

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

ФИЗИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ

Магистерская программа «Физика гравитационных явлений в космосе»

Междисциплинарная программа реализуется кафедрой астрофизики и звездной астрономии и кафедрой теоретической физики совместно с ГАИШ МГУ имени М.В. Ломоносова

УТВЕРЖДАЮ

**Заместитель декана физического
факультета МГУ**

_____/ А.А. Федянин /
«__» _____ 2021 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

Наименование дисциплины:

ГАЛАКТИКИ КАК МНОГОКОМПОНЕНТНЫЕ СИСТЕМЫ

Уровень высшего образования:

Магистратура

Направление подготовки:

03.04.02 Физика

Направленность (профиль) ОПОП:

Гравитация и астрофизика

Квалификация «Магистр»

Форма обучения: Очная форма обучения

Москва 2021

Рабочая программа дисциплины разработана в соответствии с самостоятельно установленным МГУ образовательным стандартом (ОС МГУ) для реализуемых основных профессиональных образовательных программ высшего образования по направлению подготовки 03.04.02 Физика.

Год (годы) приема на обучение – 2021 год

Авторы–составители рабочей программы дисциплины:

д.ф.-м.н. профессор Засов Анатолий Владимирович, кафедра астрофизики и звездной астрономии физического факультета МГУ

Руководители магистерской программы «Физика гравитационных явлений в космосе»:

академик РАН профессор Черепашук Анатолий Михайлович,

д.ф.-м.н. профессор Постнов Константин Александрович,

д.ф.-м.н. профессор Гальцов Дмитрий Владимирович

Аннотация к рабочей программе дисциплины «Галактики как многокомпонентные системы»

Курс посвящен изучению галактик, которые рассматриваются как системы, состоящие из нескольких газовых и звездных компонент, отличающихся массой, содержанием тяжелых элементов, внутренней энергией (температурой), и моментом вращения. Соотношения между этими параметрами определяют наблюдаемые свойства и особенности эволюции галактик. Будет рассказано о методах наблюдательных оценок параметров звездных и газовых компонент галактик и об их физическом взаимодействии в галактиках различных типов. Особое внимание будет уделено проблеме темного гало, процессу звездообразования в галактическом диске, и активности галактических ядер. Будут подчеркнуты те существующие проблемы в изучении галактик, которые ждут своего решения.

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 «Галактики как многокомпонентные системы» реализуется на 1-м курсе во 2-ом семестре и является составной частью профессионального блока вариативной 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)
М-СПК-1	<p>З-1 Знать: физические характеристики галактик и методы их определения</p> <p>З-2 Знать: физическую взаимосвязь между звездными и газовыми компонентами галактик, обусловленную гравитационным взаимодействием компонент, звездообразованием и активностью галактического ядра</p> <p>У-1 Уметь: рассчитывать простые теоретические модели распределения массы в структурных компонентах галактик и выполнять грубые оценки параметров, определяющих эволюцию галактик под действием внутренних и внешних процессов (з звездообразование, обогащение тяжелыми элементами, активность ядра, взаимодействие с окружением и др.).</p> <p>В-1 Владеть: современными подходами к изучению и интерпретации наблюдаемых явлений и процессов в галактиках</p>
М-СПК-2	<p>З-2 Знать: основные составляющие галактик, их наблюдаемые особенности, пространственное распределение и характерные физические параметры</p> <p>У-2 Уметь: извлекать информацию о физических свойствах галактик и происходящих в них процессах с использованием электронных баз данных и литературных источников</p> <p>В-2 Владеть: навыками самостоятельной работы</p>
М-СПК-3	<p>З-3 Знать: основные физические и математические методы, используемые при решении задач по изучению различных компонент галактик.</p> <p>У-3 Уметь: решать типовые задачи в рамках спецкурса</p> <p>В-3 Владеть: навыками использования физического подхода к интерпретации астрономических наблюдений</p>

4. Форма обучения: очная.

5. Язык обучения: русский.

6. Содержание дисциплины

Тема 1. Предмет и задачи курса. Разнообразие галактик. Интегральные физические параметры.

Строение и основные параметры нашей Галактики. Другие галактики: особенности наблюдений, проблема оценки расстояний и связанных с ним величин. Ближайшие к нам галактики.

Морфологическая классификация галактик, классификация по светимости и поверхностной яркости. Понятие размера, светимости, массы, поверхностной яркости галактик, интервалы наблюдаемых значений. Сравнение дисковых и эллиптических галактик.

