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:

ФИЗИКА ГАЛАКТИК

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:

Д.ф.-м.н. профессор, Засов Анатолий Владимирович, кафедра астрофизики и звездной астрономии

Заведующий кафедрой
д.ф.-м.н. профессор Постнов Константин Александрович

Аннотация к рабочей программе дисциплины
«Физика галактик»

Дисциплина «Физика галактик» является частью астрофизических спецкурсов на астрономическом отделении. Спецкурс посвящен изложению теоретических и экспериментальных направлений изучения галактик. Две основные составляющие курса - это динамика газовых и звездных подсистем, а также звездообразование и связанные с ним процессы в галактиках. Спецкурс содержит обширный фактический материал, охватывающий важнейшие данные наблюдений галактик в различных спектральных интервалах. Обсуждаются методы получения информации из спектральных и фотометрических данных и современные возможности наблюдений. Рассматриваются физические процессы, происходящие в галактиках, как обусловленные внутренними причинами, так и связанные с их окружением. Особое внимание уделяется нерешенным проблемам, затрагивающим наблюдаемые особенности галактик, многообразие их типов, условия звездообразования, формирование структур диска, а также взаимодействие галактик с окружающей средой. В спецкурсе раскрывается общая картина современных представлений о природе галактик и процессах, которые в них протекают.

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 «Физика галактик» реализуется на 4-м курсе в 7-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)**
УК-1.Б	***З-1 Знать:*** физические характеристики галактик и их составляющих ***З-2 Знать:*** основные методы исследования галактик и способы получения информации о процессах в галактиках пол анализу данных наблюдений ***У-1Уметь:*** рассчитывать теоретические модели распределения массы в структурных компонентах галактик и выполнять грубые оценки параметров, определяющих эволюцию галактик под действием внутренних и внешних процессов (звездообразование, обогащение тяжелыми элементами, взаимодействие с окружением и др.). ***У-2Уметь:*** извлекать информацию о физических свойствах галактик и происходящих в них процессах с использованием электронных баз данных и литературных источников ***В-1 Владеть:*** современными подходами к изучению и интерпретации наблюдаемых явлений и процессов в галактиках
ОПК-1.Б	***З-1 Знать:*** основные физические и математические методы, используемые при решении задач по изучению галактик. ***У-1Уметь:*** решать типовые задачи в рамках спецкурса ***В-1 Владеть:*** навыками использования физического подхода к интерпретации астрономических наблюдений

1. **Форма обучения:** очная.

2. **Язык обучения:** русский.

3. **Содержание дисциплины**

Тема 1. Предмет и задачи физики галактик. Интегральные физические параметры галактик

Строение и основные параметры нашей Галактики и других галактик. Морфологическая классификация. Понятие размера, светимости, массы, поверхностной яркости галактик, интервалы наблюдаемых значений, связь с морфологическим типом. Сравнение дисковых и эллиптических галактик. Карликовые галактики.. Основные источники излучения в различных спектральных диапазонах. Базы данных о галактиках.

Тема 2. Структура звездных дисков.
Структурные компоненты галактик и 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 3. Наблюдаемые свойства и физическое состояние газа в галактиках
. Атомарный и молекулярный газ, методы наблюдения и относительная масса.. Фактор конверсии. Физические факторы, влияющие на относительное количество молекулярного газа. Различные фазы состояния газа в галактиках, методы наблюдений. Источники энергии, энергетический баланс. Обмен газом между гало и диском Радиальное распределение поверхностной плотности газа, связь с гравитационной устойчивостью газового слоя.

Тема 4. Вращение галактик и оценка их массы
Круговая скорость, связь с распределением потенциала. Учет градиента давления (радиальной дисперсии скоростей). Различие между динамикой звездной и газовой составляющей галактических дисков. Определение массы эллиптических галактик по дисперсии скоростей и по рентгеновскому свечению газа. Методы измерения скоростей вращения и кривых вращения галактик (оптические и радио наблюдения).
Моделирование кривых вращения и оценка массы дисковых галактик. Составляющие кривой вращения, связанные с отдельными компонентами. Проблема неоднозначности их определения и пути ее решения.

Тема 5. Темная масса в галактиках.
«Темная» масса в дисковых и эллиптических галактиках, ее наблюдаемые проявления. Динамические и фотометрические способы оценки массы барионного вещества. Наблюдаемые свидетельства массивного темного гало в дисковых и эллиптических галактиках. Вириальная масса галактики. Темная масса в скоплениях.

Тема 6. Гравитационная и изгибная неустойчивости диска.
Гравитационная устойчивость столкновительных и бесстолкновительных дисков
Условия гравитационной устойчивости газовых и звездных дисков к возмущениям в плоскости диска. Дисперсионное соотношение. Критерии устойчивости. Использование условия устойчивости для оценки масс дисков. Условия устойчивости диска к изгибным возмущениям. Связь относительной толщины диска с массой темного гало. Проблема формирования толстых дисков. Представление о численном моделировании динамической эволюции равновесных галактических дисков.

