

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

**ФИЗИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ
КАФЕДРА АСТРОФИЗИКИ И ЗВЕЗДНОЙ АСТРОНОМИИ**

УТВЕРЖДАЮ

«__» _____ 20__ г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

Наименование дисциплины:

ОБЩАЯ АСТРОФИЗИКА

Уровень высшего образования:

Специалитет

Специальность:

03.05.01 Астрономия

Направленность (профиль)/специализация образовательной программы:

Общая специальность

Форма обучения:

Очная

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», утвержденным приказом МГУ от 30.12.2020 г. № 1381.

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

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, знакомство с методами исследования различных астрофизических сред, умение производить простейшие численные оценки, связывающие важнейшие параметры наблюдаемых космических источников излучения различной природы. 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 физики.

Дисциплина реализуется на 3 курсе в 5 и 6 семестрах и является обязательной для освоения обучающимися.

Объем дисциплины составляет 4 з.е., в том числе 105 академических часов, отведенных на контактную работу обучающихся с преподавателем, 39 академических часов, отведенных на самостоятельную работу обучающихся.

Промежуточная аттестация по дисциплине (модулю) – зачет в 5 семестре, экзамен в 6 семестре.

1. Место дисциплины (модуля) в структуре образовательной программы

Дисциплина «Общая астрофизика» относится к базовой части и является обязательной для освоения на астрономическом отделении.

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

Освоение курса «Общая астрономия» и физических дисциплин, читавшихся на первых двух курсах физического факультета

3. Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), соотнесенные с требуемыми компетенциями выпускников

| Код и наименование компетенции | Код и наименование индикатора (индикаторов) достижения компетенции | Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), соотнесенные с индикаторами достижения компетенций |
|--------------------------------|--|--|
| | | Знать: Типы космических объектов, наблюдаемых в различных областях спектра - от гамма-лучей до радиоволн; интервалы плотностей и температур различных объектов и сред; механизмы излучения и формирования непрерывного, эмиссионного и абсорбционного спектров космических объектов; различные наблюдаемые состояния межзвездного газа (области HI, HII, «корональный» газ, молекулярные облака, мазерные источники); физические механизмы нагрева и остывания разреженных сред и источники нагрева межзвездного газа; роль магнитного поля в эволюции межзвездной среды и в нестационарных процессах, происходящих в солнечной системе; знать существующие представления о формировании космических тел (планет, звезд, галактик) и их эволюции; знать наблюдательные основы концепции расширяющейся Вселенной и современной космологии. |

| | | |
|--|--|--|
| | | <p>Уметь: Производить оценки физических параметров космических объектов на основе наблюдательных данных с учетом расстояния до них. Решать задачи по темам занятий, в соответствии с программой курса. Уметь рассчитывать размеры, массу и другие характеристики астрономических объектов с использованием данных, полученных из наблюдений. Уметь объяснить с физической точки зрения природу и наблюдаемые особенности космических объектов.</p> <p>Владеть/Иметь опыт: Владеть методами расчета основных физических параметров, характеризующих свойства космических объектов и сред. Иметь опыт поиска необходимой информации в открытых базах данных.</p> |
|--|--|--|

4. Объем дисциплины (модуля) составляет 4 з.е., в том числе: 105 академических часов, отведенных на контактную работу обучающихся с преподавателем, 39 академических часов, отведенных на самостоятельную работу обучающихся.

Контактная работа включает в себя:

занятия лекционного типа (лекции и иные учебные занятия, предусматривающие преимущественную передачу учебной информации педагогическими работниками организации и (или) лицами, привлекаемыми организацией к реализации образовательных программ на иных условиях, обучающимся), и (или) занятия семинарского типа (семинары, практические занятия, практикумы, лабораторные работы, коллоквиумы и иные аналогичные занятия), и (или) групповые консультации, и (или) индивидуальную работу обучающихся с педагогическими работниками организации и (или) лицами, привлекаемыми организацией к реализации образовательных программ на иных условиях (в том числе индивидуальные консультации);...

