

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова
ФИЗИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ
КАФЕДРА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ АСТРОНОМИИ

УТВЕРЖДАЮ
Декан физического факультета
МГУ
_____ / Н.Н. Сысоев /
«__» _____ 20__ г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

Наименование дисциплины:

ФРАКТАЛЬНЫЕ СТРУКТУРЫ В ЗВЕЗНОЙ ДИНАМИКЕ

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:

1. Ведущий программист, Осташова Мария Леонидовна, кафедра экспериментальной астрономии физического факультета МГУ

Заведующий кафедрой

Д.ф.-м.н. профессор Расторгуев Алексей Сергеевич

Аннотация к рабочей программе дисциплины «Фрактальные структуры в звездной динамике»

Дисциплина «Фрактальные структуры в звездной динамике» входит в число спецкурсов, составляющих теоретическую основу специализаций «астрофизика», «звездная астрономия» и «небесная механика». Он служит базой для астрономических направлений, изучающих строение, кинематику и динамическую эволюцию звездных группировок, скоплений и галактик (галактическая и внегалактическая астрономия). В данном лекционном курсе излагаются методы и результаты исследований строения, динамики и эволюции фрактальных структур. Даются базовые представления о видах фракталов, фрактальной, информационной и корреляционной размерностях. Строятся модели простейших звездных систем, опирающиеся на фрактальный анализ. В курсе широко используются методы звездной динамики. Слушатели знакомятся с кинетическими эффектами в проблеме устойчивости сферических гравитирующих систем.

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 «Фрактальные структуры в звездной динамике» реализуется на 6-ом курсе в 11-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: определение фракталов и их типы З-2 Знать: формулу для расчета фрактальной размерности Хаусдорфа У-1 Уметь: строить график Ричардсона для расчета фрактальной размерности группы звезд У-2 Уметь: планировать экспериментальные исследования в области фрактальных структур, объяснять и оценивать в рамках основных законов звездной динамики результаты, полученные в процессе эксперимента В-1 Владеть: методами для расчета фрактальных размерностей В-2 Владеть: методами теоретического исследования явлений и процессов для фрактальных структур в звездной динамике
ОПК-1.Б	З-1 Знать: основные математические методы, используемые при решении задач звездной динамики У-1 Уметь: решать типовые задачи звездной динамики У-2 Уметь: строить математические модели явлений и процессов для фрактальных структур в звездной динамике В-1 Владеть: принципами расчета фрактальных размерностей

2. **Форма обучения:** очная.

3. **Язык обучения:** русский.

4. **Содержание дисциплины**

Тема 1. Понятие фрактальной размерности. Классификация фракталов.

Понятие фрактальной размерности. Краткий исторический обзор предшествующих объектов исследования: парадокс Лебега, производные Гельдера, функция Вейерштрасса - Мандельброта. Классификация фракталов.

Тема 2. Природные фракталы. Информационная размерность. Корреляционная размерность.

Природные фракталы. Бокс алгоритм. Скейлинг. Соотношения «масса - радиус», «периметр-площадь», «площадь-объем». Информационная размерность. Корреляционная размерность.
Тема 3. Диссипативные системы. Понятие аттрактора. Геометрия странных аттракторов.

Пыль Кантора. Троишный гребень и брикет. Кольца Сатурна. Канторовы завесы. Диссипативные системы. Понятие аттрактора. Геометрия странных аттракторов. Гипотеза о связи между фрактальной размерностью и показателями Ляпунова.

Тема 4. Фигуры Коха. Понятие самоподобия.

Фигуры Коха (дуги, полупрямые, снежинки, озера, острова). Понятие самоподобия. Движение Коха. Кривые Пеано. Движение Пеано и пертайлинг.

Тема 5. Мультифракталы. Расчет мультифрактальных спектров размерностей.

Мультифракталы. Спектр размерностей Реньи. Расчет мультифрактальных спектров размерностей. Функция Кантора, или Чертова Лестница. Биномиальный мультипликативный процесс. Фрактальные подмножества. Показатель Липшица – Гельдера.

Тема 6. Методы расчета мультифрактальных размерностей временных рядов. Элементы R/S – анализа.

Методы расчета мультифрактальных размерностей временных рядов. Элементы R/S – анализа. Эмпирический закон Херста. Оценка показателя Херста. Алгоритм Хичуги. Алгоритм Грассбергера – Прокачча.

Тема 7. Ветвление и фрактальные решетки. Разветвленные фракталы.

Ветвление и фрактальные решетки. Фрактальные размерности сечений. Разветвленные фракталы. Степень ветвления кривой. Практические применения и альтернативная форма ветвления.

