

Федеральное агентство по образованию
САРАТОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИМЕНИ Н.Г. ЧЕРНЫШЕВСКОГО

кафедра радиофизики
и нелинейной динамики

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА

по дисциплине **Математическое моделирование в биофизике**
для специальности 014200 – биохимическая физика
реализуемой на физическом факультете

Саратов 2006 год

Рабочая программа
составлена в соответствии
с Государственным стандартом
высшего профессионального образования
по специальности 014200 – БИОХИМИЧЕСКАЯ ФИЗИКА
(номер государственной регистрации 272 ен/сп от 27.03.2000 г.)

<p style="text-align: center;">ОДОБРЕНО:</p> <p>Председатель учебно-методической комиссии физического факультета, профессор _____ В.Л.Дербов _____ 2006 г.</p>	<p style="text-align: center;">УТВЕРЖДАЮ:</p> <p>Проректор по учебной работе, профессор _____ Е.М. Первушов _____ 2006 г.</p>
---	--

СОГЛАСОВАНО:

Декан физического факультета,
профессор _____

Д.А.Зимняков

Заведующий кафедрой радиофизики и
нелинейной динамики
физического факультета _____

В.С.Анищенко

Вид учебной работы	Бюджет времени по формам обучения, час				
	очная		очно-заочная	заочная	
	полная программа	ускоренные сроки		полная программа	ускоренные сроки
Аудиторные занятия, всего	68				
в том числе: - лекции -	34				
лабораторные (практические) -	34				
семинарские					
Самостоятельная работа студентов	2				
Зачеты, +/-	-				
Экзамены, +/-	+				
Контрольные работы, количество	2				
Курсовая работа, +/-	-				

Автор: профессор кафедры радиофизики и
нелинейной динамики, д.ф.-м.н

Д.Э. Постнов

1. Организационно-методическое сопровождение.

Курс «Математическое моделирование в биофизике» читается студентам дневного отделения кафедры радиофизики и нелинейной динамики и кафедры прикладной физики, обучающимся по специальности 014200 – биохимическая физика. Курс читается в течение 8-го учебного семестра и включает 34 часа лекционных занятий.

Целью курса является ознакомление студентов с современными математическими методами анализа биологических объектов и процессов.

2. Тематический план учебной дисциплины.

№ п/п	Наименование раздела, подраздела, темы лекции	Бюджет учебного времени					Форма текущего и итогового контроля
		Всего	в том числе				
			лекции	лабораторные и практические	семинарские занятия	самостоятельная работа	
1	2	3	4	5	6	7	8
Очная полная программа							
	Введение. Математическое моделирование и методология нелинейной динамики	2	2	-		-	
1.	Тема 1.	12.5	6	6		0.5	Контрольная работа
1.1	Моделирование	4	2	2			
1.2	процесса	4	2	2			
1.3	авторегуляции почечного кровотока	4.5	2	2		0.5	
2.	Тема 2.	14.5	6	8		0.5	Контрольная Работа
2.1	Математическое	3	1	2			
2.2	моделирование	4.5	2	2		0.5	
2.3	секреции инсулина	3	1	2			
2.4		4	2	2			
3.	Тема 3. Модели процесса авторегуляции артериального давления	4	2	2		-	Контрольная Работа
4.	Тема 4.	12.5	6	6		0.5	Контрольная работа
4.1	Модели динамики	4	2	2			
4.2	популяций	4.5	2	2		0.5	
4.3		4	2	2			
5.	Тема 5.	10	6	4		-	Контрольная работа
5.1	Моделирование	6	4	2			
5.2	пространственных структур	4	2	2			

6.	Тема 6.	14.5	6	8		0.5	Контрольная работа
6.1	Стохастические	3	1	2			
6.2	модели процессов	4	2	2			
6.3	в живых системах	4.5	2	2		0.5	
6.4		3	1	2			
	Итого	70	34	34		2	Экзамен

3. Содержание учебной дисциплины.

Введение. Математическое моделирование и методология нелинейной динамики.

Место математического моделирования в общем процессе познания. Приемы и способы записи модельных уравнений. Основные этапы получения безразмерной модели, приемы нормировки.

