

МИНОБРНАУКИ РОССИИ  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Костромской государственный университет»  
(КГУ)

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

**АСТРОФИЗИКА**

Направление подготовки 03.03.02–Физика

Направленность: Физика

Квалификация выпускника: Бакалавр

**Кострома 2022**

Рабочая программа дисциплины «Астрофизика» разработана в соответствии с Федеральным государственным образовательным стандартом высшего образования направления подготовки 03.03.02–Физика, утвержден 07.08.2020 г., приказ № 891

Разработал: Жиров Александр Владимирович, доцент кафедры общей и теоретической физики, к.т.н.

Рецензент: Шадрин Сергей Юрьевич, заведующий кафедрой общей и теоретической физики, к.т.н., доцент

**УТВЕРЖДЕНО:**

Заведующий кафедрой общей и теоретической физики

Шадрин Сергей Юрьевич, к.т.н., доцент

Протокол заседания кафедры № 8 от 17 марта 2022 г.

**ПЕРЕУТВЕРЖДЕНО:**

Заведующий кафедрой общей и теоретической физики

Шадрин Сергей Юрьевич, к.т.н., доцент

Протокол заседания кафедры № 6 от 27 февраля 2023 г.

## 1. Цели и задачи освоения дисциплины

Общефизическая цель курса заключается в формировании целостного и достаточно современного представления о строении материи на всех ее основных структурных уровнях.

Задачи дисциплины:

- дать студентам основы теории развития понятий астрофизики,
- показать влияние астрофизических знаний на изменение взглядов на строение вещества,
- обратить внимания на современные проблемы астрофизики.

В результате изучения учебной дисциплины «Астрофизика» у обучаемых должны сформироваться компетенции:

- способен применять базовые знания в области физико-математических и (или) естественных наук в сфере своей профессиональной деятельности (ОПК-1)

## 2. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине

В результате изучения дисциплины «Астрофизика» обучаемые должны

**Освоить компетенции:**

**ОПК-1:** способен применять базовые знания в области физико-математических и (или) естественных наук в сфере своей профессиональной деятельности.

Код и содержание индикаторов компетенции

**ОПК-1.5.** Применяет фундаментальные знания в области физики для освоения специализированных физических дисциплин

В результате освоения дисциплины обучающийся должен:

**знать**

- методы астрономических исследований и инструменты, область их применений;
- условия равновесия внутри звезды;
- эволюционные временные шкалы, фаза главной последовательности;
- происхождение химических элементов;
- модели образования планетарных систем;
- уравнения переноса энергии в звездах;
- законы движения планет;
- методы поиска экзопланет;

**уметь**

- вычислять распределение температуры и термические характеристики звезд;
- находить взаимосвязь между излучением звезды и ее массой;
- вычислять траектории небесных тел в планетарных системах и в галактиках;
- находить взаимосвязь между характеристиками объектов в двойных системах;

**владеть**

- методами расчета времени жизни звезд и двойных звезд;
- методами вычисления динамики температурного поля для расчета явлений переноса энергии внутри звезд.

## 3. Место дисциплины в структуре ОП ВО

Дисциплина «Астрофизика» изучается в восьмом семестре и относится к обязательной части образовательной программы подготовки бакалавров физики.

Программа курса «Астрофизика» может быть выполнена при полном и целесообразном использовании лекции, практических занятий и времени для самостоятельных работ студентов. Физика является точной и фундаментальной наукой. Истинность физических явлений и процессов может быть установлена только через

эксперимент путем получения количественных соотношений между ними, однако подобный путь в данной дисциплине не возможен – нельзя поставить эксперимент по созданию Вселенной или Солнечной системы. Поэтому данная дисциплина дает возможность развития абстрактного мышления, построенного на конкретных фактах. Лекционный материал сопровождается демонстрацией отдельных физических процессов и явлений, происходящих на различных планетах (компьютерная анимация).

Курс лекций «Астрофизика» опирается на полученные ранее знания по математике (математический анализ, дифференциальные уравнения, уравнения математической физики) и физике (механика, теория поля, квантовая теория, атомная и ядерная физика).

Детальное изложение данного курса невозможно без знания студентами некоторых вопросов общей теории относительности. При этом большее внимание уделялось таким вопросам, как метрика Шварцшильда и фридмановское расширение Вселенной.

