



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки  
**Институт автоматки и процессов управления**  
Дальневосточного отделения Российской академии наук  
(ИАПУ ДВО РАН)

**«СОГЛАСОВАНО»**

Заместитель директора по научно-образовательной деятельности,  
ученый секретарь, к.т.н.

 С.Б. Змеу

«29» декабря 2021 г.

**«УТВЕРЖДАЮ»**

Директор ИАПУ ДВО РАН,  
член-корреспондент РАН

 Р.В. Ромашко

«29» декабря 2021 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ (РПУД)**

**Теоретическая биофизика**

**Группа научных специальностей 1.5 – «Биологические науки»,  
научная специальность 1.5.2 «Биофизика»**

**Основная образовательная программа «Биофизика»**

**Форма подготовки (очная)**

Междисциплинарная кафедра подготовки кадров высшей квалификации (МК ПКВК) ИАПУ ДВО  
РАН

курс 2 семестр 3,4  
лекции 54 час. / 1,5 з.е.  
практические занятия – 54 час. / 1,5 з.е.  
лабораторные работы – нет  
всего часов аудиторной нагрузки 108 (час.) / 3,0 з.е.  
самостоятельная работа 72 (час.) / 2 з.е.  
контрольные работы не предусмотрены  
курсовая работа / курсовой проект 36 (час.) / 1 з.е.  
зачет 3 семестр  
экзамен 4 семестр

Рабочая программа составлена в соответствии с федеральными государственными требованиями к структуре программ подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре, условиям их реализации и срокам освоения этих программ с учетом различных форм обучения, образовательных технологий и особенностей отдельных категорий обучающихся, утвержденными приказом Министерства науки и высшего образования РФ от 20 октября 2021 № 951.

Рабочая программа обсуждена на заседании МК ПКВК ИАПУ ДВО РАН, протокол № 3 от «17» ноября 2021 г.

Заведующий кафедрой: д-р физ.- мат. наук, профессор Н.Г. Галкин

Составитель (ли): д-р физ.- мат. наук, г.н.с. лаборатории математического моделирования биофизических процессов А.И. Абакумов

**Оборотная сторона титульного листа РПУД**

**I. Рабочая программа пересмотрена на заседании кафедры:**

Протокол от « \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_ г. № \_\_\_\_\_

Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_  
(подпись) (И.О. Фамилия)

**II. Рабочая программа пересмотрена на заседании кафедры:**

Протокол от « \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_ г. № \_\_\_\_\_

Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_  
(подпись) (И.О. Фамилия)



## АННОТАЦИЯ

Дисциплина «Теоретическая биофизика» предназначена для аспирантов, обучающихся по образовательной программе «Биофизика», входит в вариативную часть учебного плана.

При разработке рабочей программы учебной дисциплины использованы федеральные государственные требования к структуре программ подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре (уровень подготовки кадров высшей квалификации) по группе научных специальностей 1.5. – «Биологические науки» и научной специальности 1.5.2 – «Биофизика» и учебный план подготовки аспирантов по научной специальности «Биофизика».

### **Цель изучения дисциплины.**

Формирование представления об общих проблемах термодинамики биологических систем, динамической организации и регуляции биологических процессов.

Знакомство с физическими и физико-химическими свойствами макромолекул и их комплексов, с устойчивостью и динамической подвижностью, с механизмами трансформации энергии.

Достижение понимания молекулярных механизмов, лежащих в основе биологических явлений

Познание физической природы взаимодействий в живых объектах.

### **Задачи изучения дисциплины.**

Понимание термодинамических свойств организмов и клеток как открытых систем.

Раскрытие механизмов нелинейных колебательных процессов в биологических системах.

Математическое и компьютерное моделирование биофизических процессов.

### **Компетенции выпускника, формируемые в результате изучения дисциплины.**

Универсальные компетенции:

- УК-1. Способность к критическому анализу и оценке современных научных достижений, генерированию новых идей при решении исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях.

Общепрофессиональные компетенции:

- ОПК-1. Способность самостоятельно осуществлять научно-исследовательскую деятельность в области физики и астрономии с использованием современных методов исследования и информационно-коммуникационных технологий.