Ритмы в живых системах. Классы и уровни живых систем с точки зрения математических моделей. Субклеточный и клеточный уровень, уровень многоклеточных структур, физиологические системы организма, модели популяций, экосистемы.

Общий алгоритм исследования динамики модельной системы. Способы выявления и характеристики стабильных состояний, режимов периодических и хаотических осцилляций, случайных процессов.

Тема 1. Моделирование процесса авторегуляции почечного кровотока.

Раздел 1.1 Физиология нефрона.

Структурная единица почек – нефрон. Устройство и упрощенная схема функционирования нефрона. Механизм фильтрации в клубочке и его математическое описание. Обратные связи в нефроне. Петля Хенли.

Раздел 1.2 Математическая модель одиночного нефрона.

Математическое описание авторегуляции интенсивности кровотока изменением диаметра входной артериолы. Регулярная и хаотическая динамика математической модели одиночного нефрона. Основные режимы колебаний и бифуркационные переходы, две моды колебаний.

Раздел 1.3 Модели парных нефронов.

Механизмы взаимодействия парных нефронов. Гемодинамическая связь и ее моделирование. Учет TGF-связи в уравнениях. Синхронизация регулярных и хаотических колебаний в парных нефронах. Раздельная синхронизация двух мод при хаотическом режиме колебаний.

Тема 2. Математическое моделирование секреции инсулина.

Раздел 2.1 Экспериментальные результаты.

Характеристики экспериментально наблюдаемых колебаний концентрации инсулина и глюкозы. Физиологические механизмы регуляции секреции инсулина на уровне организма в целом и поджелудочной железе. Быстрые, средние и медленные типы колебаний концентрации инсулина.

Раздел 2.2. Медленный (100-минутный) ритм авторегуляции.

Переменные модели: инсулин плазмы, глюкоза плазмы, инсулин в тканях. Аппроксимация нелинейных зависимостей. Моделирование времени реакции печени. Колебательная динамика модели.

Раздел 2.3. Моделирование 10-минутного ритма колебаний уровня инсулина.
Механизмы авторегуляции в кластере бета-клеток. Приближения модели. Уравнения и управляющие параметры. Механизм возбуждения и поддержания колебаний.

Раздел 2.4. Быстрые колебания уровня инсулина.

Процесс выработки инсулина бета-клетками. Кластеры бета-клеток. Режим пачечной активности бета-клеток. Свидетельства взаимодействия между альфа- и бета-клетками. Обзор имеющихся математических моделей. Модель Шермана и ее динамика при вариации управляющих параметров.

Тема 3. Модели процесса авторегуляции артериального давления.

Медленные ритмы гемодинамики. Барорецепторы. Основные цепи регуляции давления. Учет причинно-следственных связей в модели Seidel-Herzel. Моделирование ритма дыхательной активности. Уравнения с дискретным временем для учета моментов сокращения сердца. Учет концентрации норадреналина. Основные режимы модели и ее бифуркационные диаграммы при вариации параметров временной задержки и степени влияния барорецепторов.

Тема 4. Модели динамики популяций.

Раздел 4.1. Основные понятия и приемы построения моделей.

Уравнения для одного вида. Уравнения для двух конкурирующих видов, для двух сосуществующих видов (симбиоз). Обобщенная форма уравнений для многовидовой системы.

Раздел 4.2. Моделирование одиночного микробиологического осциллятора.

Колебания в связанных микробиологических осцилляторах. Характеристики роста бактерий в питательном растворе и уравнения математической модели. Жизненный цикл вирусов и его формализованное описание. Динамика и диаграмма режимов модели одиночной популяции.

Раздел 4.3. Моделирование глобальной и каскадной связи популяций через общий поток питательных ресурсов.

Синхронизация и рост сложности колебаний вдоль по потоку, кластерная синхронизация. Конкуренция популяций за ресурсы и мультистабильность.

Тема 5. Моделирование пространственных структур.

Раздел 5.1. Нелинейные волны в возбудимой среде.

Движущиеся фронты. Передача возбуждения в миелинизированном аксоне. Бегущий импульс возбуждения в уравнении FitzHugh-Nagumo. Кусочно-линейный вариант уравнений. Волны концентрации кальция.

Раздел 5.2. Уравнения реакции-диффузии (РД).