#### **4. Объем дисциплины (модуля)**

##### **4.1. Объем дисциплины в зачетных единицах с указанием академических (астрономических) часов и виды учебной работы**

Виды учебной работы,	Очная форма
Общая трудоемкость в зачетных единицах	4
Общая трудоемкость в часах	144
Аудиторные занятия в часах, в том числе:	90
Лекции	54
Практические занятия	36
Лабораторные занятия	–
Самостоятельная работа в часах	54
Форма промежуточной аттестации	экзамен 8семестр

##### **4.2. Объем контактной работы на 1 обучающегося**

Виды учебных занятий	Очная форма
Лекции	54
Практические занятия	36
Лабораторные занятий	–
Консультации	2
Зачет/зачеты	–
Экзамен/экзамены	0,35
Курсовые работы	–
Курсовые проекты	–
Всего	92,35

## 5. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам), с указанием количества часов и видов занятий

### 5.1 Тематический план учебной дисциплины

№	Название раздела, темы	Всего з.ед/час	Аудиторные		Самостоят. работа
			Лекции	Практ.	
	Введение в Астрофизику	4	2		2
1	Методы астрофизических исследований	12	6	4	2
2	Внутреннее строение звезд	16	8	6	2
3	Эволюция звезд	14	6	6	2
4	Солнце	14	8	4	2
5	Планетарные системы	14	8	4	2
6	Галактики. Скопления галактик	16	8	6	2
7	Межзвездная среда	12	6	4	2
8	Элементы современной космологии	6	2	2	2
	ЭКЗАМЕН:	36			<b>36</b>
	<b>ВСЕГО:</b>	<b>144</b>	<b>54</b>	<b>36</b>	<b>54</b>

### 5.2. Содержание:

#### Тема 1 Введение в Астрофизику

Пространственно-временные масштабы в астрофизике. Основные фотометрические понятия

#### Тема 2. Методы астрофизических исследований

Методы астрономических исследований и инструменты. Область применений и их ограничения.

#### Тема 3. Внутреннее строение звезд

Условия равновесия внутри звезды. Физическое состояние газа. Давление газа и давление излучения. Давление вырожденного газа. Источники звездной энергии. Звездные модели

#### Тема 4 Эволюция звезд

Эволюционные временные шкалы. Сжатие звезд на пути к главной последовательности. Фаза главной последовательности. Фаза гиганта. Финальные стадии эволюции. Эволюция тесных двойных звезд. Происхождение химических элементов

#### Тема 5 Солнце

Внутреннее строение. Атмосфера. Солнечная активность.

#### Тема 6 Планетарные системы

Образование планетарных систем. Законы движения планет. Физическая природа тел солнечной системы. Экзопланеты.

Тема 7 Галактики. Скопления галактик

Состав и структура галактик. Типы галактик. Определение расстояний до галактик. Скопления галактик. Особенности эволюции галактик в скоплениях.

Тема 8 Межзвездная среда

Межзвездная пыль. Межзвездный газ. Межзвездные молекулы. Образование протозвезд

Планетарные туманности. Остатки сверхновых. Горячая корона Млечного Пути. Космические лучи и межзвездное магнитное поле

Тема 9. Элементы современной космологии

Модель Фридмана с космологической постоянной. Космологические параметры. Эволюция расширения Вселенной. Критическая плотность. Ограничения на космологические параметры из анизотропии реликтового излучения фотонов и данных по сверхновым типа Ia.

## 6. Методические материалы для обучающихся по освоению дисциплины

### 6.1. Самостоятельная работа обучающихся по дисциплине (модулю)

№	Название темы	Задание	Часы	Методические рекомендации по выполнению задания	Форма
0	Введение в Астрофизику	Проработка лекционного материала	2	Обзор литературы	Письменный опрос
1	Методы астрофизических исследований	Проработка лекционного материала	2	Обзор литературы	Выступление с презентацией
2	Внутреннее строение звезд	Проработка лекционного материала	2	Обзор литературы	Письменный опрос
3	Эволюция звезд	Проработка лекционного материала	2	Обзор литературы	Письменный опрос
4	Солнце	Проработка лекционного материала	2	Обзор литературы	Письменный опрос
5	Планетарные системы	Проработка лекционного материала	2	Обзор литературы	Выступление с презентацией
6	Галактики. Скопления галактик	Проработка лекционного материала	2	Обзор литературы	Устный опрос
7	Межзвездная среда	Проработка	2	Обзор литературы	Письменный

		лекционного материала			опрос
8.	Элементы современной космологии	Проработка лекционного материала	2	Обзор литературы	Письменный опрос

## 6.2. Тематика и задания для практических занятий

Формой отчетности по данной дисциплине является экзамен. Необходимые условия допуска к экзамену:

- Наличие полного конспекта лекций
- Сдача всех контрольных работ (3 шт) с положительным результатом

Ниже приведены примерные планы практических занятий.