- ОПК-2 Готовность к преподавательской деятельности по основным образовательным программам высшего образования

Профессиональные компетенции:

- ПК-1. Владение методами математического описания физических и биологических процессов, протекающих в биосистемах.

- ПК-2. Способность применять на практике базовые общепрофессиональные знания теории и методов биофизических исследований.

## **Требования к уровню усвоения содержания дисциплины**

Аспиранты должны приобрести следующие знания и умения:

-знать:

- общие проблемы термодинамики биологических систем, динамической организации и регуляции биологических процессов;
- физические и физико-химические свойствами макромолекул и их комплексов, механизмы трансформации энергии;
- молекулярные механизмы, лежащие в основе биологических явлений;
- основные характеристики физической природы взаимодействий в живых объектах;

- уметь:

- характеризовать термодинамические свойства организмов и клеток как открытых систем;
- определять механизмы нелинейных колебательных процессов в биологических системах;
- применять методы математического и компьютерного моделирования биофизических процессов;
- критически оценивать область применимости выбранных математических методов для описания протекающих в организме процессов;
- рационально организовывать научную работу в выбранной области исследований;
- представлять результаты научной работы;
- готовить заявки на получение научных грантов и заключения контрактов по НИР в выбранной области биофизики.

## **I. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ ЧАСТИ КУРСА**

### **Лекции (54 ЧАС.)**

#### **РАЗДЕЛ 1 Кинетика биологических процессов (3-ий семестр, 18 час.)**

Основные особенности кинетики биологических процессов. Описание динамики биологических процессов на языке химической кинетики. Динамические модели биологических процессов. Временная иерархия и принцип "узкого места" в биологических системах. Управляющие параметры. Быстрые и медленные переменные.

Способы математического описания пространственно-неоднородных систем. Стационарные состояния биологических систем. Множественность стационарных состояний. Устойчивость стационарных состояний.

Модели триггерного типа. Примеры. Силовое и параметрическое переключение триггера. Гистерезисные явления. Колебательные процессы в биологии. Автоколебательные режимы. Предельные циклы и их устойчивость.

Представления о пространственно неоднородных стационарных состояниях (диссипативных структурах) и условиях их образования.

Кинетика ферментативных процессов. Особенности механизмов ферментативных реакций. Понятие о физике ферментативного катализа.

Кинетика простейших ферментативных реакций. Условия реализации стационарности. Уравнение Михаэлиса-Ментен. Влияние модификаторов на кинетику



ферментативных реакций. Применение метода графов для исследования стационарной кинетики ферментативных реакций. Общие принципы анализа более сложных ферментативных реакций.

Влияние температуры на скорость реакций в биологических системах. Взаимосвязь кинетических и термодинамических параметров. Роль конформационных свойств биополимеров.

## **РАЗДЕЛ 2. Термодинамика биологических процессов (4-ый семестр, 18 час.)**

Классификация термодинамических систем. Первый и второй законы термодинамики в биологии. Теплоемкость и сжимаемость белковых глобул. Расчеты энергетических эффектов реакций в биологических системах. Характеристические функции и их использование в анализе биологических процессов.

Изменение энтропии в открытых системах. Постулат Пригожина. Термодинамические условия осуществления стационарного состояния. Связь между величинами химического сродства и скоростями реакций. Термодинамическое сопряжение реакций и тепловые эффекты в биологических системах.

Понятие обобщенных сил и потоков. Линейные соотношения и соотношения взаимности Онзагера. Термодинамика транспортных процессов. Стационарное состояние и условия минимума скорости прироста энтропии. Теорема Пригожина.

Применение линейной термодинамики в биологии. Термодинамические характеристики молекулярно-энергетических процессов в биосистемах. Нелинейная термодинамика.

Общие критерии устойчивости стационарных состояний и перехода к ним вблизи и вдали от равновесия.

Связь энтропии и информации в биологических системах.

## **РАЗДЕЛ 3. Моделирование биофизических процессов (4-ый семестр, 18 час.)**

Общие принципы математического моделирования. Модели биологической кинетики. Моделирование в микробиологии. Экспериментальные закономерности и теоретические принципы.