В конце данного пункта следует отметить, если дисциплина или часть ее реализуется с применением электронного обучения и дистанционных образовательных технологий)

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

| Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины (модуля), Форма промежуточной аттестации по дисциплине (модулю) | Всего (ак.ч.) | В том числе | | | | | Самостоятельная работа обучающегося, академические часы | Форма текущего контроля успеваемости, наименование |
|---|-----------------------|--|---------------------------|--|-------|--|---|--|
| | | Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем) Виды контактной работы, академические часы ¹ | | | | | | |
| | | Занятия лекционного типа (лекции) | Занятия семинарского типа | | Всего | | | |
| Семинары | Лабораторные занятия* | | Практические занятия* | | | | | |
| 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 | 12 | 6 | 4 | | | | 2 | Проверочная работа |

¹Текущий контроль успеваемости может быть реализован в рамках занятий лекционного и(или) семинарского типа.

| | | | | | | | | |
|---|-----------|-----------|----------|--|--|--|----------|--|
| <p>температуры. Понятие полного и локального термодинамического равновесия.</p> <p>Коэффициент излучения.</p> <p>Коэффициент поглощения и оптическая толщина.</p> <p>Томсоновское рассеяние. Уравнение переноса при наличии излучения и поглощения, простейшие решения.</p> <p>Образование спектральных линий при ЛТР. Примеры спектров различных космических орбъектов</p> | | | | | | | | |
| <p>Тема 2. Межзвездная среда и звездообразование</p> <p>Основные составляющие и наблюдаемые проявления МЗС.</p> <p>Прозрачность МЗС для различных длин волн.</p> <p>Физические особенности разреженной МЗС.</p> <p>Запрещенные линии.</p> | 18 | 10 | 4 | | | | 4 | |

| | | | | | | | | |
|--|--|--|--|--|--|--|--|--|
| <p>Излучение нейтрального водорода 21 см. Магнитные поля в МЗС. Вмороженность магнитного поля в МЗС. Космические 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 НII. Горячий (корональный) газ. Молекулярные облака. Гравитационная неустойчивость и формирование звезд. Влияние вращения и магнитного поля на сжатие протозвездных облаков. Области звздообразования в Галактике, и космические мазеры</p> | | | | | | | | |
|--|--|--|--|--|--|--|--|--|

| | | | | | | | | |
|---|-----------|-----------|----------|--|--|--|----------|--------------|
| Тема 3. Физика стационарных звезд Общие характеристики звезд. Диаграмма Герцшпрунга-Рессела. Стационарные звезды. Уравнение гидростатического равновесия. Теорема вириала для невыврожденных 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. Эддингтоновский предел светимости. Соотношения масса- светимость и масса- радиус для звезд главной | 18 | 10 | 4 | | | | 4 | <i>Опрос</i> |
|---|-----------|-----------|----------|--|--|--|----------|--------------|

| | | | | | | | | |
|--|-----------|----------|----------|--|--|--|----------|--|
| <p>последовательности. Атмосферы звезд. Образование спектральных линий. Спектральная классификация звезд. Формирование непрерывного спектра. Особенности спектров звезд различных спектральных классов.</p> | | | | | | | | |
| <p>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.</p> | 12 | 6 | 4 | | | | 2 | |

| | | | | | | | | |
|---|-----------|----------|----------|--|--|--|----------|-----------------------------|
| Гелиосейсмология и её основные результаты. Внутреннее строение и химический состав Солнца. Проблема солнечных нейтрино и её 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 | 6 | 4 | 2 | | | | - | |
| Промежуточная аттестация | 6 | | | | | | 6 | <i>Зачет в устной форме</i> |
| Тема 6. Нестационарные звезды и взрывы звезд Потеря массы звездами главной последовательности. Звездный ветер у звезд разных спектральных | 14 | 4 | 8 | | | | 2 | |

| | | | | | | | | |
|--|-----------|----------|----------|--|--|--|----------|---------------------------|
| <p>классов. Методы определения физических параметров звездного ветра. Профили спектральных линий типа Р 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.</p> | | | | | | | | |
| <p>Тема 7. Эволюция звезд и конечные стадии эволюции. Эволюция звезд после главной последовательности. Горение гелия и образование С-О ядра. .. Вырождение в</p> | 16 | 4 | 8 | | | | 4 | Проверочная работа, опрос |

| | | | | | | | | |
|--|--|--|--|--|--|--|--|--|
| <p>гелиевых и С-О 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,</p> | | | | | | | | |
|--|--|--|--|--|--|--|--|--|