### Семинар 1-4.

#### Тема: Методы астрофизических исследований

Вопросы семинара:

Оптические методы наблюдений.

Радиоастрономия.

ИК- и УФ- астрономия.

Астроспектроскопия.

### Семинар 5-8.

#### Тема: Внутренне строение звезд

Расчет давления внутри звезд.

1) Считая, что плотность вещества звезды  $10^5 \text{ кг/м}^3$ , а температура  $10^7 \text{ К}$  найдите давление газа внутри звезды. Состав звезды 70% водород, 30% - гелий.

2) Рассчитайте давление вырожденного газа в случае Солнца.

3) Найдите давление излучения в звезде при условии, что ее температура  $10^7 \text{ К}$ .

4) Определите лучистый и конвективный температурный градиент для звезды типа Солнца.

5) Оцените время, за которое температура Солнца изменилась бы вдвое без термоядерного подогрева в центре. Считайте Солнце состоящим из ионизованного водорода с массой  $M_{\odot} = 2 \cdot 10^{33} \text{ г}$  и температурой  $T = 7 \text{ млн. градусов}$  (половина от температуры в центре звезды). Молярная масса водорода  $m_H = 1 \text{ г/моль}$ , газовая постоянная  $R = 8,3 \text{ Дж/(моль} \cdot \text{К)}$ . Плотность потока энергии солнечного излучения на орбите Земли  $F = 1,4 \text{ кВт/м}^2$ , радиус орбиты Земли  $R_E = 150 \text{ млн. км}$ . При расчёте используйте известное выражение  $S = 4\pi r^2$  для площади сферы радиуса  $r$ .

6) Какой площади должен быть «световой» парус — полностью отражающая свет плоскость, чтобы в окрестности Земли на него действовала сила давления солнечного излучения в 1 ньютон? Плотность потока энергии солнечного излучения на орбите Земли  $F = 1,4 \text{ кВт/м}^2$ . Для расчёта давления излучения используйте известное соотношение  $w = pc$  между энергией  $w$  и импульсом  $p$  фотона (частицы света), где  $c = 300\,000 \text{ км/с}$  — скорость света (фотона).

7) За время термоядерного горения в Солнце выделится энергия, равная 0,7% от энергии покоя «прогоревшего» вещества  $M_{\text{гс}} c^2$ . Масса вещества  $M_{\text{г}}$ , которое вступит в термоядерные реакции, составляет около 10% от всей массы Солнца  $M_{\odot} = 2 \cdot 10^{33} \text{ кг}$ ,  $c = 300\,000 \text{ км/с}$  — скорость света. Какое время термоядерное горение сможет поддерживать на Земле поток солнечного излучения порядка современного значения  $J = 1,4 \text{ кВт/м}^2$ ? Радиус орбиты Земли  $R_3 = 150 \text{ млн. км}$ . Площадь сферы радиуса  $r$  равна  $4\pi r^2$ .

8) Покажите, что сила притяжения Луны к Солнцу больше силы притяжения Луны к Земле. Попробуйте объяснить, почему же всё-таки Луна вращается вокруг Земли. Радиус

орбиты Земли  $R_3 = 150$  млн. км, Луна удалена от Земли на расстояние  $R_L = 380$  тыс. км и делает один оборот вокруг Земли примерно за месяц

9) Какой толщины должен быть алюминиевый «световой» парус — полностью отражающая свет плоскость, чтобы преодолеть своё притяжение к Солнцу за счёт давления солнечного света? Плотность алюминия  $\rho = 2700$  кг/м<sup>3</sup>. Плотность потока энергии солнечного излучения на орбите Земли  $J = 1,4$  кВт/м<sup>2</sup>. Земля обращается вокруг Солнца за один год по орбите радиусом  $R_3 = 150$  млн. км. Для расчёта давления излучения используйте известное соотношение  $w = pc$  между энергией  $w$  и импульсом  $p$  фотона (частицы света), где  $c = 300\,000$  км/с — скорость света (фотона).

### Семинар 9-12.

#### Тема: Планетарные системы

1) Оцените максимальную массу и диаметр метеороида, который будет почти остановлен атмосферой Земли до падения на нашу планету. Плотность вещества метеороида  $3$  г/см<sup>3</sup>, плотность воздуха  $1,3$  кг/м<sup>3</sup>, приведённая высота атмосферы Земли  $9$  км.

