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:**

ОБЩАЯ 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, Засов Анатолий Владимирович, кафедра астрофизики и звездной астрономии
2. Д.ф.-м.н. профессор Постнов Константин Александрович, кафедра астрофизики и звездной астрономии

Заведующий кафедрой астрофизики и звездной астрономии
Д.ф.-м.н., профессор Постнов Константин Александрович

**Аннотация к рабочей программе дисциплины**
«Общая астрофизика»

Дисциплина «Общая астрофизика» относится к общим астрономическим курсам. Она включает знакомство с методами и результатами исследования астрофизических источников, знакомство с нерешенными научными проблемами. Предполагается иллюстрация применения фундаментальных законов физики для объяснения процессов в астрофизических объектах, умение производить простейшие численные оценки, связывающие важнейшие параметры этих источников. В результате освоения дисциплины «Общая астрофизика» студенты должны приобрести базовые знания о современном состоянии астрофизических исследований и о связи этих исследований с решением смежных проблем астрономии и космологии.

**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 «Общая астрофизика» реализуется на .3-м курсе в 5-ом и 6-ом семестрах, и является составной частью модуля «Астрономия» профессионального блока базовой части.

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

Отсутствуют.

**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:*** фундаментальные законы физики в применении к космическим явлениям<br>***З-2 Знать:*** основные понятия практической астрофизики и обработки наблюдений<br>***У-1Уметь:*** разбираться в теоретических подходах к объяснению наблюдаемых астрофизических явлений<br>***У-2Уметь:*** планировать и проводить экспериментальные исследования в области астрофизики, объяснять и оценивать в рамках основных физических законов результаты, полученные при наблюдениях<br>***В-2 Владеть:*** методами теоретического исследования явлений и процессов в астрофизике |
| ОПК-1.Б | ***З-1 Знать:*** основные физические методы, используемые при решении задач в области астрофизики<br>***У-1Уметь:*** решать типовые задачи астрофизического содержания<br>***У-2Уметь:*** разбираться в физических моделях космических явлений и процессов<br>***В-1 Владеть:*** навыками выбора методов астрофизических исследований для решения поставленных научных задач |

**3. Форма обучения:** очная.

**4. Язык обучения:** русский.

**5. Содержание дисциплины**

*Тема 1.* Излучение и поглощение электромагнитных волн в космической среде
Основные понятия. Поток и интенсивность излучения. Излучение абсолютно черного тела. Формула Планка и ее предельные случаи. Эффективная и яркостная температуры. Понятие полного и локального термодинамического равновесия. Коэффициент излучения. Коэффициент поглощения и оптическая толща. Томсоновское рассеяние. Уравнение

переноса при наличии излучения и поглощения, простейшие решения. Образование спектральных линий при ЛТР. Примеры спектров различных космических орбъектов..

*Тема 2. Межзвездная среда и звездообразование*

Основные составляющие и наблюдаемые проявления МЗС. Прозрачность МЗС для различных длин волн. Физические особенности разреженной МЗС. Запрещенные линии. Излучение нейтрального водорода 21 см. Магнитные поля в МЗС. Вмороженность магнитного поля в МЗС. Космичекские лучи. Синхротронное излучение релятивистских электронов. Методы диагностики плазмы МЗС: мера дисперсии и мера вращения. Механизмы объемного нагрева и охлаждения МЗС и тепловая неустойчивость. Ионизованный водород и зоны HII. Горячий (корональный) газ. Молекулярные облака. Гравитационная неустойчивость и формирование звезд. Влияние вращение и магнитного поля на сжатие протозвездных облаков. Области звездообразования в Галактике, и космические мазеры.

*Тема 3. Физика стационарных звезд*

Общие характеристики звезд. Диаграмма Герцшпрунга-Рессела. Стационарные звезды. Уравнение гидростатического равновесия. Теорема вириала для невырожденных звезд. Отрицательная теплоемкость звезд и её физическая интерпретация. Тепловая устойчивость звёзд. Ядерные реакции в звёздах: водородный и CNO-циклы. Происхождение химических элементов. Лучистая теплопроводность. Конвекция. Уравнения внутреннего строения звезд главной последовательности. Эддингтоновсикй предел светимости. Соотношения масса-светимость и масса-радиус для звезд главной последовательности. Атмосферы звезд. Образование спектральных линий. Спектральная классификация звезд. Формирование непрерывного спектра. Особенности спектров звезд различных спектральных классов.

