

**Федеральное государственное автономное образовательное
учреждение высшего образования
«Московский физико-технический институт
(национальный исследовательский университет)»**

УТВЕРЖДЕНО

**Проректор по учебной работе и
довузовской подготовке**

А.А. Воронов

	Рабочая программа дисциплины (модуля)
по дисциплине:	Математическая биофизика
по направлению:	Прикладные математика и физика
профиль подготовки:	Компьютерное моделирование физических процессов Физтех-школа Аэрокосмических Технологий кафедра вычислительной физики
курс:	1
квалификация:	магистр

Семестр, формы промежуточной аттестации: 2 (весенний) - Дифференцированный зачет

Аудиторных часов: 30 всего, в том числе:

лекции: 0 час.

семинары: 30 час.

лабораторные занятия: 0 час.

Самостоятельная работа: 15 час.

Всего часов: 45, всего зач. ед.: 1

Программу составил: Р.Р. Алиев, д-р физ.-мат. наук, профессор

Программа обсуждена на заседании кафедры вычислительной физики 04.06.2020

Аннотация

В курсе раскрываются следующие темы: основные понятия и законы термодинамики химических реакций, химическая кинетика, строение и основные функции мембраны клетки, концентрация основных ионов в цитоплазме и во внеклеточном пространстве, электрохимический потенциал, типы мембранных транспортеров, модель Ходжкина-Хаксли, кабельное уравнение, быстрые и медленные переменные в модели Ходжкина-Хаксли, упрощение ФитцХью-Нагумо, уравнение Бюргерса, формализм Ходжкина-Хаксли для описания электрической активности кардиоцита, модель Билера-Рейтера, физические основы формирования ЭКГ и ЭЭГ, мышца, молекулярные механизмы сокращения, электро-механическое сопряжение, сердечный цикл, основы гемодинамики. После освоения дисциплины слушатель будет знать основные физические принципы и модели электрических явлений в электровозбудимых клетках мышц, сердца и мозга, основные понятия и принципы построения математических моделей потенциала действия на основе подхода Ходжкина-Хаксли. Он будет уметь понять поставленную задачу, использовать свои знания для решения фундаментальных и прикладных задач биофизики и физиологии, оценивать корректность постановок задач. А также он будет владеть навыками освоения большого объема информации, навыками самостоятельной работы и освоения новых дисциплин, культурой постановки, анализа и решения задач биофизики, требующих для своего решения использования математических подходов.

1. Цели и задачи

Цель дисциплины

формирование у студентов знаний в области современных проблем биофизики и физиологии и методов их численного и аналитического решения.

Задачи дисциплины

- освоение студентами базовых знаний (понятий, концепций, методов) в области биологии, биофизики, физиологии;
- формирование представления о методах математического концептуального и детального моделирования электрических явлений в биологических системах.

2. Перечень формируемых компетенций

Освоение дисциплины направлено на формирование следующих компетенций:

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
ПК-1 Способен ставить, формализовывать и решать задачи, в том числе разрабатывать и исследовать математические модели изучаемых явлений и процессов, системно анализировать научные проблемы, получать новые научные результаты	ПК-1.1 Способен находить, анализировать и обобщать информацию об актуальных результатах исследований в рамках тематической области своей профессиональной деятельности

3. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

знать:

- ☐ основные физические принципы и модели электрических явлений в электровозбудимых клетках мышц, сердца и мозга;
- ☐ основные понятия и принципы построения математических моделей потенциала действия на основе подхода Ходжкина-Хаксли.

уметь:

- ☐ понять поставленную задачу;
- ☐ использовать свои знания для решения фундаментальных и прикладных задач биофизики и физиологии;
- ☐ оценивать корректность постановок задач.

владеть:

- ☐ навыками освоения большого объема информации;
- ☐ навыками самостоятельной работы и освоения новых дисциплин;
- ☐ культурой постановки, анализа и решения задач биофизики, требующих для своего решения использования математических подходов.

4. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и видов учебных занятий

4.1. Разделы дисциплины (модуля) и трудоемкости по видам учебных занятий

№	Тема (раздел) дисциплины	Трудоемкость по видам учебных занятий, включая самостоятельную работу, час.			
		Лекции	Семинары	Лаборат. работы	Самост. работа
1	Обзор содержания курса, цели, задачи.		2		
2	Основные понятия и законы термодинамики химических реакций.		2		
3	Химическая кинетика. Кинетическое уравнение и закон действующих масс.		2		
4	Строение и основные функции мембраны клетки.		2		
5	Концентрация основных ионов в цитоплазме и во внеклеточном пространстве.		3		
6	Электрохимический потенциал.		3		
7	Типы мембранных транспортеров.		2		
8	Представление о воротных переменных в модели Ходжкина-Хаксли.		3		
9	Кабельное уравнение. Распространение ПД в модели Ходжкина-Хаксли.		3		15
10	Быстрые и медленные переменные в модели Ходжкина-Хаксли.		3		
11	Формализм Ходжкина-Хаксли для описания электрической активности кардиоцита.		3		
12	Мышца.		2		
Итого часов			30		15
Подготовка к экзамену		0 час.			
Общая трудоёмкость		45 час., 1 зач.ед.			

4.2. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам)

Семестр: 2 (Весенний)

1. Обзор содержания курса, цели, задачи.

Обзор содержания курса, описание и анализ целей и задач, практическое применение. Используемые и рекомендуемые источники.

2. Основные понятия и законы термодинамики химических реакций.

Термодинамическая и информационная сущности энтропии. Термодинамические потенциалы H , F , G . Потенциал Гиббса, критерий протекания химической реакции, константа равновесия химической реакции. Химический потенциал и потенциал Гиббса. Химическое сродство.

3. Химическая кинетика. Кинетическое уравнение и закон действующих масс.

Зависимость скорости реакций от температуры. Уравнением Аррениуса и Правило Вант-Гоффа. Особенности многостадийных химических реакций. Ферментативные и каталитические реакции. Константа Михаэлиса.

4. Строение и основные функции мембраны клетки.

Функции мембранных белков. Явление осмоса. Тонус раствора. Облегченная диффузия. Белки – транспортеры, каналы, насосы.

5. Концентрация основных ионов в цитоплазме и во внеклеточном пространстве.

Причины и следствия. Электростатические свойства мембраны. Емкостный, поверхностный и дипольный потенциалы. Перенос через мембрану с точки зрения равновесной термодинамики, неравновесной термодинамики, статистической механики. Примембранный неперемешиваемый слой.

6. Электрохимический потенциал.

Потенциал Нернста. Уравнение Гольдмана-Ходжкина-Каца.

7. Типы мембранных транспортеров.

Сходства и различия каналов и транспортеров. Кинетика транспортеров. Связь с кинетикой ферментативных реакций. Функционирование и энергетика натрий-калиевого насоса. Функционирование и энергетика натрий-кальциевого обменника. Типы мембранных каналов. Селективность мембранных каналов. Ряды Айзенмана

8. Представление о воротных переменных в модели Ходжкина-Хаксли.

Модель Ходжкина-Хаксли. Потенциал действия в модели Ходжкина-Хаксли.

9. Кабельное уравнение. Распространение ПД в модели Ходжкина-Хаксли.

Миелиновое покрытие аксона. Зависимость скорости распространения ПД от радиуса волокна для простых и миелинизированных волокон.

10. Быстрые и медленные переменные в модели Ходжкина-Хаксли.

Упрощение ФитцХью-Нагумо. Распространение в бистабильных средах. Условие остановки фронта. Предельный цикл, определение фазы, уравнение Бюргера.

11. Формализм Ходжкина-Хаксли для описания электрической активности кардиоцита.

Модель Билера-Рейтера. Строение и функции щелевых контактов. Представление о моделях связности: кабельное уравнение и уравнение „bidomain”. Проведение импульса в сердце. Токовые диполи, физические основы формирования ЭКГ и ЭЭГ.

12. Мышца.

Саркомер. Актин, миозин. Молекулярные механизмы сокращения. Электро-механическое сопряжение. Сердечный цикл. Основы гемодинамики.

5. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине (модулю)

Учебная аудитория, оснащенная мультимедиапроектором и экраном.

6.Перечень рекомендуемой литературы

Основная литература

1. Физиология человека [Текст] : в 3 т. = Human Physiology : [учебник для вузов] / под ред. Р. шмидта, Г. Тевса ; пер. с англ. Н. Н. Алипова [и др.] ; под ред. П. Г. Костюка .— 3- е изд. — М. : Мир, 2012 .— Т. 2. - 2012. - 314 с.
2. Биофизика [Текст] : учебник для вузов / В. Ф. Антонов [и др.] ; под ред. В. Ф. Антонова .— 3-е изд., испр. и доп. — М. : ВЛАДОС, 2006 .— (Учебник для вузов). - Библиогр.: с. 283-284. - 7000 экз. - ISBN 5-691-01037-9 (в пер.) .

