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

УТВЕРЖДАЮ
Декан физического факультета
МГУ / Н.Н. Сысоев /
—/ п.н. сысовы « » 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
MOCKRA /U

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.

Гол (толы)	приема на обучен	ние	
- ~ (10,001	iipiioma ma oo jiroi	11110	

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 11ом 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	Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю)
компетенции (код компетенции)	
(код компетенции)	3-1 Знать: определение фракталов и их типы
УК-1.Б	3-2 Знать: формулу для расчета фрактальной размерности
y K-1.D	
	Хаусдорфа
	У-1Уметь: строить график Ричардсона для расчета фрактальной
	размерности группы звезд
	У-2Уметь: 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	<i>3-1 Знать:</i> основные математические методы, используемые при
	решении задач звездной динамики
	У-1Уметь: решать типовые задачи звездной динамики
	У-2Уметь: 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. Троичный 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

	ΧI	объ	ем учебной	нагру	узки в ак	. часах
	кость	TЪ	в том числе ауд. занятий			ная
НАЗВАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ	Трудоемкость в зачетных едини	Общая трудоемкост	Общая аудиторная нагрузка	Лекций	Семинаров	Самостоятельная работа студентов
Фрактальные структуры в	2	72	36	36	0	36
звездной динамике	-	'-				

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.

19		Виды учебной нагрузки и их трудоемкость, часы					Форма текущего контроля
№ темы	Наименование раздела дисциплины	Всего часов	Лекции	Научно-практические занятия	Семинары	Самостоятельная работа	успеваемости и промежуточной аттестации
1	Понятие фрактальной размерности. Классификация фракталов.	4	2	-	0	2	
2	Природные фракталы. Информационная размерность. Корреляционная размерность.	4	2	-	0	2	Опрос
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		Представление
	Краткая характеристика оценочного средства	оценочного
оценочного средства		средства в фонде
	Оценочные средства текущего контроля	
	Средство контроля, организованное как	Перечень тем,
Тематический опрос	специальная беседа по тематике предыдущей	изучаемых в
(в форме ответов на	лекции и рассчитанное на выяснение объема	рамках
вопросы)	и качества знаний, усвоенных обучающимися	дисциплины
	по определенному разделу, теме, проблеме.	
On	еночные средства промежуточной аттестации	
	Средство, позволяющее оценить	Перечень вопросов
Письменная работа	сформированность систематических	к зачету
письменная расота	представлений о методах научно-	
	исследовательской деятельности.	
	Средство, позволяющее получить экспертную	Требования к
Собеседование	оценку знаний, умений и навыков для	порядку
Соосседование	оценивания и анализа различных фактов и	проведения
	явлений в своей профессиональной области.	собеседования

11. Шкала оценивания.

Планируемы	Крит	ерии оценивания результатов обучения					
е результаты	незачет	Зачет					
обучения							
ЗНАТЬ:	Отсутствие	В целом	В	Успешные и			
фундаменталь	знаний	успешные, но	целом успешно	систематические			
ные законы	фундаментальн	не	е, но	знания			
звездной	ых законов	систематически	содержащее	фундаментальны			
динамики и	звездной	е знания	отдельные	х законов			
ИХ	динамики и их	фундаментальн	пробелы	звездной			
взаимосвязь	взаимосвязей	ых законов	знания	динамики и их			
УК-1.Б 3-1		звездной	фундаментальн	взаимосвязей			
		динамики и их	ых законов				
		взаимосвязей	звездной				
			динамики и их				
			взаимосвязей				
ЗНАТЬ:	Отсутствие	В целом	В	Успешное и			