Тема 7. 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 8. Звездообразование в галактиках
Наблюдаемые проявления звездообразования в галактиках различных типов, индикаторы звездообразования. Области звездообразования, основные характеристики, распределение по диску. Газо-звездные комплексы. Ожидаемые размеры и массы комплексов для маржинально устойчивых газовых дисков. Понятие темпа и эффективности 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 9. 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.

Тема 10. Галактики как открытые системы.
Газ в галактических гало, около-галактичекский и межгалактический газ, наблюдаемые проявления. Обмен веществом с окружающей средой: аккреция и отток газа. Наблюдаемые свидетельства этих процессов, их роль в эволюции галактик. Галактики в скоплениях: лобовое давление и выметание газа из диска и гало, влияние на характер звездообразования. Особенности изолированных галактик.

Тема 11. Гравитационное взаимодействие галактик.
Приливное взаимодействие, его влияние на кинематику газа и звезд, на структуру галактик, на процесс звездообразования и на активность ядра. Приливные образования и приливные карлики. . Слияние галактик (мержинг) и динамическое трение. Возможные сценарии образования галактик низкой яркости.

Тема 12. Околоядерные области и ядра галактик
Особенности структуры и условия звездообразования в околоядерных областях галактик. Сверхмассивные черные дыры и ядерные скопления, связь со сферическими компонентами галактик. Наблюдаемые проявления активности ядер (AGN). Типы активных ядер. Объяснение «сверхсветовой» скорости джетов. Возможная роль активности ядра в эволюции галактик.

Тема 19. Галактики как открытые системы.
Газ в галактических гало и межгалактический газ. Обмен веществом с окружающей средой: аккреция, отток газа, выметание газа из диска и гало. Наблюдаемые свидетельства этих процессов, их роль в эволюции галактик. Гравитационное взаимодействие галактик

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	
Физика галактик	3	108	72	36	36	36

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

Изучение курса «Физика галактик» 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	Предмет и задачи физики галактик. Интегральные физические параметры галактик	**8**	**3**	**-**	**3**	**2**	Собеседование, опрос
2	. Структура звездных дисков,	**8**	**3**	**-**	**3**	**2**	
3	Наблюдаемые свойства и физическое состояние газа в галактиках..	**8**	**3**	**-**	**3**	**2**	
4	Вращение галактик и оценка их массы	**12**	**4**	**-**	**4**	**4**	
5	«Темная масса» в галактиках	**8**	**3**	**-**	**3**	**2**	

6	Гравитационная и изгибная неустойчивости	**10**	**3**	**-**	**3**	**4**	
7	Спиральная структура галактик и элементы теории волн плотности.	**8**	**3**	**-**	**3**	**2**	
8	Звездообразование в галактиках..	**10**	**4**	**-**	**4**	**2**	
9	Содержание тяжелых элементов в звездах и газе как отражение характера эволюции галактик.	**6**	**2**	**-**	**2**	**2**	
10	Галактики как открытые системы.	**8**	**3**	**-**	**3**	**2**	
11	Гравитационное взаимодействие галактик.	**8**	**3**	**-**	**3**	**2**	
12	. Околоядерные области и ядра галактик	**8**	**2**	**-**	**2**	**4**	
	Промежуточная аттестация	**6**				**6**	Экзамен в устной форме
ИТОГО:		**108**	**36**	**-**	**36**	**36**	

9. Текущий контроль и промежуточная аттестация.

Текущий контроль по дисциплине «Физика галактик» 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 «Физика галактик» проводится в седьмом семестре в форме письменной проверочной работы с последующим собеседованием.

Результаты сдачи экзамена 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	Перечень тем, изучаемых в рамках

	и качества знаний, усвоенных обучающимися по определенному разделу, теме, проблеме.	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 УК-1.Б 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 ОПК-1.Б З-1	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	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы знание основных математических методов, при	Успешное и систематическое знание основных математических методов, при решении задач по физике галактик.

		галактик	решении задач по физике галактик	
УМЕТЬ: строить теоретические модели, используя критически анализ имеющихся данных УК-1.Б 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 успешное, 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 УК-1.Б 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 успешное, 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 галактик ОПК-1.Б У-1	Отсутствие умения решать типовые задачи из области физики галактик	В целом успешное, но не систематическое умение решать типовые задачи из области физики галактик	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы умение решать типовые задачи из области физики галактик	Успешное проявление умения решать типовые задачи
УМЕТЬ: Критически анализировать математическ	Отсутствие умения критически анализировать	В целом успешное, но не систематическо	В целом успешное, но содержащее	Успешная демонстрация умения критически

ие модели явлений и процессов в области физики галактик ОПК-1.Б У-2	математические модели физических явлений и процессов в области физики галактик.	е умение критически анализировать математически е модели физических явлений и процессов в области физики галактик.	отдельные пробелы умение критически анализировать математически е модели физических явлений и процессов в области физики галактик.	анализировать математические модели физических явлений и процессов в области физики галактик.
ВЛАДЕТЬ: методами теоретическог о исследования явлений и процессов в галактиках УК-1.Б В-2	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./с^2) и поверхностную плотность (в массах Солнца/пс^2) экспоненциального диска, считая, что в солнечных единицах M/Lk=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.Горбацкий. 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.Черепащука. 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.