Дополнительная литература

1. От нейрона к мозгу [Текст] / Дж. Николлс [и др.] ; пер. с 4-го англ. изд. под ред. П. М. Балабана, Р. А. Гиниатуллина .— 3-е изд. — М. : Кн. дом "ЛИБРОКОМ", 2012 .— 672 с.
2. Биофизика [Текст] : в 2-х т. : учебник для студ. вузов / А. Б. Рубин .— 2-е изд., испр.и доп. — М. : Книжный дом "Университет", 1999 .— Т.1 : Теоретическая биофизика. - 1999. - 448 с.

7. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети "Интернет", необходимых для освоения дисциплины (модуля)

Не используются

8. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине (модулю), включая перечень необходимого программного обеспечения и информационных справочных систем (при необходимости)

Не предусмотрено.

9. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины (модуля)

Студент, изучающий курс, должен с одной стороны, овладеть общим понятийным аппаратом, а с другой стороны, должен научиться применять теоретические знания на практике.

В результате изучения дисциплины студент должен знать основные определения, понятия, алгоритмы.

Успешное освоение курса требует напряжённой самостоятельной работы студента. В программе курса приведено минимально необходимое время для работы студента над темой. Самостоятельная работа включает в себя:

- чтение и конспектирование рекомендованной литературы,
- проработку учебного материала (по конспектам лекций, учебной и научной литературе), подготовку ответов на вопросы, предназначенных для самостоятельного изучения, доказательство отдельных утверждений, свойств.

Руководство и контроль за самостоятельной работой студента осуществляется в форме индивидуальных консультаций.

Важно добиться понимания изучаемого материала, а не механического его запоминания. При затруднении изучения отдельных тем, вопросов, следует обращаться за консультациями к лектору.

ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)

по направлению:	Прикладные математика и физика
профиль подготовки:	Компьютерное моделирование физических процессов Физтех-школа Аэрокосмических Технологий кафедра вычислительной физики
курс:	1
квалификация:	магистр

Семестр, формы промежуточной аттестации: 2 (весенний) - Дифференцированный зачет

Разработчик: Р.Р. Алиев, д-р физ.-мат. наук, профессор

1. Компетенции, формируемые в процессе изучения дисциплины

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
ПК-1 Способен ставить, формализовывать и решать задачи, в том числе разрабатывать и исследовать математические модели изучаемых явлений и процессов, системно анализировать научные проблемы, получать новые научные результаты	ПК-1.1 Способен находить, анализировать и обобщать информацию об актуальных результатах исследований в рамках тематической области своей профессиональной деятельности

2. Показатели оценивания компетенций

В результате изучения дисциплины «Математическая биофизика» обучающийся должен:

знать:

- ☐ основные физические принципы и модели электрических явлений в электровозбудимых клетках мышц, сердца и мозга;
- ☐ основные понятия и принципы построения математических моделей потенциала действия на основе подхода Ходжкина-Хаксли.

уметь:

- ☐ понять поставленную задачу;
- ☐ использовать свои знания для решения фундаментальных и прикладных задач биофизики и физиологии;
- ☐ оценивать корректность постановок задач.

владеть:

- ☐ навыками освоения большого объема информации;
- ☐ навыками самостоятельной работы и освоения новых дисциплин;
- ☐ культурой постановки, анализа и решения задач биофизики, требующих для своего решения использования математических подходов.

3. Перечень типовых (примерных) вопросов, заданий, тем для подготовки к текущему контролю

Типовые контрольные задания

1. Уравнение Гольдмана-Ходжкина-Каца.
2. Типы мембранных транспортеров.
3. Кинетика транспортеров. Связь с кинетикой ферментативных реакций.
4. Сходства и различия каналов и транспортеров.
5. Типы мембранных каналов.
6. Селективность мембранных каналов. Ряды Айзенмана.
7. Представление о воротных переменных в модели Ходжкина-Хаксли.
8. Модель Ходжкина-Хаксли.
9. Потенциал действия в модели Ходжкина-Хаксли.
10. Распространение ПД в модели Ходжкина-Хаксли. Миелиновое покрытие аксона.
11. Быстрые и медленные переменные в модели Ходжкина-Хаксли. Упрощение ФитцХью-Нагумо.
12. Формализм Ходжкина-Хаксли для описания электрической активности кардиоцита.
13. Строение и функции щелевых контактов.
14. Представление о моделях связности: кабельное уравнение и уравнение „bidomain”.
15. Проведение импульса в сердце.
16. Физические основы формирования ЭКГ.
17. Мышца. Саркомер. Актин, миозин. Молекулярные механизмы сокращения.
18. Мышца. Электро-механическое сопряжение.
19. Сердечный цикл.
20. Основы гемодинамики.