основные	знаний или	успешное, но	целом успешно	систематическое
ПОНЯТИЯ	фрагментарное	не	е, но	знание основных
математическ	знание	систематическо	содержащее	понятий
ой обработки	основных понятий	е знание	отдельные	математической
эксперимента		ОСНОВНЫХ	пробелы	обработки
звездной	математической	понятий	знание	эксперимента
динамики	обработки	математическо	основных	звездной
УК-1.Б 3-2	эксперимента	й обработки	понятий	динамики
	звездной	эксперимента звездной	математическо	
	динамики		й обработки	
		динамики	эксперимента звездной	
ЗНАТЬ:	Отоутотрую	Визлом	динамики В	Vопочино и
	Отсутствие знаний или	В целом	_	Успешное и
основные		успешное, но	целом успешно	систематическое
математическ	фрагментарное	не	е, но	знание основных
ие методы,	применение	систематическо	содержащее	математических
используемые	основных	е применение	отдельные	методов, при
при решении	математических	ОСНОВНЫХ	пробелы	решении задач
задач	методов, при	математически	знание	звездной
звездной	решении задач	х методов, при	ОСНОВНЫХ	динамики
динамики ОПК-1.Б 3 -1	звездной	решении задач	математически	
OHK-1.D 3-1	динамики	звездной	х методов, при	
		динамики	решении задач	
			звездной	
			динамики	
VMETL.	Отоудотрио	Риолом	D	Vопошное и
УМЕТЬ:	Отсутствие	В целом	В	Успешное и
строить	умения строить	успешное, но	целом успешно	систематическое
строить теоретические	умения строить теоретические	успешное, но не	целом успешно е, но	систематическое умение строить
строить теоретические модели	умения строить теоретические модели	успешное, но не систематическо	целом успешно е, но содержащее	систематическое умение строить теоретические
строить теоретические модели фрактальных	умения строить теоретические модели фрактальных	успешное, но не систематическо е умение	целом успешно е, но содержащее отдельные	систематическое умение строить теоретические модели
строить теоретические модели фрактальных структур в	умения строить теоретические модели фрактальных структур в	успешное, но не систематическо е умение строить	целом успешно е, но содержащее отдельные пробелы	систематическое умение строить теоретические модели фрактальных
строить теоретические модели фрактальных структур в звездной	умения строить теоретические модели фрактальных структур в звездной	успешное, но не систематическо е умение строить теоретические	целом успешно е, но содержащее отдельные пробелы умение строить	систематическое умение строить теоретические модели фрактальных структур в
строить теоретические модели фрактальных структур в звездной динамике,	умения строить теоретические модели фрактальных структур в звездной динамике,	успешное, но не систематическо е умение строить теоретические модели	целом успешно е, но содержащее отдельные пробелы умение строить теоретические	систематическое умение строить теоретические модели фрактальных структур в звездной
строить теоретические модели фрактальных структур в звездной динамике, используя	умения строить теоретические модели фрактальных структур в звездной динамике, используя	успешное, но не систематическо е умение строить теоретические модели фрактальных	целом успешно е, но содержащее отдельные пробелы умение строить теоретические модели	систематическое умение строить теоретические модели фрактальных структур в звездной динамике,
строить теоретические модели фрактальных структур в звездной динамике, используя критически	умения строить теоретические модели фрактальных структур в звездной динамике, используя критически	успешное, но не систематическо е умение строить теоретические модели фрактальных структур в	целом успешно е, но содержащее отдельные пробелы умение строить теоретические модели фрактальных	систематическое умение строить теоретические модели фрактальных структур в звездной динамике, используя
строить теоретические модели фрактальных структур в звездной динамике, используя критически анализ	умения строить теоретические модели фрактальных структур в звездной динамике, используя	успешное, но не систематическо е умение строить теоретические модели фрактальных структур в звездной	целом успешно е, но содержащее отдельные пробелы умение строить теоретические модели фрактальных структур в	систематическое умение строить теоретические модели фрактальных структур в звездной динамике, используя критически
строить теоретические модели фрактальных структур в звездной динамике, используя критически анализ данных	умения строить теоретические модели фрактальных структур в звездной динамике, используя критически	успешное, но не систематическо е умение строить теоретические модели фрактальных структур в звездной динамике,	целом успешно е, но содержащее отдельные пробелы умение строить теоретические модели фрактальных структур в звездной	систематическое умение строить теоретические модели фрактальных структур в звездной динамике, используя
строить теоретические модели фрактальных структур в звездной динамике, используя критически анализ	умения строить теоретические модели фрактальных структур в звездной динамике, используя критически	успешное, но не систематическо е умение строить теоретические модели фрактальных структур в звездной динамике, используя	целом успешно е, но содержащее отдельные пробелы умение строить теоретические модели фрактальных структур в звездной динамике,	систематическое умение строить теоретические модели фрактальных структур в звездной динамике, используя критически