*Тема 4. Физика Солнца*

Общие характеристики. Масса, радиус, спектральный класс. Физические параметры и особенности фотосферы, хромосферы и короны Солнца. Многоволновые наблюдения. Солнечные пятна. Активность Солнца. Солнечные циклы. Хромосферная активность. Солнечные вспышки и их физическая причина. Солнечный ветер. Солнечно-земные связи. Гелиосейсмология и её основные результаты. Внутренне строение и химический состав Солнца. Проблема солнечных нейтрино и ей современное решение.

*Тема 5. Физика солнечной системы*

Планеты и малые тела в Солнечной системе. Основные физические характеристики и методы изучения тел Солнечной системы. Межпланетная среда. Гелиосфера. Модели образования планетной системы. Методы обнаружения и наблюдательные особенности экзопланет.

*Тема 6. Нестационарные звезды и взрывы звезд*

Потеря массы звездами главной последовательности. Звездный ветер у звезд разных спектральных классов. Методы определения физических параметров звездного ветра .Профили спектральных линий типа P Cyg. Переменные звезды. Пульсации звезд. Цефеиды. Зависимость период-светимость. Новые звезды. Вспышки сверхновых и их наблюдательная классификация. Физические механизмы взрывов. Гиперновые и гамма-всплески. Термоядерные сверхновые типа Ia. Ярчайшие сверхновые. Остатки сверхновых и их взаимодействие с межзвездной средой.

*Тема 7. Эволюция звезд и конечные стадии эволюции.*

Эволюция звезд после главной последовательности. Горение гелия и образование C-O ядра. .. Вырождение в гелиевых и C-O ядрах. .Давление вырожденного газа в предельных случаях

(нерелятивистский и ультрарелятивистский). Слоевые источники. Стадия красных гигантов. Асимптотическая ветвь гигантов. Сброс планетарной туманности. Белые карлики. Эволюция массивных звезд до образования железного ядра. Звезды Вольфа-Райе. Роль нейтрино в эволюции массивных звезд. Физические причины потери устойчивости железных ядер. УРКА-процессы в звездах. Нейтронизация, фотодиссоциация железа, эффекты ОТО. Гравитационный коллапс.. Образование нейтронных звезд (НЗ). Одиночные НЗ. Внутреннее строение НЗ. Методы определения масс, радиусов и напряженностей магнитных полей НЗ.

*Тема 8. Двойные звезды и ТДС*

Особенности эволюции звезд в двойных системах. Приближение Роша и полость Роша. Обмен массами в тесных двойных системах. Парадокс Алголя и его разрешение. Наблюдательные проявления эволюции ТДС. Стадии эволюции ТДС. Белые карлики в двойных системах, Катаклизмические переменные и новые звезды. Нейтронные звезды и черные дыры в ТДС. Эволюция ТДС. Массивные и маломассивные рентгеновские ТДС. Рентгеновские пульсары. Рентгеновские барстеры. Рентгеновские новые.

*Тема 9. Элементы физики галактик*

Основные характеристики галактик. Состав и структура галактик различных морфологических типов. Движение газа и звезд . Кривые вращения галактических дисков. Связь кривой вращения с распределением массы в галактике. Проблема темного гало. Физическая природа спиральной структуры. Содержание газа и звездообразование в галактиках. Взаимодействие галактик. Активные ядра: наблюдаемые проявления, источник энергии. Газ в скоплениях галактик. Межгалактическая среда. Лайман-альфа лес. Предельно далекие галактики. Крупномасштабная структура.

*Тема 10. Физические основы космологии*

Расширение Вселенной. Закон Хаббла. Распространение света. Физическая интерпретация красного смещения. Парадокс Ольберса и его разрешение. Ускоренное расширение Вселенной по данным астрономических наблюдений. Космологическая постоянная и темная энергия. Параметры космологических моделей. Гипотеза об инфляционной стадии. Современная космологическая модель и методы её проверки. Численное моделирование образования крупномасштабной структуры. Нерешенные проблемы космологии.

