

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

ФИЗИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ
КАФЕДРА астрофизики и звездной астрономии
КАФЕДРА экспериментальной астрономии
КАФЕДРА небесной механики, астрометрии и гравиметрии

УТВЕРЖДАЮ

_____/ /
«__» _____ 2023 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

Наименование дисциплины:

Галактическая астрономия

Уровень высшего образования:

Специалитет

Специальность:

03.05.01 Астрономия

Направленность (профиль)/специализация образовательной программы:

Общая специальность

Форма обучения:

Очная

Москва 2023

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 Расторгуев Алексей Сергеевич, кафедра экспериментальной астрономии физического факультета МГУ

Заведующий кафедрой

д.ф.-м.н., профессор Расторгуев Алексей Сергеевич, заведующий кафедрой экспериментальной астрономии

Аннотация к рабочей программе дисциплины

В лекционном курсе содержатся базовые знания о методах изучения звезд и звездных систем на основе современных наблюдательных данных и теоретических разработок. Представлены основные результаты изучения звездных населений нашей и других галактик и их основные особенности с точки зрения современных теорий звездной и химической эволюции Галактики. Дается информация о современных наземных и космических обсерваториях и полученных результатах. Анализируются связи между пространственным распределением звезд, особенностями их кинематики, химического состава и происхождения. Рассматриваются основные этапы построения универсальной шкалы расстояний, методы “стандартной свечи” и их роль в определении расстояний и основных космологических параметров Вселенной.

В курсе также даются необходимые базовые знания об основных методах практической астрономии: прецизионной астрометрии, фотометрии и фотометрических системах, спектроскопии и определении химического состава звезд.

Дисциплина реализуется на 2 курсе в 3 семестре и является обязательной для освоения обучающимися всех специальностей.

Объем дисциплины составляет 3 з.е., в том числе 72 академических часа, отведенных на контактную работу обучающихся с преподавателем, 36 академических часов, отведенных на самостоятельную работу обучающихся.

Аттестация по дисциплине (модулю) – экзамен в 3 семестре.

1. Место дисциплины (модуля) в структуре образовательной программы

(относится к базовой или вариативной части, является обязательной для освоения или дисциплиной по выбору, является факультативом)

Дисциплина «Галактическая астрономия» входит в модуль «Астрономия» блока «Профессиональный» базовой части и является обязательной для освоения обучающимися.

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

Освоение курса «Общая астрономия», прохождение летней астрономической практики

(указать, если требуются, в следующей последовательности: входная компетенция или входные результаты обучения или перечень освоенных ранее дисциплин (модулей), практик)

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__ _Место Млечного Пути в мире галактик, состав Местной Группы и ее ближайшее окружение. _Основные методы исследования звезд: - измерение координат, параллакс и собственных движений в рамках прецизионной астрометрии; - измерения блеска в широкополосных, среднесполосных и узкополосных фотометрических системах; - определения лучевых скоростей и химического состава. _Принципы существующих классификаций звезд. _Способы получения информации о звездах, звездных скоплениях и галактиках с использованием астрономических баз данных и порталов основных астрономических проектов.

		<p>_Иметь представление об основных типах звездных населений галактик и особенностях их пространственного распределения, кинематики, химического состава и происхождения.</p> <p>_Характерные параметры галактических населений.</p> <p>_Методы учета поглощения света и покраснения по данным многоцветной фотометрии (с использованием двухцветных диаграмм, трехцветных индексов и функций Везенхайта).</p> <p>_Последовательность построения универсальной шкалы расстояний, методы и результаты калибровки основных «стандартных свечей».</p> <p>_Основные фазы образования и эволюции звезд разных масс и методы определения возрастов звездных скоплений с использованием результатов теории звездной эволюции.</p> <p>_Иметь представление об эволюционных треках и изохронах.</p> <p>_Основные виды диаграммы Герцшпрунга-Рассела и методы их использования.</p> <p>_Основные процессы синтеза химических элементов и химического обогащения межзвездной среды.</p> <p>_Свойства популяции звездных скоплений и природу основных различий между рассеянными и шаровыми звездными скоплениями.</p> <p>_Методы и результаты изучения строения населений Галактики: (с использованием звездных</p>
--	--	--