строить теоретические модели фрактальных структур в звездной динамике, используя критически анализ данных	умения строить теоретические модели фрактальных структур в звездной динамике, используя критически	успешное, но не систематическо е умение строить теоретические модели фрактальных структур в звездной динамике, используя критически	целом успешно е, но содержащее отдельные пробелы умение строить теоретические модели фрактальных структур в звездной динамике, используя	систематическое умение строить теоретические модели фрактальных структур в звездной динамике, используя критически
строить теоретические модели фрактальных структур в звездной динамике, используя критически анализ данных	умения строить теоретические модели фрактальных структур в звездной динамике, используя критически	успешное, но не систематическо е умение строить теоретические модели фрактальных структур в звездной динамике, используя	целом успешно е, но содержащее отдельные пробелы умение строить теоретические модели фрактальных структур в звездной динамике, используя критически	систематическое умение строить теоретические модели фрактальных структур в звездной динамике, используя критически
строить теоретические модели фрактальных структур в звездной динамике, используя критически анализ данных УК-1.Б У-1	умения строить теоретические модели фрактальных структур в звездной динамике, используя критически анализ данных	успешное, но не систематическо е умение строить теоретические модели фрактальных структур в звездной динамике, используя критически анализ данных	целом успешно е, но содержащее отдельные пробелы умение строить теоретические модели фрактальных структур в звездной динамике, используя критически анализ данных	систематическое умение строить теоретические модели фрактальных структур в звездной динамике, используя критически анализ данных
строить теоретические модели фрактальных структур в звездной динамике, используя критически анализ данных УК-1.Б У-1	умения строить теоретические модели фрактальных структур в звездной динамике, используя критически анализ данных	успешное, но не систематическо е умение строить теоретические модели фрактальных структур в звездной динамике, используя критически анализ данных В целом	целом успешно е, но содержащее отдельные пробелы умение строить теоретические модели фрактальных структур в звездной динамике, используя критически анализ данных В	систематическое умение строить теоретические модели фрактальных структур в звездной динамике, используя критически анализ данных
строить теоретические модели фрактальных структур в звездной динамике, используя критически анализ данных УК-1.Б У-1 УМЕТЬ: планировать	умения строить теоретические модели фрактальных структур в звездной динамике, используя критически анализ данных Отсутствие умения	успешное, но не систематическо е умение строить теоретические модели фрактальных структур в звездной динамике, используя критически анализ данных В целом успешное, но	целом успешно е, но содержащее отдельные пробелы умение строить теоретические модели фрактальных структур в звездной динамике, используя критически анализ данных В целом успешно	систематическое умение строить теоретические модели фрактальных структур в звездной динамике, используя критически анализ данных Успешное и систематическое
строить теоретические модели фрактальных структур в звездной динамике, используя критически анализ данных УК-1.Б У-1 УМЕТЬ: планировать эксперимента	умения строить теоретические модели фрактальных структур в звездной динамике, используя критически анализ данных Отсутствие умения планировать	успешное, но не систематическо е умение строить теоретические модели фрактальных структур в звездной динамике, используя критически анализ данных В целом успешное, но не	целом успешно е, но содержащее отдельные пробелы умение строить теоретические модели фрактальных структур в звездной динамике, используя критически анализ данных В целом успешно е, но	систематическое умение строить теоретические модели фрактальных структур в звездной динамике, используя критически анализ данных Успешное и систематическое планировать
строить теоретические модели фрактальных структур в звездной динамике, используя критически анализ данных УК-1.Б У-1 УМЕТЬ: планировать эксперимента льные	умения строить теоретические модели фрактальных структур в звездной динамике, используя критически анализ данных Отсутствие умения планировать эксперименталь	успешное, но не систематическо е умение строить теоретические модели фрактальных структур в звездной динамике, используя критически анализ данных В целом успешное, но не систематическо	целом успешно е, но содержащее отдельные пробелы умение строить теоретические модели фрактальных структур в звездной динамике, используя критически анализ данных В целом успешно е, но содержащее	систематическое умение строить теоретические модели фрактальных структур в звездной динамике, используя критически анализ данных Успешное и систематическое планировать эксперименталь
