

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ (НИ ТГУ)

Физический факультет

УТВЕРЖДЕНО:  
Декан физического факультета  
С.Н. Филимонов

Оценочные материалы по дисциплине

**Введение в синергетику**  
по направлению подготовки

**03.04.02 Физика**

Направленность (профиль) подготовки:  
**«Фундаментальная и прикладная физика»**

Форма обучения  
**Очная**

Квалификация  
**Магистр**

Год приема  
**2025**

СОГЛАСОВАНО:  
Руководитель ОП  
О.Н. Чайковская

Председатель УМК  
О.М. Сюсина

Томск – 2025

## **1. Компетенции и индикаторы их достижения, проверяемые данными оценочными материалами**

Целью освоения дисциплины является формирование следующих компетенций:  
– ПК-1 – Способен проводить научные исследования в выбранной области с использованием современных экспериментальных и теоретических методов, а также информационных технологий.

Результатами освоения дисциплины являются следующие индикаторы достижения компетенций:

ИПК-1.1. Собирает и анализирует научно-техническую информацию по теме исследования, обобщает научные данные в соответствии с задачами исследования;

ИПК-1.2. Владеет практическими навыками использования современных методов исследования в выбранной области.

## **2. Оценочные материалы текущего контроля и критерии оценивания**

Элементы текущего контроля:

– посещение занятий.

*Критерии оценивания:*

Текущий контроль по дисциплине включает контроль посещаемости.

## **3. Оценочные материалы итогового контроля (промежуточной аттестации) и критерии оценивания**

Экзаменационный билет включает 3 вопроса из списка контрольных вопросов по курсу, проверяющих сформированность компетенции ПК-1 в соответствии с индикаторами ИПК-1.1 и ИПК-1.2. Ответы даются в развернутой форме.

Пример экзаменационного билета:

### **БИЛЕТ № 1**

Вопрос 1. Бифуркации в диссипативной системе с двумя степенями свободы.

Вопрос 2. Типы аттракторов.

Вопрос 3. Фракталы и фрактальные размерности.

Дополнительные и/или уточняющие вопросы по основным темам и содержанию курса, позволяющие оценить уровень освоения всей программы. Ответ на уровне формулировки основных определений и/или краткого изложения физики явления и соответствующих представлений.

Например:

Вопрос 1. Дать определение показателей Ляпунова.

Вопрос 2. Что такое сечение Пуанкаре.

Вопрос 3. Теорема о минимальном производстве энтропии.

Вопрос 4. Метод показателей Флоке.

И т.д.

Примеры задач:

Задача 1. Определить тип особой точки для тривиального решения для реакции Белоусова-Жаботинского.

Ответ: Седловая точка.

Задача 2. Рассчитать фрактальную размерности ковра Серпиньского.

Ответ: 1.893.

Экзаменационная оценка определяется исходя из результатов зачета с оценкой и текущей аттестации в течение семестра.

Результаты зачета с оценкой определяются оценками «отлично», «хорошо», «удовлетворительно», «неудовлетворительно».

Оценка «отлично», с учетом промежуточной успеваемости, выставляется, если даны правильные ответы на все теоретические вопросы по билету, а так же даны правильные ответы на дополнительные и/или уточняющие вопросы по основным темам и содержанию курса.

Оценка «хорошо», с учетом промежуточной успеваемости, выставляется, если даны неполные правильные ответы на теоретические вопросы по билету, но имеются так же правильные ответы на часть дополнительных и/или уточняющих вопросов по основным темам и содержанию курса.

Оценка «удовлетворительно», с учетом промежуточной успеваемости, выставляется, если даны неправильные ответы на теоретические вопросы, но при этом даны правильные ответы на дополнительные и/или уточняющие вопросы по основным темам и содержанию курса.

Оценка «неудовлетворительно», с учетом промежуточной успеваемости, выставляется, если даны неправильные ответы на оба теоретических вопроса билета и отсутствуют ответы на дополнительные или уточняющие вопросы.