2) Согласно современным представлениям наша галактика Млечный Путь погружена в облако тёмной материи, радиус которого много больше размера видимой составляющей Галактики. Оцените массу тёмной материи внутри видимой части Млечного Пути с радиусом порядка  $50$  тыс. световых лет, если звёзды на периферии Галактики движутся примерно с той же скоростью  $250$  км/с, что и Солнце, которое находится примерно на половине радиуса видимой части Галактики, т. е.  $25$  тыс. световых лет. При этом основная масса звёзд и газа сосредоточена в центральной части Галактики, радиус которой около  $10$  тыс. световых лет, и составляет  $10^{12}$  масс Солнца.

3) Оцените минимальный диаметр сферического металлического спутника, который можно заметить невооружённым глазом на орбите с высотой  $400$  км. Видимая звёздная величина Солнца на Земле  $m = -26,7$ , человек видит звёзды до  $6$   $m$ .

4) Определите радиус орбиты геостационарного спутника (спутника, который постоянно находится над одной точкой Земли), если ускорение свободного падения на поверхности Земли  $g = 9,8$  м/с<sup>2</sup>, а радиус Земли  $R = 6400$  км.

5) При наибольшем сближении с Землёй (в противостоянии) Марс имеет видимую звездную величину  $m_0 = -2,5$ . Вычислите видимую звездную величину Марса через три месяца после противостояния. Расстояние от Земли до Солнца  $R_E = 150$  млн. км, расстояние от Марса до Солнца  $R_M = 230$  млн. км.

6) Спутник вращается по круговой орбите вокруг Земли. Из-за трения о верхние слои атмосферы его высота постепенно уменьшается. Как изменяется кинетическая энергия спутника, если трение совершает над ним работу минус  $1$  Дж?

7) На какую максимальную высоту над горизонтом поднимается Солнце в Нижнем Новгороде в самый длинный и самый короткий дни года? Географическая широта Нижнего Новгорода  $56^\circ$  к северу от экватора, а северного тропика —  $23^\circ$

### Семинар 13-16.

#### Тема: Галактики. Скопление галактик.

1) Расстояние до Туманности Ориона было определено наиболее точно методом параллакса на радиointерферометре VLBA в 2007 г. Угловое смещение звёзд туманности в диаметрально противоположных точках орбиты Земли составило  $\theta = \pm 0,00242$  угловых секунды. Определите, сколько времени идёт до нас свет от Туманности Ориона со скоростью  $c = 300\,000$  км/с, если радиус орбиты Земли  $R_E = 150$  млн. км.

2) Представьте плоскую спиральную галактику, погружённую в однородное облако невидимой тёмной материи. Центральная часть галактики представляет собой массивный светящийся шар из звёзд и газа — балдж. Звёзды, расположенные на границе балджа, и на вдвое большем удалении от центра галактики вращаются с одинаковыми поступательными скоростями вокруг центра галактики. Определите отношение



плотностей масс светящейся и тёмной материй в балдже (пренебрегая массой плоской составляющей галактики)

### **Семинар 17-18.**

#### **Тема: Элементы современной космологии**

Вопросы семинара:

Положения современной космологии как науки о глобальном строении Вселенной.

Определение базовых характеристик стандартной фридмановской модели.

Понятие космологической плотности.

Закономерности распределения излучения в искривленном пространстве.

## **7. Перечень основной и дополнительной литературы, необходимой для освоения дисциплины (модуля)**

### **а) основная литература:**

1. М. Чаругин. Классическая астрономия: Учебное пособие. – М.: МПГУ, 2013. – 214. /[http://biblioclub.ru/index.php?page=book\\_view&book\\_id=213016](http://biblioclub.ru/index.php?page=book_view&book_id=213016)

2. Мурзин В. С. Астрофизика космических лучей: Учебное пособие для вузов. – М.: Университетская книга; Логос, 2007. – 488с. /[http://biblioclub.ru/index.php?page=book\\_view&book\\_id=84789](http://biblioclub.ru/index.php?page=book_view&book_id=84789)

3. Пандул И. С. Геодезическая астрономия применительно к решению инженерно-геодезических задач. — СПб.: Политехника, 2010.—324с. / [http://biblioclub.ru/index.php?page=book\\_view&book\\_id=129559](http://biblioclub.ru/index.php?page=book_view&book_id=129559)

### **б) дополнительная литература:**

1. Сурдин, В.Г. Разведка далеких планет / В.Г. Сурдин. - 4-е изд., доп. - Москва : Физматлит, 2017. - 364 с. : табл., ил. - ISBN 978-5-9221-1747-0 ; То же [Электронный ресурс]. - URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=485518> (03.12.2018).