Тема 2. Основные компоненты галактик.

Форма и состав звездных и газовых компонент в галактиках различных морфологических типов. Источники и механизмы излучения звездных и диффузных компонент и галактик в целом в различных спектральных диапазонах, спектральный и фотометрический методы исследований. Наблюдаемые характеристики ближайших к нам галактик, разрешаемых на звезды. Базы данных о галактиках.

Тема 3. Структура звездных компонент.

Структурные компоненты звездных дисков галактик и сфероидальных составляющих. Физические процессы, определяющие разделение на компоненты. Радиальный профиль яркости дискового и сфероидального компонента, эмпирические законы. «Вертикальное» распределение плотности для звездного диска и изотермичного газового диска, условия применимости к реальным галактикам.

Тема 4. Наблюдаемые характеристики и физическое состояние газа в газовых компонентах галактик.

Различные фазы состояния газа в галактиках, методы наблюдений. Атомарный и молекулярный газ, их относительная масса. Фактор конверсии. Физические факторы, влияющие на относительное количество молекулярного газа. Газовое гало. Горячий (рентгеновский) газ. Источники энергии, энергетический баланс. Обмен газом между гало и диском.

Тема 5. Вращение галактик. Методы оценки массы звездных компонент галактик.

Методы измерения скоростей вращения и кривых вращения галактик (оптические и радио наблюдения). Круговая скорость, связь с распределением потенциала. Учет градиента давления (радиальной дисперсии скоростей). Различие между динамикой звездной и газовой составляющей галактических дисков. Не-круговые движения газа.

Моделирование кривых вращения и определение массы дисковых галактик. Составляющие кривой вращения, связанные с отдельными компонентами. Проблема неоднозначности в оценке массы и плотности звездных дисков и пути ее решения. Определение массы эллиптических галактик по дисперсии скоростей и по рентгеновскому свечению газа.

Тема 6. Гравитационная и изгибная неустойчивости диска.

Гравитационная устойчивость столкновительных и бесстолкновительных дисков.

Условия гравитационной устойчивости дисков к возмущениям в плоскости диска. Дисперсионное соотношение. Критерии устойчивости. Использование условия устойчивости для оценки масс дисков. Условия устойчивости диска к изгибным возмущениям. Проблема формирования толстых дисков.

Тема 7. Темная масса в галактиках.

Динамические и фотометрические способы оценки массы барионного вещества. Барионная зависимость Талли-Фишера. Наблюдаемые свидетельства массивного темного гало в дисковых и эллиптических галактиках. Вириальная масса галактики. Темная масса в эллиптических галактиках, ее наблюдаемые проявления. Темная масса в скоплениях. Возможная природа темной массы и альтернативные подходы к проблеме ее существования.

Тема 8. Спиральная структура галактик и элементы теории волн плотности.

Наблюдаемые свойства спиральных ветвей, упорядоченная и флоккулентная структура. Проблема "долгоживучести" спиралей. Представление о волновой природе спиралей, наблюдаемые свидетельства волновых движений. Математическое описание возмущений в линейной спиральной волне плотности. Элементы линейной гравитационной теории спиральных волн плотности в дисках галактик. Дисперсионное соотношение. Параметры волны. Области распространения волн, резонансы. Механизмы возбуждения спиралей. Бар-структуры. Спиральные ветви и бары галактик.

Тема 9. Звездообразование в галактиках

Наблюдаемые проявления звездообразования в галактиках различных типов, индикаторы звездообразования. Области звездообразования, основные характеристики, распределение по диску. Газо-звездные комплексы. Размеры и массы комплексов для маргинально устойчивых газовых дисков. Понятие темпа (SFR) и эффективности (SFE) звездообразования. Связь темпов звездообразования с плотностью атомарного и молекулярного газа и локальной плотностью звездного диска. Физические факторы, увеличивающие и уменьшающие SFE. Различные режимы («моды») звездообразования. Особенности звездообразования в галактиках низкой яркости и на периферии дисков спиральных галактик.

Тема 10. Содержание тяжелых элементов в звездах и газе как отражение характера эволюции галактик.

Понятие металличности газа и звезд, шкала металличности. Химический состав газа и радиальный градиент металличности. Относительное содержание альфа-элементов, связь со сверхновыми. Модель химической эволюции в замкнутой системе, сопоставление с наблюдениями. Зависимость химсостава звездного населения от массы галактики. История звездообразования и возраст звездных компонент галактик.

Тема 11. Взаимодействие звездных и газовых компонент с окружением галактик.