строить теоретические модели фрактальных структур в звездной динамике, используя критически анализ данных УК-1.Б У-1 УМЕТЬ: планировать эксперимента льные исследования	умения строить теоретические модели фрактальных структур в звездной динамике, используя критически анализ данных Отсутствие умения планировать эксперименталь ные	успешное, но не систематическо е умение строить теоретические модели фрактальных структур в звездной динамике, используя критически анализ данных В целом успешное, но не систематическо е умение	целом успешно е, но содержащее отдельные пробелы умение строить теоретические модели фрактальных структур в звездной динамике, используя критически анализ данных В целом успешно е, но содержащее отдельные	систематическое умение строить теоретические модели фрактальных структур в звездной динамике, используя критически анализ данных Успешное и систематическое планировать эксперименталь ные
строить теоретические модели фрактальных структур в звездной динамике, используя критически анализ данных УК-1.Б У-1 УМЕТЬ: планировать эксперимента льные исследования в области	умения строить теоретические модели фрактальных структур в звездной динамике, используя критически анализ данных Отсутствие умения планировать эксперименталь ные исследования в	успешное, но не систематическо е умение строить теоретические модели фрактальных структур в звездной динамике, используя критически анализ данных В целом успешное, но не систематическо е умение планировать	целом успешно е, но содержащее отдельные пробелы умение строить теоретические модели фрактальных структур в звездной динамике, используя критически анализ данных В целом успешно е, но содержащее отдельные пробелы	систематическое умение строить теоретические модели фрактальных структур в звездной динамике, используя критически анализ данных Успешное и систематическое планировать эксперименталь ные исследования в
строить теоретические модели фрактальных структур в звездной динамике, используя критически анализ данных УК-1.Б У-1 УМЕТЬ: планировать эксперимента льные исследования в области фрактальных	умения строить теоретические модели фрактальных структур в звездной динамике, используя критически анализ данных Отсутствие умения планировать эксперименталь ные исследования в области	успешное, но не систематическо е умение строить теоретические модели фрактальных структур в звездной динамике, используя критически анализ данных В целом успешное, но не систематическо е умение планировать экспериментал	целом успешно е, но содержащее отдельные пробелы умение строить теоретические модели фрактальных структур в звездной динамике, используя критически анализ данных В целом успешно е, но содержащее отдельные пробелы умение	систематическое умение строить теоретические модели фрактальных структур в звездной динамике, используя критически анализ данных Успешное и систематическое планировать эксперименталь ные исследования в области
строить теоретические модели фрактальных структур в звездной динамике, используя критически анализ данных УК-1.Б У-1 УМЕТЬ: планировать эксперимента льные исследования в области фрактальных структур,	умения строить теоретические модели фрактальных структур в звездной динамике, используя критически анализ данных Отсутствие умения планировать эксперименталь ные исследования в области фрактальных	успешное, но не систематическо е умение строить теоретические модели фрактальных структур в звездной динамике, используя критически анализ данных В целом успешное, но не систематическо е умение планировать экспериментальные	целом успешно е, но содержащее отдельные пробелы умение строить теоретические модели фрактальных структур в звездной динамике, используя критически анализ данных В целом успешно е, но содержащее отдельные пробелы умение планировать	систематическое умение строить теоретические модели фрактальных структур в звездной динамике, используя критически анализ данных Успешное и систематическое планировать эксперименталь ные исследования в области фрактальных
строить теоретические модели фрактальных структур в звездной динамике, используя критически анализ данных УК-1.Б У-1 УМЕТЬ: планировать эксперимента льные исследования в области фрактальных	умения строить теоретические модели фрактальных структур в звездной динамике, используя критически анализ данных Отсутствие умения планировать эксперименталь ные исследования в области	успешное, но не систематическо е умение строить теоретические модели фрактальных структур в звездной динамике, используя критически анализ данных В целом успешное, но не систематическо е умение планировать экспериментал	целом успешно е, но содержащее отдельные пробелы умение строить теоретические модели фрактальных структур в звездной динамике, используя критически анализ данных В целом успешно е, но содержащее отдельные пробелы умение	систематическое умение строить теоретические модели фрактальных структур в звездной динамике, используя критически анализ данных Успешное и систематическое планировать эксперименталь ные исследования в области