2. Солнечная система / А.А. Бережной, В.В. Бусарев, Л.В. Ксанфомалити и др. ; ред.-сост. В.Г. Сурдин. - 2-е изд., перераб. - Москва : Физматлит, 2017. - 458 с. : ил. - (Астрономия и астрофизика). - Библиогр.: с. 444-445. - ISBN 978-5-9221-1722-7 ; То же [Электронный ресурс]. - URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=485511> (03.12.2018).

3. Небо и телескоп / К.В. Куимов, В.Г. Курт, Г.М. Рудницкий и др. ; ред.-сост. В.Г. Сурдин. - 3-е, испр. и доп. - Москва : Физматлит, 2017. - 436 с. : ил. - (Астрономия и астрофизика). - ISBN 978-5-9221-1734-0 ; То же [Электронный ресурс]. - URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=485278> (03.12.2018).

## **8. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины**

Информационно-образовательные ресурсы:

Электронные библиотечные системы:

1. Университетская библиотека онлайн <http://biblioclub.ru>
2. ЭБС «Znanium»

## **9. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине**

### **Аудитория для лекций**

Лекционные занятия проводятся в аудиториях с требуемым числом посадочных мест, оборудованные мультимедиа (например, корпус Е, № 226, количество посадочных мест – 60, мультимедийный комплекс, включающий экран, компьютер и проектор)

### **Аудитория для практических занятий:**

Корпус Е, № 304, количество посадочных мест – 24.

### **Аудитории для самостоятельной работы:**

Читальный зал корпуса «Е», количество посадочных мест – 22, 9 компьютеров (6 для читателей, 3 для сотрудников); 1 сканер.

Читальный зал корпуса «Б1», количество посадочных мест – 200. 3 компьютера для сотрудников; 1 принтер; 1 копир/принтер; 1 проектор; 2 экрана для проектора; 1 ворота «Антивор»; 1 WIFI-точка доступа. Лицензионное ПО: АИБС МаркSQL.

Компьютерный класс, корпус "Е", ауд.227, количество посадочных мест – 16, Блок системный КМ Office ТЗ-4170, монитор Philips. Лицензионное ПО: Windows 8.1 Pro договор № 50155/ЯР4393 от 12.12.2014 с ООО Софт-лайн Проекты, MathCAD Education договор № 208/13 от 10.06.2013 с ООО ЮнитАльфаСофт.

<b>Аннотация</b>		
Наименование дисциплины	<b>Астрофизика</b>	
Направление подготовки	<b>03.03.02–Физика</b>	
Направленность подготовки	Физика	
Трудоемкость дисциплины	Зачетные единицы	Часы
	4	144
Формы контроля	Экзамен	
<b>Цели освоения дисциплины</b>		
Цель лекционных занятий – дать студентам основы теории развития понятий астрофизики, влияние астрофизических знаний на изменение взглядов на строение вещества, обратить внимания на современные проблемы астрофизики.		
<b>Задачи дисциплины</b>		
– дать студентам основы теории развития понятий астрофизики, – показать влияние астрофизических знаний на изменение взглядов на строение вещества, – обратить внимания на современные проблемы астрофизики		
<b>Место дисциплины в структуре ОП</b>		
Данная дисциплина изучается в восьмом семестре обязательной части образовательной программы подготовки бакалавров физики.		
<b>Формируемые компетенции</b>		
ОПК-1: способен применять базовые знания в области физико-математических и (или) естественных наук в сфере своей профессиональной деятельности		
<b>Требования к уровню освоения содержания дисциплины:</b>		
знать:		
– методы астрономических исследований и инструменты, область их применений; – условия равновесия внутри звезды; – эволюционные временные шкалы, фаза главной последовательности; – происхождение химических элементов; – модели образование планетарных систем; – уравнения переноса энергии в звездах; – законы движения планет; – методы поиска экзопланет;		
уметь:		
– вычислять распределение температуры и термические характеристики звезд; – находить взаимосвязь между излучением звезды и ее массой; – вычислять траектории небесных тел в планетарных системах и в галактиках; – находить взаимосвязь между характеристиками объектов в двойных системах;		
владеть:		
– методами расчета времени жизни звезд и двойных звезд; – методами вычисления динамики температурного поля для расчета явлений переноса энергии внутри звезд.		