Газ в галактических гало, около-галактический и межгалактический газ, наблюдаемые проявления. Обмен веществом с окружающей средой: аккреция и отток газа. Наблюдаемые свидетельства этих процессов, их роль в эволюции галактик. Слияние галактик (мерджинг) и динамическое трение. Галактики в скоплениях: лобовое давление и выметание газа из диска и гало, влияние на характер звездообразования. Особенности изолированных галактик.

Тема 12. Окологядерные области. Активные ядра галактик.

Особенности структуры и условия звездообразования в окологядерных областях галактик. Бары, балджи и псевдобалджи. Ядерные звездные скопления и их происхождение. Сверхмассивные черные дыры, оценка их масс, влияние на динамику центральных областей галактик. Связь массы сверхмассивных черных дыр со сферическими компонентами галактик.

Наблюдаемые проявления активности ядер (AGN), источники энергии. Эддингтонговский предел светимости. Типы активных ядер. Объяснение «сверхсветовой» скорости джетов. Структура активного ядра, области широких и узких эмиссионных линий. Влияние активности ядра на галактику. Возможная роль активности ядра в эволюции галактик.

7. Объем дисциплины

НАЗВАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ	Трудоемкость в зачетных единицах	объем учебной нагрузки в ак. часах				
		Общая трудоемкость	в том числе			Самостоятельная работа студентов
			ауд.	занятий		
Физика галактик	2	72	34	17	17	38

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

Изучение курса «Галактики как многокомпонентные системы» включает в себя лекции, на которых рассматривается теоретическое содержание курса и знакомство с современными данными наблюдений галактик и их окружения; 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	<i>Предмет и задачи курса. Интегральные физические параметры галактик</i>	4	1	-	-	3	Собеседование, опрос
2	<i>Разнообразие галактик.</i>	6	1	-	2	3	
3	<i>Основные компоненты галактик.</i>	6	2	-	1	3	

4	Структура звездных компонент.	6	1	-	2	3	
5	Наблюдаемые характеристики и физическое состояние газовых компонент галактик.	6	2	-	1	3	
6	Тема 6. Вращение галактик	6	1	-	2	3	
7	Методы оценки массы звездных компонент галактик.	6	2	-	1	3	
8	Гравитационная и изгибная неустойчивости диска.	6	1	-	2	3	
9	Темная масса в галактиках.	6	2	-	1	3	
10	Спиральная структура галактик и элементы теории волн плотности.	6	1	-	2	3	
11	Звездообразование в галактиках	6	2	-	1	3	
12	Содержание тяжелых элементов в звездах и газе как отражение характера эволюции галактик.	6	1	-	2	3	
	Промежуточная аттестация	2				2	Зачет в форме письменной работы с последующим собеседованием
ИТОГО:		72	17	-	17	38	

9. Текущий контроль и промежуточная аттестация.

Текущий контроль по дисциплине «Галактики как многокомпонентные системы» осуществляется на семинарских занятиях и заключается в оценке ответов на вопросы и активности при обсуждении проблем, изучаемых в рамках тем лекционных занятий,

Промежуточная аттестация по дисциплине «Галактики как многокомпонентные системы» проводится в втором семестре в форме письменной проверочной работы с последующим собеседованием.

Результаты сдачи зачета 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
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.	Перечень тем, изучаемых в рамках дисциплины
Тестирование	Средство контроля, позволяющее получить оценку уровня фактических знаний студента по изученной теме.	Образцы тестов
Оценочные средства промежуточной аттестации		
Письменная работа	Средство, позволяющее оценить умение решать несложные задачи и проводить оценки физических величин, иллюстрирующие материал пройденных тем.,	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 данные о галактиках и их физических характеристиках М-СПК-1 З-1	Отсутствие знаний фундаментальных данных о галактиках и их физических характеристиках	В целом успешные, но не систематические знания фундаментальных данных о галактиках и их физических характеристиках	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы знание фундаментальных данных о галактиках и их физических характеристиках	Успешные и систематические знания фундаментальных данных о галактиках и их физических характеристиках