Модели популяционной динамики. Дискретные и непрерывные модели для популяций. Модели структурированных популяций.

Сообщества и экосистемы. Структура и функционирование сообществ. Влияние среды на живые системы.

Эффекты пространственной неоднородности. Распределенные модели. Пространственно-неоднородные устойчивые состояния живых систем.

## **II. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ПРАКТИЧЕСКОЙ ЧАСТИ КУРСА**

### **Практические занятия (54 час.)**

Динамические модели биологических процессов. Описание динамики биологических процессов. Построение динамических моделей биологических процессов. Управляющие параметры. Быстрые и медленные переменные.

Стационарные состояния биологических систем. Отыскание множества стационарных состояний биологических систем. Определение характеристик устойчивости стационарных состояний.

Колебательные процессы в биологии. Автоколебательные режимы. Предельные циклы и их устойчивость.

Кинетика простейших ферментативных реакций. Условия реализации стационарности. Уравнение Михаэлиса-Ментен. Применение метода графов для исследования стационарной кинетики ферментативных реакций.

Энергетические эффекты реакций в биологических системах. Расчеты энергетических эффектов реакций в биологических системах. Построение характеристических функций и их использование в анализе биологических процессов.

Изменение энтропии в открытых системах. Постулат Пригожина. Термодинамические условия осуществления стационарного состояния. Связь между величинами химического сродства и скоростями реакций.

Понятие обобщенных сил и потоков. Линейные соотношения и соотношения взаимности Онзагера. Термодинамика транспортных процессов. Стационарное состояние и условия минимума скорости прироста энтропии. Теорема Пригожина

Критерии устойчивости стационарных состояний. Общие критерии устойчивости стационарных состояний и перехода к ним вблизи и вдали от равновесия. Связь энтропии и информации в биологических системах.

Модели математической биологии. Исследование динамических свойств решений.

### **III. САМОСТОЯТЕЛЬНАЯ РАБОТА СТУДЕНТОВ (72 час.)**

1. Знакомство с научными периодическими изданиями по теоретической биофизике.
2. Освоение общих закономерностей биологической кинетики, термодинамики открытых систем.
3. Овладение методами моделирования живых систем.

### **IV. КОНТРОЛЬНО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ**

#### **Темы курсовых работ**

1. Кинетика простейших ферментативных реакций.
2. Энергетические эффекты реакций в биологических системах.
3. Изменение энтропии в открытых системах. Постулат Пригожина.
4. Термодинамические условия осуществления стационарного состояния.
5. Связь между величинами химического сродства и скоростями реакций
6. Линейные соотношения и соотношения взаимности Онзагера. Термодинамика транспортных процессов.
7. Стационарное состояние и условия минимума скорости прироста энтропии. Теорема Пригожина.
8. Общие критерии устойчивости стационарных состояний и перехода к ним вблизи и вдали от равновесия.
9. Связь энтропии и информации в биологических системах
10. Модели биологической кинетики.
11. Модели популяционной динамики.
12. Сообщества и экосистемы. Влияние среды обитания.
13. Нелинейная динамика в моделях биофизических процессов.
14. Эффекты пространственной неоднородности.



15. Динамические модели биологических процессов. Управляющие параметры. Быстрые и медленные переменные
16. Стационарные состояния биологических систем.
17. Характеристики устойчивости стационарных состояний.

#### **Вопросы к зачету (3 семестр)**

1. Основные особенности кинетики биологических процессов. Динамические модели биологических процессов. Управляющие параметры. Быстрые и медленные переменные.
2. Способы математического описания пространственно-неоднородных систем. Стационарные состояния биологических систем.
3. Модели триггерного типа. Примеры. Силовое и параметрическое переключение триггера. Гистерезисные явления. Колебательные процессы в биологии.
4. Автоколебательные режимы. Предельные циклы и их устойчивость.
5. Представления о пространственно неоднородных стационарных состояниях (диссипативных структурах) и условиях их образования.
6. Кинетика ферментативных процессов. Особенности механизмов ферментативных реакций.
7. Кинетика простейших ферментативных реакций. Условия реализации стационарности. Уравнение Михаэлиса-Ментен. Влияние модификаторов на кинетику ферментативных реакций. Общие принципы анализа более сложных ферментативных реакций.
8. Влияние температуры на скорость реакций в биологических системах. Взаимосвязь кинетических и термодинамических параметров.

