**«Модели нелинейного мира»**

***Models of Nonlinear World***

**Трудоемкость:** 28 аудиторных часов (14 лекций).

**Форма отчетности** – зачет.

**Лектор:** Ризниченко Галина Юрьевна,доктор физико-математических наук, профессор

кафедры биофизики биологического факультета

**Аннотация**

Современное представление о мире характеризуется сложностью и многогранностью. Экспериментальные методы позволяют изучать природные явления на самых разных пространственных и временных масштабах – от масштабов элементарных частиц – до масштабов вселенной. Компьютерные технологии, мощности которых неуклонно растут, дают возможность анализировать и хранить огромные массивы данных, разрабатывать компьютерные модели систем разных пространственных и временных масштабов и разной степени детализации, проигрывать на моделях различные сценарии, строить прогнозы. При всем разнообразии известных науке живых и неживых систем, в природе присутствуют законы, общие для систем разных масштабов и разной природы, неживых и живых систем. Эти законы самоорганизации материи определяют образование звезд и планет из плазмы большого взрыва и сложного организма – из яйцеклетки, развитие неоднородных в пространстве динамических структур из первоначально однородных состояний.

Процессы самоорганизации возможны только в нелинейных системах. Что же такое – нелинейность. Есть понятия, которые первоначально возникают в отдельной области знания (в данном случае – в математике), а потом приобретают гораздо более широкое общечеловеческое значение. Таково понятие нелинейности. Нелинейность в широком смысле – это синоним неоднозначности, сложности, многовариантности.

В предлагаемом курсе речь пойдет о моделях нелинейного мира. Обсуждаются понятия модели и моделирования, которое в современном мире информационных технологий наряду с теорией и экспериментом стало мощным инструментом познания не только в естественных науках, но и в экономике, социологии, истории. На примере базовых моделей нелинейных процессов показано, какими характерными качественными чертами может обладать нелинейная система – иметь несколько возможных стационарных состояний, демонстрировать колебательные и стохастические динамические режимы, сложное пространственно-временное поведение. На примерах физических, химических, биологических систем показано, как сходные типы взаимодействий между элементами систем разной природы (изоморфизм) обуславливают в системах различной природы образование пространственно-неоднородных структур (полосатая раскраска шкур животных, пятна планктона в океане, галактические скопления). Обсуждается фрактальная структура природных объектов (сложная береговая линия, облака, альвеолы легких) и связь фрактальной геометрии с динамическим хаосом.

Рассматриваются основы различных методов моделирования природных объектов и процессов различных пространственных и временных масштабов – от квантовой химии до системной биологии. Обсуждаются общие черты организации сетей различной природы (транспортные сети, регуляторные сети в живой клетке, информационные сети) и их динамические свойства. Обсуждаются последние экспериментальные достижения когнитивной науки и возможности моделирования процессов в мозге человека.

В целом, курс дает обзор современных знаний и представлений о сложных процессах нелинейного мира и возможностях их математического и компьютерного моделирования.

**Программа**

**Лекция 1.** Понятие модели. Модели в разных науках: физике, химии, биологии, экономике, гуманитарных науках. Понятие операционной системы. Линейность и нелинейность Динамические свойства нелинейных моделей. Самоорганизация в пространстве и во времени. Нелинейное мышление и экологическое сознание

**Лекция 2.** Классификация моделей: регрессионные, качественные (базовые), имитационные. Мягкие и жесткие модели (По Арнольду). Понятие переменных и параметров. Исследование модели, представляющей собой одно автономное дифференциальное уравнение.

**Лекция 3.** Модели роста. Рост популяции. Рост капитала. Модель роста человечества. Детерминированные и вероятностные модели роста. Непрерывные и дискретные модели. Динамические режимы в дискретных моделях. Роль запаздывания

**Лекция 4.** Математический аппарат моделирования. Обыкновенные дифференциальные уравнения. Поведение системы во времени. Понятие фазовой плоскости и фазового пространства. Понятие стационарного состояния. Понятие устойчивости стационарного состояния. Модель военного соперничества (Неймарк)

**Лекция 5.** Примеры базовых моделей. Фазовый портрет. Устойчивость стационарных состояний. Линейные химические реакции. Модель химических реакций Лотки. Модель Вольтерра взаимодействия двух видов.

**Лекция 6.** Иерархия времен процессов в сложной системе. Пример – фотосинтез. Метод квазистационарных концентраций в химии. Теорема Тихонова. Иерархия времен процессов в живых системах. Иерархия процессов в моделях экосистем. Глобальные модели. Методы моделирования и исследования

**Лекция 7.** Мультистационарные системы. Понятие триггера. Типы эволюции неживых и живых систем. Модели отбора. Конкуренция биологических видов. Генетический триггер Жакоба и Моно. Конкуренция в экономике. Триггерная модель высоко- и низкопродуктивной экономики (Д.С.Чернавский). Понятие бифуркаций. Типы бифуркаций. Катастрофы типа складки и сборки. Философские понятия катастроф

**Лекция 8.** Периодические процессы в физике, химии, биологии, экономике. Гармонический осциллятор и нелинейный осциллятор. Представление моделей процессов в виде рядов периодических функций (Ряды Фурье). Представление колебаний на фазовой плоскости. Предельный цикл. Мягкое и жесткое рождение колебаний. Колебания в биологических системах: фотосинтез, гликолиз, регуляция кальция в клетке, клеточный цикл. Бумы и спады в экономике. Циклы Леонтьева. Циклы солнечной активности и их влияние на историю.