Критерии оценивания:

«отлично (10)» выставляется студенту, показавшему всесторонние, систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины и умение уверенно применять их на практике при решении конкретных задач, свободное и правильное обоснование принятых решений;

«хорошо (7)» выставляется студенту, если он твердо знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но допускает в ответе или в решении задач некоторые неточности;

«удовлетворительно (4)» выставляется студенту, показавшему фрагментарный, разрозненный характер знаний, недостаточно правильные формулировки базовых понятий, нарушения логической последовательности в изложении программного материала, но при этом он владеет основными разделами учебной программы, необходимыми для дальнейшего обучения и может применять полученные знания по образцу в стандартной ситуации;

«неудовлетворительно (2)» выставляется студенту, который не знает большей части основного содержания учебной программы дисциплины, допускает грубые ошибки в формулировках основных понятий дисциплины и не умеет использовать полученные знания при решении типовых практических задач.

4. Перечень типовых (примерных) вопросов и тем для проведения промежуточной аттестации обучающихся

Перечень контрольных вопросов для сдачи дифференцированного зачёта;

1. Основные понятия термодинамики химических реакций.
2. Первый закон термодинамики.
3. Второй закон термодинамики.
4. Третий закон термодинамики.
5. Термодинамическая и информационная сущности энтропии.
6. Термодинамические потенциалы H , F , G .
7. Энтальпия и тепловой эффект химических реакций.
8. Потенциал Гиббса и критерий возможности самопроизвольной химической реакции
9. Потенциал Гиббса и константа равновесия химической реакции.
10. Химический потенциал и химическое сродство
11. Химическая кинетика. Кинетическое уравнение и закон действующих масс.
12. Особенности многостадийных химических реакций.
13. Зависимость скорости реакций от температуры. Уравнением Аррениуса и Правило Вант-Гоффа.
14. Ферментативные и каталитические реакции. Константа Михаэлиса.
15. Строение и основные функции мембраны клетки.
16. Функции мембранных белков.
17. Явление осмоса. Тонус раствора.
18. Облегченная диффузия. Белки – транспортеры, каналы, насосы.
19. Функционирование натрий-калиевого насоса.
20. Концентрация основных ионов в цитоплазме и во внеклеточном пространстве. Причины и следствия.
21. Электростатические свойства мембраны. Емкостный, поверхностный и дипольный потенциалы.
22. Перенос через мембрану с точки зрения равновесной термодинамики, неравновесной термодинамики, статистической механики.
23. Электрохимический потенциал.
24. Примембранный неперемешиваемый слой.
25. Потенциал Нернста.

Критерии оценивания

оценка «отлично (10)» выставляется студенту, показавшему всесторонние, систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины и умение уверенно применять их на практике при решении конкретных задач, свободное и правильное обоснование принятых решений;

оценка «хорошо (7)» выставляется студенту, если он твердо знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, допускает в ответе или в решении задач некоторые неточности;

оценка «удовлетворительно (4)» выставляется студенту, показавшему фрагментарный, разрозненный характер знаний, недостаточно правильные формулировки базовых понятий, нарушения логической последовательности в изложении программного материала, но при этом он владеет основными разделами учебной программы, необходимыми для дальнейшего обучения и может применять полученные знания по образцу в стандартной ситуации;

оценка «неудовлетворительно (2)» выставляется студенту, который не знает большей части основного содержания учебной программы дисциплины, допускает грубые ошибки в формулировках основных понятий дисциплины и не умеет использовать полученные знания при решении типовых практических задач.

5. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности

Во время проведения дифференцированного зачета обучающиеся могут пользоваться программой дисциплины, а также собственными записями лекций, вычислительной техникой.

Дифференцированный зачет может проводиться по итогам текущей успеваемости и сдачи заданий, или путем организации специального опроса, проводимого в устной форме.