

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

**федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования_
«Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет
им. Н.И. Лобачевского»**

Институт биологии и биомедицины

УТВЕРЖДЕНО

решением президиума Ученого совета ННГУ

протокол № 1 от 16.01.2024 г.

Рабочая программа дисциплины

Кинетика и термодинамика биологических процессов

Уровень высшего образования

Бакалавриат

Направление подготовки / специальность

06.03.01 - Биология

Направленность образовательной программы

Биология (общий профиль)

Форма обучения

очная

г. Нижний Новгород

2024 год начала подготовки

1. Место дисциплины в структуре ОПОП

Дисциплина Б1.В.ДВ.01.06 Кинетика и термодинамика биологических процессов относится к части, формируемой участниками образовательных отношений образовательной программы.

2. Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями и индикаторами достижения компетенций)

Формируемые компетенции (код, содержание компетенции)	Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), в соответствии с индикатором достижения компетенции		Наименование оценочного средства	
	Индикатор достижения компетенции (код, содержание индикатора)	Результаты обучения по дисциплине	Для текущего контроля успеваемости	Для промежуточной аттестации
ПК-1: Способен осуществлять информационный поиск по выбранной научной тематике в области биологии, излагать и критически анализировать получаемую информацию, представлять результаты исследований в виде презентаций, научно-технических отчетов, обзоров, аналитических карт, пояснительных записок, публикаций в научных изданиях; поддерживать дискуссию по актуальным вопросам биологии и экологии	ПК-1.1: Знает: - правила сбора и анализа информации по теме исследования, способы и правила представления результатов в письменной и устной формах ПК-1.2: Умеет: - планировать и осуществлять поиск научной информации, оформлять результаты исследования для представления в письменной и устной формах ПК-1.3: Владеет: - опытом поиска, анализа, представления и обсуждения результатов исследования	ПК-1.1: Знает правила сбора и анализа информации по теме исследования, способы и правила представления результатов в письменной и устной формах в области кинетики и термодинамики биологических процессов; ПК-1.2: Умеет планировать и осуществлять поиск научной информации, оформлять результаты исследования для представления в письменной и устной формах в области кинетики и термодинамики биологических процессов; ПК-1.3: Владеет опытом поиска, анализа, представления и обсуждения результатов исследования в области кинетики и термодинамики биологических процессов.	Тест	Экзамен: Контрольные вопросы
ПК-2: Способен проводить эксперименты, наблюдения, измерения по выбранной научной тематике, эксплуатировать	ПК-2.1: Знает: - стандартные методики и правила эксплуатации оборудования при проведении полевых и лабораторных работ по выбранной научной	ПК-2.1: Знает теоретические основы, со-временные достижения и проблемы биофизики в области кинетики и термодинамики биологических процессов;	Задачи Творческое задание	Экзамен: Контрольные вопросы

современную аппаратуру и оборудование для выполнения научно-исследовательских полевых и лабораторных биологических работ	тематике ПК-2.2: Умеет: - подбирать методики, эксплуатировать современное оборудование при выполнении полевых и лабораторных работ по выбранной научной тематике ПК-2.3: Владеет: - методиками обработки материалов, имеет опыт использования современного оборудования при выполнении полевых и лабораторных работ по выбранной научной тематике	ПК-2.2: Умеет применять знания теоретических основ биофизики в области кинетики и термодинамики биологических процессов в профессиональной деятельности ПК-2.3: Владеет методами математического моделирования биологических процессов на основе их кинетики и термодинамики		
--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--	--

3. Структура и содержание дисциплины

3.1 Трудоемкость дисциплины

	очная
Общая трудоемкость, з.е.	4
Часов по учебному плану	144
в том числе	
аудиторные занятия (контактная работа):	
- занятия лекционного типа	32
- занятия семинарского типа (практические занятия / лабораторные работы)	32
- КСР	2
самостоятельная работа	42
Промежуточная аттестация	36 Экзамен

3.2. Содержание дисциплины

(структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и виды учебных занятий)

Наименование разделов и тем дисциплины	Всего (часы)	в том числе			
		Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы из них			Самостоятельная работа обучающегося, часы
		Занятия лекционного типа	Занятия семинарского типа (практические занятия/лабораторные работы), часы	Всего	
	о ф о	о ф о	о ф о	о ф о	о ф о