Перечень вопросов, выносимых на экзамен:

1. Причины возникновения синергетики. Динамика популяций хищников и жертв. Реакция Белоусова-Жаботинского. Диод Ганна и лазер. Ячейки Бенара и вихри Тейлора. Понятия диссипационных структур и систем, процессов самоорганизации.
2. Основные понятия термодинамики – типы термодинамических систем, равновесных и неравновесных состояний, обратимых и необратимых процессов., понятие энтропии. Деление термодинамики на три области.
3. Три начала термодинамики и их анализ с точки зрения синергетики. Связь энтропии и порядка.
4. Энтропия неравновесной системы. Обоснование возможности существования стационарных состояний с точки зрения изменения энтропии системы. Производство энтропии.
5. Термодинамика линейных необратимых процессов. Понятие обобщенных сил и потоков. Теорема о минимуме производства энтропии и ее доказательство.
6. Критерии эволюции и устойчивости сложных систем с точки зрения термодинамики.
7. Понятие уравнений эволюции и классификация их решений. Общая схема анализа уравнений эволюции. Типы поведения сложных систем с точки зрения устойчивости исследуемых состояний. Устойчивость по Ляпунову. Линейная устойчивость по Ляпунову. Понятие бифуркаций.
8. Анализ уравнений эволюции систем с одной степенью свободы. Исследование устойчивости системы по определению и методом линейной устойчивости Ляпунова. Культиватор бактерий.
9. Анализ уравнений эволюции систем с двумя степенями свободы. Метод линейной устойчивости Ляпунова для систем с двумя степенями свободы. Классификация особых точек.

10. Понятие предельного цикла и орбитальной устойчивости. Метод показателей Флоке для исследования устойчивости стационарных периодических решений уравнений эволюции.
11. Типы аттракторов. Основные типы бифуркаций.
12. Классификация методов решения задач синергетики в зависимости от характера уравнений, описывающих эволюцию сложных систем. Клеточные автоматы и их классификация.
13. Отображение Пуанкаре. Классификация состояния сложных систем на основе отображения Пуанкаре.
14. Консервативные системы – возможность существования хаотических и упорядоченных состояний в системах с различным числом степеней свободы. Эргодичность и перемешивание.
15. Диссипативные системы и их аттракторы. Турбулентность Лоренца, хаос Помо-Манневилля, хаос Рюэля-Таккенса-Ньюхауза. Пространственно-временной хаос.
16. Теория точечных отображений. Хаос Фейгенбаума. Универсальность Фейгенбаума.
17. Показатели Ляпунова и энтропия Колмогорова-Синая. Диагностика состояний сложных систем на их основании.
18. Понятие фрактальных структур. Классификация фракталов. Скейлинговые структуры – отображение Эно. Геометрические фракталы - кривая Кох, канторово множество, ковер Серпиньского. Расчет фрактальных размерностей этих структур.
19. Фрактальные размерности – размерность Хаусдорфа–Безиковича, поточечная, информационная и корреляционная размерности. Связь фрактальной размерности с показателями Ляпунова – формула Каплана-Йорке.

#### **4. Оценочные материалы для проверки остаточных знаний (сформированности компетенций)**

Теоретические вопросы (ПК-1, ОПК-3):

1. Сформулируйте теорему о минимальном производстве энтропии и докажите ее. Существование каких состояний сложных систем возможно на основании этой теоремы?

Ответ должен содержать доказательство теоремы и обоснование наличия определенного вида состояний сложных систем.

2. Дайте определение аттракторов и укажите их типы.

Ответ должен содержать определение аттракторов и типы движений, которым они соответствуют.

3. Проведите классификацию особых точек для систем с двумя степенями свободы.

Ответ должен содержать эту классификацию с указанием типа движения в сложной системе для каждой особой точки.

4. Опишите, какие на настоящий момент времени известны типы бифуркаций.

Ответ должен содержать перечисление типов бифуркаций с их физической интерпретацией.

5. Расскажите об основных понятиях теории отображений.

Ответ должен содержать основные определения из теории отображений со всеми необходимыми формулами.

6. Какие типы перехода к хаосу через перемежаемость известны? Чем обусловлено отличие в этих типах и к чему оно приводит?

Ответ должен содержать описание типов перехода и обоснование отличий в этих типах, а также отличия поведения сложных систем при разных типах перехода.

7. Какова классификация эволюции сложных систем на основании показателей Ляпунова?

Ответ должен содержать описание этой классификации со всеми необходимыми формулами.

8. Что такое фракталы и какие формулы для расчета фрактальных размерностей существуют ?

Ответ должен содержать определения фракталов и формулы для расчета фрактальных размерностей.

### **Информация о разработчиках**

Корюкина Елена Владимировна, доктор физико-математических наук, доцент, кафедра физики плазмы физического факультета ТГУ, доцент.