		<p>подсчетов и «стандартных свечей»); основные характеристики гало, диска, балджа и бара Галактики; общее представление о спиральной структуре. Иметь представление о современных моделях Галактики.</p> <p>_Методы и результаты исследования кинематики различных подсистем Галактики по расстояниям, лучевым скоростям и собственным движениям объектов; кривую вращения диска, параметры распределения скоростей и основные различия между кинематикой объектов гало и диска; природу различий кинематики объектов разного возраста.</p> <p>Уметь__</p> <p>_Интерпретировать наблюдаемые диаграммы Герцшпрунга-Рассела для разных областей Галактики.</p> <p>_Объяснять основные связи между кинематикой, пространственным распределением, химическим составом и происхождением различных подсистем Галактики.</p> <p>-Делать оценки поглощения света в разных фотометрических полосах на основе известного закона поглощения и по трехмерным картам поглощения.</p> <p>_Использовать астрономические базы данных и находить необходимую астрономическую литературу в библиографических базах данных.</p> <p>_Делать оценки основных</p>
--	--	--

		<p>физических характеристик звезд (температуры, поверхностного ускорения силы тяжести, радиусов) и звездных скоплений (массы, дисперсии скоростей) на основе наблюдательных данных.</p> <p>_Использовать основные средства анализа наблюдательных данных в рамках Виртуальной Обсерватории.</p> <p>Владеть/Иметь опыт_</p> <p>_Основными приемами получения астрономической информации о звездах и звездных системах.</p> <p>_Основными методами использования астрономических данных для анализа пространственного распределения и кинематики звездных населений</p> <p>_Методами определения возраста населений с использованием теоретических изохрон.</p>
--	--	--

4. Объем дисциплины (модуля) составляет 3 з.е., в том числе:
72 академических часов, отведенных на контактную работу обучающихся с преподавателем, 36 академических часа, отведенных на самостоятельную работу обучающихся.

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

2	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 (лекций)	Занятия семинарского типа			Всего		
			Семинары	Лабораторные занятия*	Практические занятия*			
Тема 1 Мир галактик. Предмет и методы галактической астрономии	3	1	1				1	
Тема 2 Всеволновая и многоканальная астрономия	3	1	1				1	
Тема 3 Крупные наземные и космические телескопы	3	1	1				1	

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

Тема 4 «Всенебесные» обзоры и крупные астрономические проекты	3	1	1				1	
Тема 5 Космическая миссия GAIA: состояние, результаты и перспективы. Использование тригонометрических параллакс для определения расстояний: Байесовские методы. Калибровки «стандартных свечей» в эпоху GAIA.	3	1	1				1	
Тема 6 Астрономические базы данных, порталы проектов. Астрономическая библиография; альянс Виртуальных Обсерваторий; основные средства VO	5	2	2				1	
Тема 7 Астрофотометрия и фотометрические системы. Их реализации и классификация. Приемники излучения.	5	2	2				1	

Тема 8 Нормальные показатели цвета; цветовые калибровки эффективной температуры и болометрической поправки	5	2	2				1	
Тема 9 Газ и пыль в Галактике. Поглощение света и его учет. Монохромное и гетерохромное поглощение света. Избытки цвета. Двухцветные и трехцветные диаграммы; функция Везенхайта.	5	2	2				1	
Тема 10 Закон поглощения: аналитические представления. Двумерные и трехмерные карты поглощения.	3	1	1				1	
Тема 11 Основы звездной спектроскопии. Определение химического состава и физических характеристик звезд. Показатели «металличности».	3	1	1				1	