## 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 | |
| Общая астрофизика (осень) | 2 | 72 | 54 | 36 | 18 | 18 |
| Общая астрофизика (весна) | 2 | 72 | 51 | 17 | 34 | 21 |

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

Изучение курса «Общая 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.

## Осенний семестр

| № 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 | Излучение и поглощение электромагнитных волн в космической среде | 12 | 6 | - | 4 | 2 | Проверочная работа, опрос |
| 2 | Межзвездная среда и звездообразование | 18 | 10 | - | 4 | 4 | |
| 3 | Физика стационарных звезд | 18 | 10 | - | 4 | 4 | |
| 4 | Физика Солнца | 12 | 6 | - | 4 | 2 | |
| 5 | Физика солнечной системы | 6 | 4 | - | 2 | - | |
| | Промежуточная аттестация | 6 | | | | 6 | Зачет |
| ИТОГО: | | 72 | 36 | - | 18 | 18 | |

## Весенний семестр

| № 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 | |
| **6** | Нестационарные звезды и взрывы звезд | **14** | **4** | **-** | **8** | **2** | Проверочная работа, опрос |
| **7** | Эволюция звезд и конечные стадии эволюции | **16** | **4** | **-** | **8** | **4** | |
| **8** | Двойные звезды и ТДС | **15** | **5** | **-** | **6** | **4** | |
| **9** | Элементы физики галактик | **12** | **2** | **-** | **6** | **4** | |
| **10** | Физические основы космологии | **10** | **2** | **-** | **6** | **2** | |
| | Промежуточная аттестация | **5** | | | | **5** | Экзамен в устной форме |
| **ИТОГО:** | | **72** | **17** | **-** | **34** | **21** | |

**9. Текущий контроль и промежуточная аттестация.**

Текущий контроль по дисциплине «Общая 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 «Общая астрофизика» проводится в осеннем семестре в форме зачета. Весенний семестр завершается устным экзаменом. 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 курса.