Тема 8. Случайное блуждание и фракталы. Обобщенное броуновское движение.

Случайное блуждание и фракталы. Обобщенное броуновское движение. Броуновские фракталы: функция и след. Фрактальные размерности сечений. Прямые, «безрешеточные» определения броуновского движения.

Тема 9. Самоподобие и самоаффинность. Самоинверсные фракталы.

Самоподобие и самоаффинность. Самоинверсные фракталы. Геометрическая инверсия. Аполлониевы сети и салфетки. Построение Пуанкаре для множества L. Понятие о фрактальной оскуляции. Построение Мандельброта.

Тема 10. Понятие субординации. Упорядоченные скопления галактик.

Понятие субординации. Линейная пыль Леви. Упорядоченные скопления галактик. Лунные кратеры и круговые тремы. Галактики и межгалактические пустоты, построенные с помощью сферических трем. Метеориты. «Перистые» нити галактик. Лакунарность.

Тема 11. Фрактальные свойства звездных систем.

Фрактальные свойства звездных систем. Закон Вокулера. Асимптотика закона распределения модуля случайной силы во фрактальной среде в приближении ближайшего соседа. Оценка эффективного межчастичного расстояния для фрактальной среды.

Тема 12. Пробные ансамбли. Кинетика пробных ансамблей.

Кинетические эффекты в проблеме устойчивости сферической гравитирующей системы с радиальными орбитами. Пробные ансамбли. Кинетика пробных ансамблей.

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	
Фрактальные структуры в звездной динамике	2	72	36	36	0	36

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

Изучение курса «Фрактальные структуры в звездной динамике» включает в себя лекции, на которых рассматривается теоретическое содержание курса; самостоятельную работу, заключающуюся в подготовке к лекционным занятиям.

№ 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	Понятие фрактальной размерности. Классификация фракталов.	4	2	-	0	2	Опрос
2	Природные фракталы. Информационная размерность. Корреляционная размерность.	4	2	-	0	2	
3	Диссипативные системы. Понятие аттрактора. Геометрия странных	6	4	-	0	2	

	аттракторов						
4	Фигуры Коха. Понятие самоподобия	4	2	-	0	2	
5	Мультифракталы. Расчет мультифрактальных спектров размерностей.	8	4	-	0	4	
6	Методы расчета мультифрактальных размерностей временных рядов. Элементы R/S – анализа.	8	4	-	0	4	
7	Ветвление и фрактальные решетки. Разветвленные фракталы.	4	2	-	0	2	
8	Случайное блуждание и фракталы. Обобщенное броуновское движение.	4	2	-	0	2	
9	Самоподобие и самоаффинность. Самоинверсные фракталы.	4	2	-	0	2	
10	Понятие субординации. Упорядоченные скопления галактик.	6	4	-	0	2	
11	Фрактальные свойства звездных систем.	8	4	-	0	4	
12	Пробные ансамбли. Кинетика пробных ансамблей.	8	4	-	0	4	
	Промежуточная аттестация	4				4	Зачет в форме письменной работы с последующим собеседованием
ИТОГО:		72	36	-	0	36	

9. Текущий контроль и промежуточная аттестация.

Текущий контроль по дисциплине «Фрактальные структуры в звездной динамике» осуществляется на лекциях и заключается в оценке активности и качества участия в опросах по проблемам, изучаемых в рамках тем лекционных занятий, аргументированности позиции; оценивается широта используемых теоретических знаний.

Промежуточная аттестация по дисциплине «Фрактальные структуры в звездной динамике» проводится в одиннадцатом семестре в форме зачета. Зачет в форме письменной работы с последующим собеседованием по программе.

Результаты сдачи зачета оцениваются по шкале «зачет», «незачет». Оценка «зачет» означает 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
Оценочные средства промежуточной аттестации		
Письменная работа	Средство, позволяющее оценить сформированность систематических представлений о методах научно-исследовательской деятельности.	Перечень вопросов к зачету
Собеседование	Средство, позволяющее получить экспертную оценку знаний, умений и навыков 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			
	незачет	Зачет		
ЗНАТЬ: фундаментальные законы звездной динамики и их взаимосвязь УК-1.Б 3-1	Отсутствие знаний фундаментальных законов звездной динамики и их взаимосвязей	В целом успешные, но не систематические знания фундаментальных законов звездной динамики и их взаимосвязей	В целом успешно, но содержащее отдельные пробелы знания фундаментальных законов звездной динамики и их взаимосвязей	Успешные и систематические знания фундаментальных законов звездной динамики и их взаимосвязей
ЗНАТЬ:	Отсутствие	В целом	В	Успешное и