Введение.	1	1	0	1	0
Основы кинетического описания биологических процессов.	13	3	4	7	6
Основы аналитического и численного решения дифференциальных уравнений и их систем.	14	4	4	8	6
Качественное решение дифференциальных уравнений и их систем.	14	4	4	8	6
Законы классической термодинамики и их приложимость к биосистемам. Энергия Гельмгольца и энергия Гиббса.	14	4	4	8	6
Применение второго закона термодинамики к открытым системам. Системы вблизи равновесия. Соотношения Онзагера.	14	4	4	8	6
Теорема Пригожина. Устойчивость термодинамических систем в равновесных и стационарных состояниях. Приложение линейной термодинамики к процессам роста и развития.	18	6	6	12	6
Особенности производства энтропии термодинамической системой вблизи и на удалении от состояния равновесия. Диссипативные структуры.	18	6	6	12	6
Аттестация	36				
КСР	2			2	
Итого	144	32	32	66	42

Содержание разделов и тем дисциплины

1. Введение. Биологическая кинетика и термодинамика как методы обобщенного описания биосистем. Принципиальные отличия кинетики и термодинамики, области применения. Основные понятия.
2. Основы кинетического описания биологических процессов. Многообразие подходов к описанию живых систем. Основные типы дифференциальных уравнений и их систем, используемые для описания биологических процессов. Преимущества и ограничения кинетического описания.
3. Основы аналитического и численного решения дифференциальных уравнений и их систем. Основные группы подходов к решению дифференциальных уравнений различных типов и их систем, включая «точечные» и «пространственные». Понятие аналитического решения дифференциальных уравнений и их систем. Разбор некоторых подходов к аналитическому решению дифференциальных уравнений и их систем (включая системы «точечных» линейных уравнений, уравнение диффузии и др.). Понятие численного решения дифференциальных уравнений и их систем. Разбор некоторых подходов к численному решению «точечных» и «пространственных» уравнений.
4. Качественное решение дифференциальных уравнений и их систем. Общее представление о качественном решении дифференциальных уравнений и их систем; понятие изображающей точки, фазовой траектории, фазового портрета. Качественное решение отдельных «точечных» дифференциальных уравнений. Качественное решение систем из двух «точечных» дифференциальных уравнений. Качественное решение «пространственных» дифференциальных уравнений.
5. Законы классической термодинамики и их приложимость к биосистемам. Энергия Гельмгольца и энергия Гиббса. Первый закон термодинамики, его приложимость к биосистемам. Второй закон термодинамики. Его связь с описанием молекулярного движения на основе механики («бильярды» Больцмана и Синая). Кажущиеся нарушения второго закона термодинамики. Возможность реальных нарушений второго закона термодинамики (парадокс Максвелла и другие).
6. Применение второго закона термодинамики к открытым системам. Системы вблизи равновесия.

Соотношения Онзагера. Особенности применения второго закона термодинамики в открытых системах; две компоненты производства энтропии. Диссипативная функция; термодинамическое сопряжение. Понятие термодинамических сил и потоков (химические процессы, электрический ток, диффузия, обобщенный случай). Линеаризация связи сил и потоков; уравнение для диссипативной функции. Соотношения Онзагера.

7. Теорема Пригожина. Устойчивость термодинамических систем в равновесных и стационарных состояниях. Приложение линейной термодинамики к процессам роста и развития. Формулировка и доказательство теоремы Пригожина. Доказательство устойчивости равновесных и стационарных состояний вблизи равновесия. Следствия для динамики диссипативной функции. Гипотеза Пригожина и Виам по механизмам процессов роста и развития животных организмов. Противоречия гипотезы Пригожина и Виам.

8. Особенности производства энтропии термодинамической системой вблизи и на удалении от состояния равновесия. Диссипативные структуры. Качественные отличия в производстве энтропии термодинамической системой вблизи и вдали от равновесия: особенности понятия термодинамического параметра, возможность/невозможность разделения производства энтропии на две компоненты, возможность/невозможность линеаризации. Понятие диссипативных структур, их типы, условия возникновения. Примеры диссипативных структур в биологических системах.

Практические занятия /лабораторные работы организуются, в том числе, в форме практической подготовки, которая предусматривает участие обучающихся в выполнении отдельных элементов работ, связанных с будущей профессиональной деятельностью.

