу: <http://sai.msu.ru/ao/>

**Пример:** Вывести закон изменения масштабного фактора Вселенной для случая критической плотности на пылевидной стадии.

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

#### **Материалы промежуточной аттестации обучающихся**

Вопросы к экзамену и зачету можно найти по адресу:

<http://www.sai.msu.ru/ao/speccourses/ta.html>

**Пример:** Предмет теоретической астрофизики. Пространство и время в механике Ньютона. Система координат и тело отсчета. Часы. Система отсчета. Эталоны длины и времени.

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

#### **Основная литература.**

1. Липунов В.М. "Астрофизика нейтронных звезд", Москва «Наука», 1987. 206с.
2. Липунов В.М. "Астрофизика нейтронных звезд", Москва «Русский мир», 2015 332с
3. Липунов В.М. "В мире двойных звезд", Москва, Наука, 205 с., 1986.
4. Липунов В.М. "От Большого Взрыва до Великого Молчания", , Москва, "АСТ", 2018. 480с.
5. Липунов В.М., Д.Я. Мартынов "Сборник задач по астрофизике", Москва, Наука, 128 с., 1986
6. Липунов В.М. "Дисковая аккреция на замагниченные компактные объекты", Астрометрия и Астрофизика, т.36, с.8-12, 1978а.

#### **Дополнительная литература.**

1. Lipunov V., Postnov K., Prokhorov M. "Evolution of the double neutron star merging rate and the cosmological origin of Gamma-ray burst sources", Astroph.J., 1995, v.454, 593-596 (with Postnov, K.A. , Prokhorov M.E.) – М.: Физический факультет МГУ, 2010. 368 с
2. Липунов В.М. "Астрофизический смысл открытия гравитационных волн", в журнале Успехи физических наук, издательство Наука (М.), том 186, с. 1011-1022
3. "Эволюция нейтронных звезд в массивных двойных системах", "Физика нейтронных звезд, образование, строение и эволюция" (тематический сборник), ЛФТИ, Ленинград, т.2, с.74-76, 1988 (совместно с К.А.Постновым и М.Е.Прохоровым).
4. "The Scenario Machine: Binary Population Synthesis", Review of Astrophys. and Sp.Sci., Ed. R.A.Sunyaev, Harwood Acad. Publ., vol.17, pp.1-160, 1996
5. Липунов В.М. "Лауреаты Нобелевской премии 2017 года по физике - Р.Вайсс, Б.Бэриш, К.Торн", в журнале Природа, издательство Наука (М.), том 2018, № 1, с. 65-73
6. Липунов В.М. "Военная тайна астрофизики" Соросовский образовательный журнал, N5, с.83-89, 1998

#### **Интернет-ресурсы.**

<http://sai.msu.ru/ao/>

<http://www.pereplet.ru/lipunov/>

<http://www.pereplet.ru/avtor/lipunov.html>

<http://master.sai.msu.ru>

#### **Материально-техническое обеспечение**

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

Курс может быть прочитан в поточной аудитории при наличии: учебной доски, по возможности работающих электрических розеток, проектора, экрана.