Спектральные библиотеки.								
Тема 12 Особенности химического состава звездных населений. Происхождение химических элементов. Первичные и вторичные нуклиды. Фотосферный химический состав и фотометрические индексы.	3	1	1				1	Контрольная работа
Тема 13 Принципы одномерной и двумерной спектральной классификации. Классы светимости. Различные формы диаграмм Герцшпрунга-Рассела.	3	1	1				1	
Тема 14 Основы теории звездной эволюции. Обзор библиотек эволюционных треков и изохрон.	5	2	2				1	
Тема 15 Джинсовская неустойчивость молекулярных облаков.	3	1	1				1	

Гравитационное сжатие. Треки Хаяши-Хеньи и протозвезды. Начальная главная последовательность.								
Тема 16 Главная последовательность для звезд разных масс. Эффективность термоядерного синтеза гелия. Время жизни звезд на ГП и принципы определения возрастов звездных скоплений.	5	2	2				1	
Тема 17 Эволюция звезд малой массы после ГП и электронное вырождение. Эволюция звезд большой массы. «Стандартные свечи» на диаграмме ГР.	5	2	2				1	
Тема 18 Популяции звезд в рассеянных и шаровых скоплениях и эволюционная интерпретация диаграмм ГР.	3	1	1				1	
Тема 19 Синтез тяжелых ядер на разных стадиях эволюции. Конечные	3	1	1				1	

стадии эволюции звезд разных масс и процессы обогащения межзвездной среды тяжелыми элементами.								
Тема 20 Понятие о химической эволюции в галактиках. Парадокс G-карликов. Относительное содержание первичных нуклидов как средство диагностики эпохи звездообразования.	3	1	1				1	
Тема 21 Функция светимости и функция масс. Методы изучения строения галактических подсистем. Интегральное уравнение Шварцшильда.	3	1	1				1	
Тема 22 Понятие о популяционном синтезе и моделирование Галактики. Безансонская модель и ее основные характеристики.	3	1	1				1	

Тема 23 Универсальная шкала расстояний. Абсолютные и относительные методы определения расстояний. Калибровки «стандартных свечей». Цефеиды, термоядерные Сверхновые и галактики как «стандартные свечи». Космологические параметры.	3	1	1				1	
Тема 24 Толстый диск, балдж и бар в Галактике. Методы и результаты их исследования. Основные характеристики	3	1	1				1	
Тема 25 Исследование кинематики галактических населений по пространственным скоростям звезд. Дифференциальное вращение диска и распределение остаточных скоростей. Отставание центроидов от LSR и его качественное	4	1	1				2	

объяснение. Вековой «разогрев» диска.								
Тема 26 Особенности кинематики толстого диска, гало, балджа и бара Галактики. СМЧД в центре Галактики.	4	1	1				2	
Тема 27 Эпициклическое приближение звездных движений Объяснение связей пространственного распределения объектов, кинематики, химического состава и природы галактических населений.	4	1	1				2	Контрольная работа
Тема 28 Рассеянные звездные скопления и их характеристики в эпоху миссии GAIA. Каталоги РЗС и статистика. Выделение членов скоплений по совокупности критериев. Определение избытков цвета, возрастов, фотометрических	4	1	1				2	

расстояний и масс скоплений.								
Тема 29 Шаровые звездные скопления и их характеристики в эпоху миссии GAIA. Каталоги ШЗС. Множественные звездные населения. Распределение и кинематика ШЗС. Структурные параметры скоплений. Приливные «шлейфы» скоплений и карликовых галактик и их использование для уточнения моделей гравитационного потенциала Галактики.	4	1	1				2	
Промежуточная аттестация__экзамен (указывается форма проведения)	2						2 ²	
Итого	108						36	

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

²Часы на проведение промежуточной аттестации выделяются из часов самостоятельной работы обучающегося

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

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

Промежуточная аттестация (экзамен)

Примеры вопросов:

Взаимный перевод избытков цвета в разных фотометрических системах.

Шкалы звездных величин: Вега и АВ-величины.

Различия в показателях $[Fe/H]$ в разных населенных Галактики.

Интерпретация различий диаграмм ГР для рассеянных и шаровых скоплений.