На проведение практических занятий / лабораторных работ в форме практической подготовки отводится: очная форма обучения - 10 ч.

4. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся

Самостоятельная работа обучающихся включает в себя подготовку к контрольным вопросам и заданиям для текущего контроля и промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины приведенным в п. 5.

Рабочая программа дисциплины "Кинетика и термодинамика биологических процессов". ФОС по дисциплине.

5. Фонд оценочных средств для текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации по дисциплине (модулю)

5.1 Типовые задания, необходимые для оценки результатов обучения при проведении текущего контроля успеваемости с указанием критериев их оценивания:

5.1.1 Типовые задания (оценочное средство - Тест) для оценки сформированности компетенции ПК-1:

В особых (стационарных) точках системы дифференциальных уравнений скорость изменения ее переменных:

А. положительна.

Б. отрицательна.

В. равна нулю.

Г. может иметь любой знак.

Критерии оценивания (оценочное средство - Тест)

Оценка	Критерии оценивания
зачтено	Правильные ответы на 60% вопросов или более
не зачтено	Правильные ответы менее чем на 60% вопросов

5.1.2 Типовые задания (оценочное средство - Задачи) для оценки сформированности компетенции ПК-2:

Качественно решите систему дифференциальных уравнений, описывающих конкуренцию двух видов (X и Y) в среде с неограниченными ресурсами:

где k_g – константа скорости прироста видов (принято, что она приблизительно одинакова для обоих видов), k_c – константа скорости, отражающая конкуренцию двух видов.

Ответ: Система дифференциальных уравнения имеет следующие особые точки – (1) $x_1=0$ и $y_1=0$, (2) $x_2=k_g/k_c$ и $y_2=k_g/k_c$. Первое решение не имеет смысла – какие-либо особи отсутствуют. Второе решение представляет собой седло ($\lambda_{1,2}=\pm k_g/2$)

Критерии оценивания (оценочное средство - Задачи)

Оценка	Критерии оценивания
превосходно	Получен правильный ответ. Использованы нестандартные приемы при достижении решения.
отлично	Получен правильный ответ. Дано подробное правильное обоснование хода решения.
очень хорошо	Получен ответ, содержащий незначительные (технические) ошибки. Дано подробное правильное обоснование хода решения.
хорошо	Получен ответ, содержащий незначительные (технические) ошибки. Дано краткое правильное обоснование хода решения.
удовлетворительно	Получен ответ, содержащий существенные ошибки. Дано правильное обоснование хода решения.
неудовлетворительно	Получен неправильный ответ. Дано неправильное обоснование хода решения.
плохо	Получен неправильный ответ (или отсутствует). Не дано обоснование хода решения.

5.1.3 Типовые задания (оценочное средство - Творческое задание) для оценки сформированности компетенции ПК-2:

Опираясь на знания кинетики биологических процессов, а также на знания пройденных курсов, необходимо предложить проект разработки модели популяции рыбы в акватории, включая обоснование переменных, параметров и конкретных уравнений модели, формирования предложений по верификации модели и по методам ее анализа, а также формулировку возможных областей ее практического применения и/или применения для целей фундаментальной науки.

Критерии оценивания (оценочное средство - Творческое задание)

Оценка	Критерии оценивания
зачтено	Творческое задание принципиально выполнено.
не зачтено	Творческое задание не выполнено.

5.2. Описание шкал оценивания результатов обучения по дисциплине при промежуточной аттестации

Шкала оценивания сформированности компетенций

Уровень сформированности компетенций (индикатор достижения компетенций)	плохо	неудовлетворительно	удовлетворительно	хорошо	очень хорошо	отлично	превосходно
	не зачтено			зачтено			
<u>Знания</u>	Отсутствие знаний теоретического материала. Невозможность оценить полноту знаний вследствие отказа обучающегося от ответа	Уровень знаний ниже минимальных требований. Имели место грубые ошибки	Минимально допустимый уровень знаний. Допущено много негрубых ошибок	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько негрубых ошибок	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько несущественных ошибок	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Ошибок нет.	Уровень знаний в объеме, превышающем программу подготовки.
<u>Умения</u>	Отсутствие минимальных умений. Невозможность оценить наличие умений вследствие отказа обучающегося от ответа	При решении стандартных задач не продемонстрированы основные умения. Имели место грубые ошибки	Продемонстрированы основные умения. Решены типовые задачи с негрубыми ошибками. Выполнены	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с негрубыми ошибками.	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с отдельным	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном

			все задания, но не в полном объеме	Выполнены все задания в полном объеме, но некоторые с недочетами	в полном объеме, но некоторые с недочетами	и несущественными недочетами, выполнены все задания в полном объеме	объеме без недочетов
<u>Навыки</u>	Отсутствие базовых навыков. Невозможность оценить наличие навыков вследствие отказа обучающегося от ответа	При решении стандартных задач не продемонстрированы базовые навыки. Имели место грубые ошибки	Имеется минимальный набор навыков для решения стандартных задач с некоторым и недочетами	Продемонстрированы базовые навыки при решении стандартных задач с некоторым и недочетами	Продемонстрированы базовые навыки при решении стандартных задач без ошибок и недочетов	Продемонстрированы навыки при решении нестандартных задач без ошибок и недочетов	Продемонстрирован творческий подход к решению нестандартных задач

Шкала оценивания при промежуточной аттестации

Оценка		Уровень подготовки
зачтено	превосходно	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «превосходно», продемонстрированы знания, умения, владения по соответствующим компетенциям на уровне выше предусмотренного программой
	отлично	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «отлично».
	очень хорошо	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «очень хорошо»
	хорошо	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «хорошо».
	удовлетворительно	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «удовлетворительно», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «удовлетворительно»
не зачтено	неудовлетворительно	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «неудовлетворительно».
	плохо	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «плохо»

5.3 Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки результатов обучения на промежуточной аттестации с указанием критериев их оценивания:

5.3.1 Типовые задания (оценочное средство - Контрольные вопросы) для оценки сформированности компетенции ПК-1

1. Кинетическое описание биосистем: аналитические методы решения дифференциальных уравнений с распределенными в пространстве параметрами. Применение метода Фурье на примере уравнения простой диффузии.
2. Качественный анализ отдельных дифференциальных уравнений. Бифуркационная диаграмма
3. Качественный анализ точечных кинетических систем. Фазовый портрет системы. Точечные системы.
4. Качественный анализ кинетических систем с распределенными в пространстве параметрами.
5. Численные методы анализа кинетических систем. Метод Эйлера. Метод Монте-Карло. Описание «пространственных» систем.
6. Специфика термодинамики как метода описания биосистем. Основные понятия термодинамики.
7. Типы термодинамических систем. Особенности термодинамических процессов в открытых системах.
8. Второй закон термодинамики и классическая механика. «Бильярд» Больцмана, «Бильярд» Синая.
9. Отклонения от второго закона термодинамики на молекулярном уровне. Демон Максвелла и проблема вечного двигателя второго рода.
10. Термодинамический анализ химических систем. Химическое сродство. Диссипативная функция системы. Универсальный характер диссипативной функции.
11. Общая теория роста и развития Пригожина и Виам: формулировка, экспериментальные и теоретические доказательства, недостатки.
12. Сравнение термодинамических систем вблизи и вдали от равновесия.
13. Диссипативные структуры: типы, условия возникновения, примеры.
14. Энтропия как мера информации: за и против.

5.3.2 Типовые задания (оценочное средство - Контрольные вопросы) для оценки сформированности компетенции ПК-2

1. Кинетическое описание биосистем: аналитические методы решения «точечных» дифференциальных уравнений, метод неопределенных коэффициентов Эйлера.
2. Первый закон термодинамики, его применимость к биообъектам.
3. Второй закон термодинамики, его применимость к биообъектам. Кажущиеся нарушения второго законы термодинамики.
4. Энергия Гельмгольца и энергия Гиббса. Их применения к биосистемам. Методы расчета энергии в биохимических реакциях.
5. Применение второго закона термодинамики для описания открытых систем.
6. Линейное описание термодинамической системы вблизи равновесия. Соотношения Онзагера.
7. Теорема Пригожина о минимуме производства энтропии в стационарном состоянии.
8. Устойчивость термодинамических систем в равновесном и стационарных состояниях. Релаксация к равновесным и стационарным состояниям.