**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 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 физики в приложении к | Отсутствие знаний фундаментальных законов физики в | В целом успешные, но не систематические знания | В целом успешное, но содержащее отдельные | Успешные и систематические знания фундаментальных законов |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| космическим объектам УК-1.Б З-1 | приложении к космическим объектам | фундаментальных законов физики в приложении к космическим объектам | пробелы знания фундаментальных законов физики в приложении к космическим объектам | физики в приложении к космическим объектам |
| ЗНАТЬ: основные понятия математической обработки астрофизических наблюдений УК-1.Б З-2 | Отсутствие знаний или фрагментарное знание основных понятий математической обработки астрофизических наблюдений | В целом успешное, но не систематическое знание основных понятий математической обработки астрофизических наблюдений | В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы знание основных понятий математической обработки астрофизических наблюдений | Успешное и систематическое знание основных понятий математической обработки астрофизических наблюдений |
| ЗНАТЬ: основные математические методы, используемые при решении задач по астрофизике ОПК-1.Б З-1 | Отсутствие знаний или фрагментарное применение основных математических методов, при решении задач по астрофизике | В целом успешное, но не систематическое применение основных математических методов, при решении задач по астрофизике | В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы знание основных математических методов, при решении задач по астрофизике | Успешное и систематическое знание основных математических методов, при решении задач по астрофизике |
| УМЕТЬ: строить астрофизические модели, используя критически анализ данных УК-1.Б У-1 | Отсутствие умения строить астрофизические модели используя критически анализ данных | В целом успешное, но не систематическое умение строить астрофизические модели, используя критически анализ данных | В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы умение строить астрофизические модели используя критически анализ данных | Успешное и систематическое умение строить астрофизические модели используя критически анализ данных |
| УМЕТЬ: планировать и проводить экспериментальные исследования в области | Отсутствие умения планировать и проводить экспериментальные исследования в | В целом успешное, но не систематическое умение планировать и проводить | В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы умение | Успешное и систематическое планировать и проводить экспериментальные исследования в |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| астрофизики, объяснять и оценивать в рамках основных физических законов результаты, полученные в процессе астрофизических наблюдений УК-1.Б У-2 | области астрофизики, объяснять и оценивать в рамках основных физических законов результаты, полученные в процессе астрофизических наблюдений | экспериментальные исследования в области астрофизики, объяснять и оценивать в рамках основных физических законов результаты, полученные в процессе астрофизических наблюдений | планировать и проводить экспериментальные исследования в области астрофизики, объяснять и оценивать в рамках основных физических законов результаты, полученные в процессе астрофизических наблюдений | области астрофизики, объяснять и оценивать в рамках основных физических законов результаты, полученные в процессе астрофизических наблюдений |
| УМЕТЬ: решать типовые задачи по астрофизике ОПК-1.Б У-1 | Отсутствие умения решать типовые задачи по астрофизике | В целом успешное, но не систематическое умение решать типовые задачи по астрофизике | В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы умение решать типовые задачи по астрофизике | Успешное и систематическое умение решать типовые задачи по астрофизике |
| УМЕТЬ: строить математические модели астрофизических явлений и процессов ОПК-1.Б У-2 | Отсутствие умения строить математические модели астрофизических явлений и процессов | В целом успешное, но не систематическое умение строить математические модели астрофизических явлений и процессов | В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы умение строить математические модели астрофизических явлений и процессов | Успешное и систематическое умение строить математические модели астрофизических явлений и процессов |
| ВЛАДЕТЬ: математическим аппаратом, применяемым в астрофизике УК-1.Б В-1 | Отсутствие/фрагментарное владение математическим аппаратом, математическим аппаратом, применяемым в астрофизике | В целом успешное, но не систематическое владение математическим аппаратом, математическим аппаратом, применяемым в астрофизике | В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы владение математическим аппаратом, математическим аппаратом, применяемым в астрофизике | Успешное и систематическое владение математическим аппаратом, математическим аппаратом, применяемым в астрофизике |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| ВЛАДЕТЬ: методами теоретического исследования явлений и процессов в астрофизике УК-1.Б В-2 | Отсутствие/фрагментарное владение методами теоретического исследования явлений и процессов в астрофизике | В целом успешное, но не систематическое владение методами теоретического исследования явлений и процессов в астрофизике | В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы владение методами теоретического исследования явлений и процессов в астрофизике | Успешное и систематическое владение методами теоретического исследования явлений и процессов в астрофизике |
| ВЛАДЕТЬ: навыками в интерпретации астрофизических данных, полученных в результате наблюдений ОПК-1.Б В-1 | Отсутствие/фрагментарное владение навыками в интерпретации астрофизических данных, полученных в результате наблюдений | В целом успешное, но не систематическое владение навыками в интерпретации астрофизических данных, полученных в результате наблюдений | В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы владение навыками в интерпретации астрофизических данных, полученных в результате наблюдений | Успешное и систематическое владение навыками в интерпретации астрофизических данных, полученных в результате наблюдений |

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

***Пример 1:*** Найдите отношение размеров газовых облаков 1 и 2, если по плотности они отличаются вдесятеро ($n_1>n_2$), а по интенсивности излучения – в 100 раз ($I_1<I_2$). Оптическая толщина облаков мала.

Пример 2: . Найти джинсовскую массу газа HI в формирующемся диске галактики с плотностью газа $10^{-23}$ г/см$^3$ и температурой $10^4$ К. Вращением пренебречь.

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

***Материалы промежуточной аттестации обучающихся***

*Пример 1:* Масса расширяющейся оболочки составляет 0.5 $M_\odot$, скорость – 500 км/с. До какого радиуса и в течение какого времени ее разлет может считаться свободным, если окружающая среда имеет плотность 10^-23 г/см$^3$?

*Пример 2:* На адиабатической стадии расширения скорость расширения V(t) меняется как t^-3/5, где t – время от момента взрыва звезды. За какое время оболочка, имевшая в начале

этапа адиабатического расширения радиус 1 пк и скорость 1000 км/с , увеличит свой радиус вдесятеро?

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

Основная литература.

А.В.Засов, К.А.Постнов. Общая астрофизика, М., Век-2, 3-е издание, 2015.

**Интернет-ресурсы**
**http://www.astronet.ru/db/msg/1170612**

Дополнительная литература.

1. Н.Г.Бочкарев. Основы физики межзвездной среды.. М., «ЛИБРОКОМ»,
2. «Многоканальная астрономия», сборник под ред. А.М.Черепащука. Фрязино, Век-2, 2019.

Интернет-ресурсы.

**http://www.astronet.ru/db/msg/1170612**

1.

**Материально-техническое обеспечение**

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

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