ЗНАТЬ: основные математические методы, используемые при решении задач по физике галактик М-СПК-2 3-2	Отсутствие знаний или фрагментарное применение основных математических методов, при решении задач по физике галактик	В целом успешное, но не систематическое применение основных математических методов, при решении задач по физике галактик	В целом успешно, но содержащее отдельные пробелы знание основных математических методов, при решении задач по физике галактик	Успешное и систематическое знание основных математических методов, при решении задач по физике галактик.
УМЕТЬ: строить теоретические модели, используя критически анализ имеющихся данных М-СПК-1 У-1	Отсутствие умения строить теоретические модели, используя критически анализ имеющихся данных	В целом успешное, но не систематическое умение строить теоретические модели, используя критически анализ имеющихся данных	В целом успешно, но содержащее отдельные пробелы умение строить теоретические модели, используя критически анализ имеющихся данных	Успешное проявление умения строить теоретические модели, используя критически анализ имеющихся данных
УМЕТЬ: объяснять и оценивать в рамках основных физических законов результаты, полученные при наблюдениях галактик М-СПК-2 У-2	Отсутствие умения объяснять и оценивать в рамках основных физических законов результаты, полученные при наблюдениях галактик	В целом успешное, но не систематическое умение объяснять и оценивать в рамках основных физических законов результаты, полученные при наблюдениях галактик	В целом успешно, но содержащее отдельные пробелы умение объяснять и оценивать в рамках основных физических законов результаты, полученные при наблюдениях галактик	Успешное проявление умения объяснять и оценивать в рамках основных физических законов результаты, полученные при наблюдениях галактик
УМЕТЬ: решать типовые задачи из области физики	Отсутствие умения решать типовые задачи из области физики галактик	В целом успешное, но не систематическое умение решать	В целом успешно, но содержащее отдельные пробелы	Успешное проявление умения решать типовые задачи

галактик М-СПК-3 У-3		типовые задачи из области физики галактик	умение решать типовые задачи из области физики галактик	
УМЕТЬ: Критически анализировать математическ ие модели явлений и процессов в области физики галактик М-СПК-1 У-2	Отсутствие умения критически анализировать математические модели физических явлений и процессов в области физики галактик.	В целом успешное, но не систематическо е умение критически анализировать математическ ие модели физических явлений и процессов в области физики галактик.	В целом успешно е, но содержащее отдельные пробелы умение критически анализировать математическ ие модели физических явлений и процессов в области физики галактик.	Успешная демонстрация умения критически анализировать математические модели физических явлений и процессов в области физики галактик.
ВЛАДЕТЬ: методами теоретическог о исследования явлений и процессов в галактиках М-СПК-1 В-1	Отсутствие/фраг ментарное владение методами теоретического исследования явлений и процессов в галактиках.	В целом успешное, но не систематическо е владение методами теоретического исследования явлений и процессов в галактиках.	В целом успешно е, но содержащее отдельные пробелы владение методами теоретического исследования явлений и процессов в галактиках.	Успешная демонстрация владения методами теоретического исследования явлений и процессов в галактиках .

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

Примеры рассматриваемых заданий:

Пример 1: Оценить интегральные параметры галактик, используя оценки красного смещения, углового размера, звездной величины и скорости вращения, взятые из базы данных HYPERLEDA.

Пример 2: Предложить возможные физические объяснения существования зависимости химического состава газа в галактиках от их массы.

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://genphys.phys.msu.ru/rus/edu/>

Пример 1: Оценить центральную поверхностную яркость (в зв.вел./с²) и поверхностную плотность (в массах Солнца/пс²) экспоненциального диска, считая, что в солнечных единицах $M/L_k=0.5$. Интегральная светимость галактик, необходимая для решения, задается преподавателем.

Пример 2. Оцените полутолщину газового слоя в диске галактики на удвоенной радиальной шкале диска, считая, что полутолщина однородного по плотности звездного диска на этом расстоянии ~ 500 парсек. Дисперсию скоростей газа вдоль оси z принять равной 10 км/с. Скорость вращения галактики задается преподавателем.

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

Основная литература.

А.В.Засов, К.А.Постнов. Общая астрофизика, глава 9. М., Век-2, 2-е издание, 2011.

В.Г.Горбачкий. Введение в физику галактик и скоплений галактик. М., Наука, 1986.

А.М.Фридман, А.В. Хоперсков. Физика галактических дисков. М., Физматлит, 2011. Главы 1,4,7,10

А.В.Засов и др. Темная материя в галактиках. УФН т.60, с.3, 2017.
Дополнительная литература.

О.К.Сильченко. Происхождение и эволюция галактик. Фрязино, Век-2, 2017

Сборник «Многоканальная астрономия» под ред. АМ.Черепашука. Фрязино, Век-2, 2019.

Интернет-ресурсы.

1. <http://leda.univ-lyon1.fr/>
2. <https://www.sdss.org/>

Материально-техническое обеспечение

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

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