основные понятия математической обработки эксперимента звездной динамики УК-1.Б 3-2	знаний или фрагментарное знание основных понятий математической обработки эксперимента звездной динамики	успешное, но не систематическое знание основных понятий математической обработки эксперимента звездной динамики	целом успешно е, но содержащее отдельные пробелы знание основных понятий математической обработки эксперимента звездной динамики	систематическое знание основных понятий математической обработки эксперимента звездной динамики
ЗНАТЬ: основные математические методы, используемые при решении задач звездной динамики ОПК-1.Б 3-1	Отсутствие знаний или фрагментарное применение основных математических методов, при решении задач звездной динамики	В целом успешное, но не систематическое применение основных математических методов, при решении задач звездной динамики	В целом успешно е, но содержащее отдельные пробелы знание основных математических методов, при решении задач звездной динамики	Успешное и систематическое знание основных математических методов, при решении задач звездной динамики
УМЕТЬ: строить теоретические модели фрактальных структур в звездной динамике, используя критический анализ данных УК-1.Б У-1	Отсутствие умения строить теоретические модели фрактальных структур в звездной динамике, используя критический анализ данных	В целом успешное, но не систематическое умение строить теоретические модели фрактальных структур в звездной динамике, используя критический анализ данных	В целом успешно е, но содержащее отдельные пробелы умение строить теоретические модели фрактальных структур в звездной динамике, используя критический анализ данных	Успешное и систематическое умение строить теоретические модели фрактальных структур в звездной динамике, используя критический анализ данных
УМЕТЬ: планировать экспериментальные исследования в области фрактальных структур, объяснять и оценивать в	Отсутствие умения планировать экспериментальные исследования в области фрактальных структур, объяснять и	В целом успешное, но не систематическое умение планировать экспериментальные исследования в области	В целом успешно е, но содержащее отдельные пробелы умение планировать экспериментальные	Успешное и систематическое планирование экспериментальных исследований в области фрактальных структур, объяснять и

рамках основных законов звездной динамики результаты, полученные в процессе эксперимента УК-1.Б У-2	оценивать в рамках основных законов звездной динамики результаты, полученные в процессе эксперимента	фрактальных структур, объяснять и оценивать в рамках основных законов звездной динамики результаты, полученные в процессе эксперимента	исследования в области фрактальных структур, объяснять и оценивать в рамках основных законов звездной динамики результаты, полученные в процессе эксперимента	оценивать в рамках основных законов звездной динамики результаты, полученные в процессе эксперимента
УМЕТЬ: решать типовые задачи звездной динамики ОПК-1.Б У-1	Отсутствие умения решать типовые задачи	В целом успешное, но не систематическое умение решать типовые задачи	В целом успешно е, но содержащее отдельные пробелы умение решать типовые задачи	Успешное и систематическое умение решать типовые задачи
УМЕТЬ: строить математические модели явлений и процессов для фрактальных структур в звездной динамике ОПК-1.Б У-2	Отсутствие умения строить математические модели явлений и процессов для фрактальных структур в звездной динамике	В целом успешное, но не систематическое умение строить математические модели явлений и процессов для фрактальных структур в звездной динамике	В целом успешно е, но содержащее отдельные пробелы умение строить математические модели явлений и процессов для фрактальных структур в звездной динамике	Успешное и систематическое умение строить математические модели явлений и процессов для фрактальных структур в звездной динамике
ВЛАДЕТЬ: математическим аппаратом, применяемым в звездной динамике УК-1.Б В-1	Отсутствие/фрагментарное владение математическим аппаратом, математическим аппаратом, применяемым в звездной динамике	В целом успешное, но не систематическое владение математическим аппаратом, математическим аппаратом, применяемым в звездной динамике	В целом успешно е, но содержащее отдельные пробелы владение математическим аппаратом, математическим аппаратом, применяемым в звездной динамике	Успешное и систематическое владение математическим аппаратом, математическим аппаратом, применяемым в звездной динамике