#### **Вопросы к экзамену (4 семестр)**

1. Классификация термодинамических систем. Первый и второй законы термодинамики в биологии. Характеристические функции и их использование в анализе биологических процессов.
2. Изменение энтропии в открытых системах. Постулат Пригожина. Термодинамические условия осуществления стационарного состояния. Термодинамическое сопряжение реакций и тепловые эффекты в биологических системах.
3. Понятие обобщенных сил и потоков. Линейные соотношения и соотношения взаимности Онзагера. Термодинамика транспортных процессов. Стационарное состояние и условия минимума скорости прироста энтропии. Теорема Пригожина.
4. Применение линейной термодинамики в биологии. Термодинамические характеристики молекулярно-энергетических процессов в биосистемах. Нелинейная термодинамика.
5. Общие критерии устойчивости стационарных состояний и перехода к ним вблизи и вдали от равновесия.
6. Типы математических моделей. Модели динамических систем. Свойства решений.
7. Модели биологической кинетики.
8. Структура микробиологических сообществ. Экспериментальные закономерности и теоретические принципы.
9. Модели популяционной динамики.

10. Дискретные и непрерывные модели для популяций. Признаки устойчивости в дискретных и непрерывных моделях. Модели структурированных популяций.
11. Модели многовидовых сообществ. Структура и функционирование сообществ. Влияние среды на живые системы.
12. Эффекты пространственной неоднородности. Распределенные модели. Пространственно-неоднородные устойчивые состояния живых систем.

## **V. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

### **Основная литература**

1. Волькенштейн, М.В. Биофизика / М.В. Волькенштейн. - СПб.: Лань, 2012. - 608 с.
2. Джаксон, М.Б. Молекулярная и клеточная биофизика / М.Б. Джаксон. - М.: Бином, 2015. - 551 с.
3. Кудряшов, Ю.Б. Радиационная биофизика: сверхнизкочастотные электромагнитные излучения. Уч. для вузов. / Ю.Б. Кудряшов, А.Б. Рубин. - М.: Физматлит, 2014. - 216 с.
4. Ризниченко, Г. Ю. Математическое моделирование биологических процессов. Модели в биофизике и экологии. Учебное пособие / Г.Ю. Ризниченко. - М.: Юрайт, 2016. - 184 с.
5. Берман, Г.Н. Биофизика: Учебное пособие / Г.Н. Берман. - СПб.: Лань, 2012. - 240 с.
6. Плутахин, Г.А. Биофизика: Учебное пособие / Г.А. Плутахин, А.Г. Коцаев. - СПб.: Лань, 2012. - 240 с.
7. Самойлов, В.О. Медицинская биофизика / В.О. Самойлов. - СПб.: СпецЛит, 2013. - 591 с.
8. Артюхов В.Г., Башарина О.В. Биофизика: Практикум. - Воронеж: ВГУ, 2003. Код доступа: <http://window.edu.ru/resource/880/26880>

### **Дополнительная литература**

1. Фомин С.В., Беркинблит М.Б. Математические проблемы в биологии. Библиотека сайта Динамические модели в биологии. Кафедра биофизики МГУ им. М.В. Ломоносова. <http://www.library.biophys.msu.ru/FominBerk/>
2. Рубин, А.Б. Биофизика. В 2-х томах / А.Б. Рубин. - М.: МГУ, 2004. - 917 с.
3. Романовский Ю.М., Степанова Н.В., Чернавский Д.С. Математическая биофизика. М., 1984.
4. Башарина О.В., Артюхов В.Г. Биофизика: Учебно-методическое пособие для самостоятельной подготовки студентов. - Воронеж: ИПЦ ВГУ, 2007. Код доступа: <http://window.edu.ru/resource/368/59368>

## **VI. МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

1. Электронный набор статей по биофизике, 2021.

## **VII. ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ**

1. Компьютеры лаборатории математического моделирования биофизических процессов.