Механизмы РД. Генерация структур в уравнениях РД. Приложение уравнений РД к задаче о раскраске шкур животных.

Тема 6. Стохастические модели процессов в живых системах.

Раздел 6.1. Шум в живых системах.

Источники шума в живых системах. Учет флуктуаций в уравнениях математических моделей. Интерпретация действия шума как активации нелинейных свойств.

Раздел 6.2. Стохастический резонанс.

Динамика двух состояний в биологических системах. Источники шума в сенсорных системах. Стохастический резонанс в нейронах: экспериментальные результаты и численное моделирование. Механизм и теория стохастического резонанса.

Раздел 6.3 Когерентный резонанс.

Механизмы возбуждения индуцированных шумом колебаний в возбудимых системах. Измерение регулярности. Концепция КР-осциллятора.

Раздел 6.4 Стохастическая синхронизация.

Многомодовая динамика в моделях живых систем.

Механизмы индуцированной шумом подстройки ритмов.

В конце каждого раздела лекционного курса проводится контрольная работа для проверки знаний студентов.

4. Перечень основной и дополнительной литературы:

Фундаментальная и клиническая физиология: Учебник для студ. высш. учебн. заведений / Под ред. А. Г. Камкина и А. А. Каменского. - М.: Издательский центр «Академия», 2004. - 1072 с.

Гласс Л., Мэки М. От часов к хаосу: Ритмы жизни: Пер. с англ. - М.: Мир, 1991. - 248 с., ил.

Understanding Nonlinear Dynamics: Daniel Kaplan, Leon Glass. - Springer-Verlag New York, Inc. 1995.

Mathematical Physiology. James Keener, James Sneyd. - Springer-Verlag New York, Inc. 1998.

Физиология человека: В 3-х томах. Пер. с англ./ Под ред. Р.Шмидта и Г. Тевса.- М.: Мир, 1996.- 323с., ил.

А. Пиковский, М. Розенблюм, Ю. Куртс. Синхронизация. Фундаментальное нелинейное явление. Москва: Техносфера, 2003. - 496с.

Анищенко В.С., Астахов В.В., Вадивасова Т.Е., Нейман А.Б., Стрелкова Г.И., Шиманский-Гайер Л. Нелинейные эффекты в хаотических и стохастических системах. - Москва-Ижевск: Институт компьютерных исследований, 2003, 544 стр.

Biological Psychology: Mark R. Rosenzweig, Arnold L. Leiman, S. Marc Breedlove. Sinauer Associates, Publishers, Sunderland, Massachusetts, 1996.

А.Б. Рубин. Биофизика. В 2-х кн. - М.: Высш.шк., 1987.

А.Б. Рубин. Лекции по биофизике. - М.: Изд-во МГУ, 1994. - 160 с.

5. Перечень средств обучения.

1. Мультимедиа-проектор с компьютером.
2. Компьютерный класс для проведения практических занятий.

6. Вопросы к курсу.

1. Охарактеризуйте основные этапы исследования модельной системы.
2. Охарактеризуйте физиологию одиночного нефрона.
3. Объясните смысл уравнений математической модели одиночного нефрона.
4. Охарактеризуйте механизмы взаимодействия близко расположенных нефронов.
5. Каковы характеристики экспериментально наблюдаемых колебаний концентрации инсулина и глюкозы.
6. Опишите математическую модель медленного ритма авторегуляции уровня инсулина.
7. Охарактеризуйте механизм возбуждения и поддержания колебаний 10-минутного ритма.
8. Опишите процесс выработки инсулина бета-клетками.
9. Как возникает пачечная активность в кластере бета-клеток?
10. Охарактеризуйте основные цепи регуляции артериального давления.
11. Дайте общую характеристику класса моделей динамики популяций (смысл переменных и параметров, типы взаимодействия).
12. Запишите уравнения микробиологического осциллятора в проточном питательном растворе и объясните их смысл.
13. Опишите распространение возбуждения по аксону с использованием уравнения FitzHugh-Nagumo.
14. Запишите пример реакции диффузии и объясните его смысл.
15. Охарактеризуйте явление стохастического резонанса и приведите примеры его проявления в природе.
16. Охарактеризуйте явление когерентного резонанса с точки зрения возможных приложений в нейродинамике.