namicay	OHAHIADOW P	фрактоптиту	исспаловомия в	OHAHHDOWL
рамках	оценивать в	фрактальных	исследования в области	оценивать в
ОСНОВНЫХ	рамках	структур, объяснять и		рамках
законов звездной	ОСНОВНЫХ		фрактальных	основных законов
	законов звездной	оценивать в	структур, объяснять и	
динамики		рамках		звездной
результаты,	динамики	ОСНОВНЫХ	оценивать в	динамики
полученные в	результаты,	законов	рамках	результаты,
процессе	полученные в	звездной	основных	полученные в
эксперимента УК-1.Б У-2	процессе	динамики	законов	процессе
уК-1.Б у-2	эксперимента	результаты,	звездной	эксперимента
		полученные в	динамики	
		процессе	результаты,	
		эксперимента	полученные в	
			процессе	
XD (ED)		D	эксперимента	**
УМЕТЬ:	Отсутствие	В целом	В	Успешное и
решать	умения решать	успешное, но	целом успешно	систематическое
типовые	типовые задачи	не	е, но	умение решать
задачи		систематическо	содержащее	типовые задачи
звездной		е умение	отдельные	
динамики		решать	пробелы	
ОПК-1.Б У-1		типовые задачи	умение решать	
AD CERT		70	типовые задачи	**
УМЕТЬ:	Отсутствие	В целом	В	Успешное и
строить	умения строить	успешное, но	целом успешно	систематическое
математическ	математические	не	е, но	умение строить
ие модели	модели явлений	систематическо	содержащее	математические
явлений и	и процессов для	е умение	отдельные	модели явлений
процессов для	фрактальных	строить	пробелы	и процессов для
фрактальных	структур в	математически	умение строить	фрактальных
структур в	звездной	е модели	математически	структур в
звездной	динамике	явлений и	е модели	звездной
динамике		процессов для	явлений и	динамике
ОПК-1.Б У-2		фрактальных	процессов для	
		структур в	фрактальных	
		звездной	структур в	
		динамике	звездной	
рилист	0 /1	D	динамике	37
ВЛАДЕТЬ:	Отсутствие/фраг	В целом	В	Успешное и
математическ	ментарное	успешное, но	целом успешно	систематическое
им аппаратом,	владение	не	е, но	владение
применяемым	математическим	систематическо	содержащее	математическим
в звездной	аппаратом,	е владение	отдельные	аппаратом,
динамике	математическим	математически	пробелы	математическим
УК-1.Б В-1	аппаратом,	м аппаратом,	владение	аппаратом,
	применяемым в	математически	математически	применяемым в
	звездной	м аппаратом,	м аппаратом,	звездной
	динамике	применяемым в	математически	динамике
		звездной	м аппаратом,	
		динамике	применяемым в	
			звездной	
			динамике	

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