ВЛАДЕТЬ: методами теоретическог о исследования явлений и процессов для фрактальных структур в звездной динамике УК-1.Б В-2	Отсутствие/фраг ментарное владение методами теоретического исследования явлений и процессов для фрактальных структур в звездной динамике	В целом успешное, но не систематическо е владение методами теоретического исследования явлений и процессов для фрактальных структур в звездной динамике	В целом успешно е, но содержащее отдельные пробелы владение методами теоретического исследования явлений и процессов для фрактальных структур в звездной динамике	Успешное и систематическое владение методами теоретического исследования явлений и процессов для фрактальных структур в звездной динамике
ВЛАДЕТЬ: навыками обработки результатов астрофизичес кой информации ОПК-1.Б В-1	Отсутствие/фраг ментарное владение навыками обработки результатов астрофизическо й информации	В целом успешное, но не систематическо е владение навыками обработки результатов астрофизическ ой информации	В целом успешно е, но содержащее отдельные пробелы владение навыками обработки результатов астрофизическ ой информации	Успешное и систематическое владение навыками обработки результатов астрофизическо й информации

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

Материалы текущего контроля успеваемости обучающихся

Пример: Сформулировать определение размерности Хаусдорфа, информационной размерности и корреляционной размерности.

13. Типовые контрольные задания или иные материалы для проведения промежуточной аттестации.

Материалы промежуточной аттестации обучающихся

Вопросы к зачету

- 1. Понятие фрактальной размерности. Формула Хаусдорфа. Основные виды математических фракталов: пыль Кантора, снежинка Коха, салфетка и ковер Серпинского, круговой фрактал.*
- 2. Техника расчета фрактальной размерности природных фракталов на примере побережья южной части Норвегии. Бокс алгоритм. Скейлинг. График*

Ричардсона. Соотношения «масса-радиус», «периметр-площадь», «площадь-объем». Понятие информационной и корреляционной размерности.

3. *Диссипативные системы. Понятие аттрактора. Странные аттракторы. Структура аттрактора как пыль Кантора. Показатели Ляпунова. Связь показателей Ляпунова с фрактальной размерностью.*
4. *Понятие мультифракталов. Расчет спектра фрактальных размерностей. Спектр размерностей Реньи. Свертывание и “чертова лестница”. Сингулярные функции.*
5. *Метод нормированного размаха. Эмпирический закон Херста. Корреляционное соотношение. Связь фрактальной размерности с показателем Херста. Персистентные и антиперсистентные ряды.*
6. *Поиск фрактальных размерностей астрофизических и геофизических рядов. Алгоритм Хичуги. Алгоритм Грассбергера-Прокаччия.*
7. *Фрактальные свойства звездных систем. Закон Карпентера-Вокулера. Условная средняя плотность для локальной выборки FG-карликов по данным Женевско-Копенгагенского обзора.*
8. *Связь распределения Хольцмарка с законом распределения расстояния до ближайшего соседа. Задача Герца.*
9. *Фрактальные свойства звездных систем. Закон распределения модуля случайной силы для фрактальной среды в приближении ближайшего соседа.*
10. *Энтропия и фракталы. Становление понятия энтропия: принцип Карно, энтропия Клаузиуса, энтропия Больцмана, энтропия Гиббса, энтропия Шеннона, энтропия Реньи, энтропия Колмогорова.*
11. *Информация как первичное понятие. Связь энтропии, информации и структуры. Основные свойства информации. Теорема Хартли. Определение информации по Шеннону. Энтропия систем с неравновероятными состояниями.*
12. *Выборочные энтропии. Первая выборочная энтропия. Вторая выборочная энтропия. Перестановочная энтропия. Энтропия Реньи, частные случаи.*
14. *Материально-техническая база, информационные технологии, программное обеспечение и информационные справочные системы*

Основная литература.

1. О.В.Чумак. Энтропии и фракталы в анализе данных. М.-Ижевск:НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2011.
2. Е.Федер. Фракталы. М.:Мир, 1991.
3. Б.Мандельброт. Фрактальная геометрия природы. М.- Ижевск:НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2010.
4. Ф.Мун. Хаотические колебания. М.: Мир, 1990.
5. А. Лихтенберг. М. Либерман. Регулярная и стохастическая динамика. М.:Мир, 1984.

Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет» (при необходимости):

1. Чумак О.В., Расторгуев А.С., 2016, Письма в Астрон.ж. «Фрактальные свойства звездных систем и случайные силы», 42, 346.
2. Чумак О.В., Расторгуев А.С., 2014, Письма в Астрон.ж. «Кинетические эффекты в сферических гравитирующих системах», 40, 517.
3. O.V. Chumak, A.S. Rastorguev, 2017, MNRAS “Kinetic properties of fractal stellar media”, 464, 2777.
4. Расторгуев А.С., Уткин Н.Д., Чумак О.В., 2017, Письма в Астрон.ж. «Эффекты кратности звездных сближений и коэффициенты диффузии в локально-однородной трехмерной звездной среде: устранение классической расходимости», 43, 1.

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.