**Лекция 9.** Детерминированный хаос. Модель Лоренца (из метеорологии). Понятие странного аттрактора. Горизонт предсказуемости. Понятие устойчивости траектории системы. Критерии оценки устойчивости. Показатель Ляпунова. Понятие фрактала и фрактальной размерности. Примеры фрактальных систем. Фрактальная геометрия природы (Мандельброт)

**Лекция 10.** Поведение систем в пространстве и во времени. Распространение фронтов, импульсов и волн. Механические колебания струны. Распространение акустической волны. Распространение пламени в степи. Автоволновые процессы в физических и химических системах. Уравнение Петровского-Колмогорова-Пискунова-Фишера. Реакция Белоусова-Жаботинского. Распространение нервного импульса. Модели сердечной активности

**Лекция 11.** Модели морфогенеза. Философское понятие морфогенеза. Книга Р. Тома «Теория морфогенеза». Модель Тьюринга. Брюсселятор – базовая модель нелинейного пространственно-временного поведения. Модели школы И.Р.Пригожина. Раскраска шкур животных. Формообразование морских звезд и раковин (Майнхардт). Структуры расселения растительности (Лефевр). Модели образования городов.

**Лекция 12.** Модели процессов на наноуровне. Бионаноструктуры. Модели квантовой химии. Молекулярная динамика. Многочастичные броуновские модели. Концепция белок-машина. Молекулярные моторы и их модели. Молекулярные «энергетические фабрики»: хлоропласты (фотосинтез) и митохондрии (дыхание).

**Лекция 13.** Модели рождения информации. Способы передачи информации. Информационные сети. Транспортные сети. Регуляторные генные и метаболические сети в живой клетке. Понятие ценности информации.

**Лекция 14.** Синергетические модели деятельности мозга (Хакен). Нейрокомпьютинг. Модели художественного творчества. Сети взаимоотношений персонажей художественных произведений.

**Вопросы к зачету по курсу**

1. Что такое модель. Для чего строятся модели. В чем отличие качественных и имитационных моделей. Понятие линейной и нелинейной системы, линейного и нелинейного мышления. Что такое экологическое сознание? В чем связь нелинейного мышления и экологического сознания?
2. Что такое дифференциальные уравнения. В чем отличие переменных и параметров. Что такое стационарное состояние. Как определить, устойчиво ли стационарное состояние. Привести примеры устойчивых и неустойчивых стационарных состояний. Что такое фазовое пространство? Что такое аттрактор?
3. Что такое линейный рост. Как выглядит зависимость численности от времени при линейном росте. Чем может быть вызвано ограничение роста? Определить понятия: дискретный и непрерывный. Почему в дискретной модели возможны различные динамические режимы (колебания, хаос). Как может проявляться запаздывание. Как растет человеческая популяция?
4. Привести примеры иерархии процессов в сложных системах. Организм человека. Растение. Экологическая система. Страна. Какие процессы можно считать квазистационарными.
5. Привести примеры систем, в которых имеет место отбор. Какую роль играет отбор в эволюции? Что такое триггерная система. В каких системах возможны переключения. Как выглядит триггерная система на фазовой плоскости.
6. Приведите примеры периодических (колебательных) процессов в Вашей области знания. Представление периодических процессов на фазовой плоскости. Как могут возникнуть колебания? Что представляет собой аттрактор, который является изображением колебаний с постоянными периодом и амплитудой на фазовой плоскости?
7. Что такое детерминированный хаос? В чем причина хаотического поведения траекторий системы? Что такое горизонт предсказуемости? Понятие странного аттрактора. Почему он странный? Чем характеризуются фрактальные системы?
8. Приведите примеры пространственно-временной динамики систем, которые Вы изучаете?

Может ли «волна концентраций» распространяться быстрее, чем идет процесс диффузии? В чем причина такого явления?

1. Существуют ли в системах, которые Вы изучаете, пространственно-однородные стационарные распределения? Автоволны? Каким образом получается, что наличие диффузии и флуктуаций делает пространственно-однородную систему гетерогенной? Как возникают структуры?
2. В чем специфика процессов на нано-уровне? Как физические процессы обуславливают биологические функции? Приведите аналогии технических устройств и живых систем. В чем сходство и различие?
3. Как рождается новая информация? Что такое сетевые структуры? Приведите примеры информационных сетей. В чем сходство регуляторных, метаболических и информационных сетей? Приведите примеры сетевых взаимоотношений персонажей художественных произведений.
4. Что такое нейрокомпьютинг? Чем характеризуются когнитивные процессы? Как соотносятся модели нейрокомпьютинга и работа мозга животного и человека?