Очерк эволюции массивных звезд.

Принципы построения шкалы расстояний и калибровки «стандартных свечей».

Основные характеристики структурных подсистем Галактики.

Местная Группа галактик и ее население.

Пример задач для контрольной работы:

1) Неразделимая (недоступная для раздельной фотометрии компонентов) двойная звезда состоит из двух компонентов спектральных классов **A0 V** и **K5 III**. Оцените видимый интегральный (т.е. суммарный) блеск системы в полосах **V** и **B** и интегральный показатель цвета (**B-V**), если расстояние до неё равно 4 кпк, а поглощение $A_V = 2.5 \text{ mag}$. Использовать «нормальный» закон поглощения с $R_V = 3.1$.

2) Избыток цвета звезды $E(V-K) = 1.25 \text{ mag}$. Во сколько раз ослаблен её свет в полосах **U**, **B**, **V**, **R**, **I**, **J**, **H**, **K**? Использовать «нормальный» закон поглощения с $R_V = 3.1$.

3) Абсолютная болометрическая величина звезды $M_{bol} = -5.5 \text{ mag}$. Оцените логарифм ускорения силы тяжести на её поверхности ($\lg g$, в принятых в астрономии для g единицах $[cm/c^2]$), если эффективная температуры звезды $T_{eff} = 8000K$, а масса равна $10 M_{\odot}$. Эффективная температура Солнца равна $5777K$, абсолютная величина $M_V = +4.81 \text{ mag}$, болометрическая поправка $BC(V) = -0.07 \text{ mag}$.

В настоящем разделе приводятся:

- примеры типовых заданий и иных материалов с учетом указанных в таблице п.5 наименований форм текущего контроля успеваемости, например, образцы вопросов (заданий) устного опроса и домашних заданий, контрольных работ, коллоквиумов, темы докладов, рефератов итп.;
- типовые вопросы, задания и т.п. для проведения промежуточной аттестации (зачета и (или) экзамена).

6.2. Шкала и критерии оценивания: типовые для всех модулей, входящих в блок «Профессиональный»

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

7. Ресурсное обеспечение

• Перечень основной и дополнительной учебной литературы:

- Куликовский П.Г. “Звездная астрономия”. М.: «Наука», 1985.
- Марочник Л.С., Сучков А.А. «Галактика». М.: «Наука», 1984.
- Binney J., Merrifield M. “Galactic Astronomy”. Princeton: Princeton Univ. Press, 1998.

- Засов А.В., Постнов К.А. “Общая астрофизика”. М.: “ДМК”, 2023
- Сурдин В.Г. (ред.). “Астрономия и астрофизика. Галактики”. М.: “Физматлит”, 2019.
- Сурдин В.Г. (ред.). “Астрономия и астрофизика. Звезды”. М.: “Физматлит”, 2013.

Перечень свободно распространяемого программного обеспечения:

Программа для работы с таблицами и каталогами и визуализации TopCat (Tool for Operations on Catalogues And Tables – из средств Виртуальной Обсерватории) (<https://www.star.bris.ac.uk/~mbt/topcat/>)

- **Перечень профессиональных баз данных и информационных справочных систем:**
- портал Страсбургского Центра Астрономических Данных (ЦАД) <http://cdsportal.u-strasbg.fr/>
- библиографическая база “Astrophysics” NASA ADS <https://ui.adsabs.harvard.edu/classic-form>
- портал электронных препринтов <https://arxiv.org/>
- **Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет»:**
- Расторгуев А.С. «Лекции по Галактической астрономии» (<http://lnfm1.sai.msu.ru/~milkyway/GA.HTM>)
- Локтин А.В., Марсаков В.А. «Лекции по звездной астрономии» (<https://iaaras.ru/media/library/loktin.pdf>)
- Описание материально-технической базы: ноутбуки в сети Интернет для работы с программой TopCat и электронными базами данных.

8. Язык преподавания: русский (отдельно укажите, если дисциплина может быть реализована на иностранном языке).