| | | | | | | | | |
|--|-----------|----------|----------|--|--|--|----------|--|
| 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 | 15 | 5 | 6 | | | | 4 | |

| | | | | | | | | |
|--|-----------|----------|----------|--|--|--|----------|--|
| 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 | 12 | 2 | 6 | | | | 4 | |
|--|-----------|----------|----------|--|--|--|----------|--|

| | | | | | | | | |
|---|-----------|----------|----------|--|--|--|----------|-------------------------------|
| 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. | 10 | 2 | 6 | | | | 2 | <i>Опрос</i> |
| Промежуточная аттестация_____ | 5 | | | | | | 5 | <i>Экзамен в устной форме</i> |

| | | | |
|---------------------------------------|------------|--|-----------|
| <i>(указывается форма проведения)</i> | | | |
| Итого | 144 | | 39 |

*Лабораторные занятия, практические занятия относятся к практической подготовке обучающихся.

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

6.1. Типовые задания и иные материалы, необходимые для оценки результатов обучения:

Примеры устных вопросов :

1. Каковы механизмы нагрева и охлаждения межзвездного газа
2. Синхротронное излучение, при каких условиях оно возникает, привести примеры наблюдаемых источников.
3. Что такое мера дисперсии, и в каких источниках она наблюдается?
4. Какова была температура фонового реликтового излучения в эпоху рекомбинации?
5. Где останавливается поток солнечного ветра?

Примеры вопросов на промежуточной аттестации:

1. Диагностика межзвездной плазмы. Мера вращения
2. Конечные стадии эволюции массивных звезд.
3. Фоновое реликтовое излучение: его природа и плотность энергии
4. Отрицательная теплоемкость невырожденных звезд и её физический смысл.
5. Чем отличаются температуры эффективные, яркостные, цветовые, ионизационные? В каком случае они совпадают?

Примеры задач:

1. Как изменится параболическая скорость на поверхности белого карлика, возникшего при слиянии двух маломассивных белых карликов одинаковой массы?
2. Звездный ветер звезды уносит 10^{-9} Мс/год. При какой светимости звезды (в единицах Солнца) темп потери массы на излучение звезды будет одного порядка с темпом потери за счет звездного ветра?
3. Оцените характерный промежуток времени между столкновениями нейтральных атомов водорода в межзвездной среде при температуре 7000 К и плотности $3.3 \cdot 10^{-24}$ г/см³. Эффективное сечение атомов принять 10^{-16} см².
4. Пульсар с $R = 10$ км, $M = 1$ Мс замедляет вращение на 10^{-9} с/день. Оценить темп падения вращательной энергии в единицах светимости Солнца.
5. При каком темпе аккреции на звезду с $M = 5$ Мс выделяемая энергия аккрецирующего потока будет соответствовать эддингтоновской светимости?

6.2. Шкала и критерии оценивания

(шкала и критерии оценивания могут быть типовыми для всех дисциплин (модулей), входящих в ОПОП ВО)

7. Ресурсное обеспечение

- Перечень основной и дополнительной учебной литературы

Основная литература.

А.В.Засов, К.А.Постнов. Общая астрофизика, М., Век-2, 3-е издание, 2015; 4-е издание – ДМК, 2022.

Дополнительная литература.

1. Н.Г.Бочкарев. Основы физики межзвездной среды.. М., «ЛИБРОКОМ», 2015

2. «Многоканальная астрономия», сборник под ред. А.М.Черепашука. Фрязино, Век-2, 2019.

- Перечень лицензионного и (или) свободно распространяемого программного обеспечения _____ *(приводится при необходимости)*
- Перечень профессиональных баз данных и информационных справочных систем _____ *(приводится при необходимости)*
- Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет» _
Интернет-ресурсы ГАИШ МГУ

Учебный материал: <http://www.astronet.ru/db/msg/1170612>

Solar activity monitoring: <http://93.180.27.45/2020/2020.html>

- Описание материально-технической базы
 - Курс читается в поточной аудитории при наличии: работающих электрических розеток, компьютера, проектора, экрана, учебной доски
(приводится при необходимости)

8. Язык преподавания: русский *(при работе с англоязычной группой курс может быть прочитан на английском языке.)*

(отдельно укажите, если дисциплина может быть реализована на иностранном языке).