Критерии оценивания (оценочное средство - Контрольные вопросы)

Оценка	Критерии оценивания
превосходно	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «превосходно», продемонстрированы знания, умения, владения по соответствующим компетенциям на уровне, выше предусмотренного программой
отлично	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «отлично», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «отлично»
очень хорошо	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «очень хорошо», при этом

Оценка	Критерии оценивания
	хотя бы одна компетенция сформирована на уровне « очень хорошо»
хорошо	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «хорошо», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «хорошо»
удовлетворительно	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «удовлетворительно», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «удовлетворительно»
неудовлетворительно	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «неудовлетворительно», ни одна из компетенций не сформирована на уровне «плохо»
плохо	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «плохо»

6. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины (модуля)

Основная литература:

1. Рубин А. Б. Термодинамика биологических процессов : [учеб. пособие для вузов по специальности "Биофизика"]. - 2-е изд., перераб. и доп. - М. : Изд-во МГУ, 1984. - 284 с. : ил. - 0.95., 3 экз.
2. Рубин Андрей Борисович. Биофизика : учеб. для студентов биол. специальностей вузов : в 2 кн. Кн. 1. Теоретическая биофизика. - М. : Высшая школа, 1987. - 319 с. : ил. - 1.30., 108 экз.
3. Рубин Андрей Борисович. Биофизика : учеб. для студентов биол. специальностей вузов : в 2 кн. Кн. 2. Биофизика клеточных процессов. - М. : Высшая школа, 1987. - 302, [1] с. : ил. - 1.30., 93 экз.

Дополнительная литература:

1. Рубин А. Б. Кинетика биологических процессов : [учеб. пособие для биол. специальностей вузов]. - М. : Изд-во Моск. ун-та, 1977. - 328 с. : ил. - 0.90., 1 экз.
2. Ризниченко Галина Юрьевна. Биофизическая динамика продукционных процессов. - М. ; Ижевск : Институт компьютерных исследований, 2004. - 464 с. - (Биофизика. Математическая биология / гл. ред. А. Б. Рубин ; редсовет: А. В. Борисов [и др.]). - ISBN 5-93972-360-8 : 51.00., 2 экз.
3. Ризниченко Галина Юрьевна. Математические модели биологических продукционных процессов : [учеб. пособие для вузов по направлениям "Прикл. математика и информатика", "Биология" и специальности "Мат. моделирование"]. - М. : Изд-во МГУ, 1993. - 299 с. - 300.00., 1 экз.

Программное обеспечение и Интернет-ресурсы (в соответствии с содержанием дисциплины):

<http://www.unn.ru/pages/e-library/methodmaterial/2010/79.pdf>.

ЭБС «Консультант студента» <http://www.studmedlib.ru/>,

ЭБС «ZNANIUM.COM»<http://znanium.com/>,

ЭБС «Юрайт»<https://www.biblio-online.ru/>,

Студенческая электронная библиотека «StudentLibrary»<http://www.studentlibrary.ru/>,

Научная электронная библиотека «E-library.ru» <https://elibrary.ru/defaultx.asp>.

7. Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля)

Учебные аудитории для проведения учебных занятий, предусмотренных образовательной программой, оснащены мультимедийным оборудованием (проектор, экран), техническими средствами обучения, компьютерами, специализированным оборудованием: Учебные аудитории для проведения занятий лекционного и семинарского типа, текущего контроля и промежуточной аттестации, укомплектованные специализированной мебелью и демонстрационным оборудованием (доска, переносное мультимедийное оборудование (проектор, ноутбук), экран). Помещения для самостоятельной работы обучающихся, оснащенные компьютерной техникой с возможностью подключения к сети "Интернет" и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду организации.

Помещения для самостоятельной работы обучающихся оснащены компьютерной техникой с возможностью подключения к сети "Интернет" и обеспечены доступом в электронную информационно-образовательную среду.

Программа составлена в соответствии с требованиями ОС ННГУ по направлению подготовки/специальности 06.03.01 - Биология.

Автор(ы): Сухов Владимир Сергеевич, кандидат биологических наук, доцент.

Рецензент(ы): Синицына Юлия Витальевна, кандидат биологических наук.

Заведующий кафедрой: Воденеев Владимир Анатольевич, доктор биологических наук.

Программа одобрена на заседании методической комиссии от 05.12.2023 г., протокол № 2.