

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

**УТВЕРЖДЕНО**

**Директор физтех-школы  
биологической и медицинской  
физики**

**Д.В. Кузьмин**

	<b>Рабочая программа дисциплины (модуля)</b>
<b>по дисциплине:</b>	Физические процессы в органах и тканях
<b>по направлению:</b>	Прикладные математика и физика
<b>профиль подготовки:</b>	Медицинская физика и биоинформатика Физтех-школа Биологической и Медицинской Физики кафедра физики живых систем
<b>курс:</b>	1
<b>квалификация:</b>	магистр

Семестр, формы промежуточной аттестации: 2 (весенний) - Экзамен

Аудиторных часов: 30 всего, в том числе:

лекции: 0 час.

семинары: 30 час.

лабораторные занятия: 0 час.

Самостоятельная работа: 30 час.

Подготовка к экзамену: 30 час.

Всего часов: 90, всего зач. ед.: 2

Программу составил: А.И. Дьяченко, д-р физ.-мат. наук, старший научный сотрудник

Программа обсуждена на заседании кафедры физики живых систем 04.06.2020

## Аннотация

Целью данной дисциплины является подготовка магистров к исследованиям в области физики живых систем, к созданию и эксплуатации новых диагностических, хирургических, терапевтических приборов и систем биомедицинского назначения. Умение проводить численную оценку биомеханических параметров и процессов, практически использовать знание биомеханических и физических законов функционирования живых систем. Студент после освоения курса будет понимать место и роль общих вопросов науки в научных исследованиях, физические законы, лежащие в основе рассматриваемого биомеханического процесса, характерные биологические (физиологические) параметры, обуславливающие проявления данных физических законов.

### 1. Цели и задачи

#### Цель дисциплины

подготовка магистров к исследованиям в области физики живых систем, к созданию и эксплуатации новых диагностических, хирургических, терапевтических приборов и систем биомедицинского назначения. Умение проводить численную оценку биомеханических параметров и процессов, практически использовать знание биомеханических и физических законов функционирования живых систем.

#### Задачи дисциплины

- законы механики сплошных сред, гидромеханики и теории упругости, их проявления в органах и тканях;
- механика мягких и твердых биологических тканей;
- механика кровообращения и дыхания;
- навыки практического использования законов механики при построении моделей процессов и систем, методы численной оценки параметров моделей, качественной и количественной оценки их адекватности.

### 2. Перечень формируемых компетенций

Освоение дисциплины направлено на формирование следующих компетенций:

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
ПК-2 Способен самостоятельно или в качестве члена (руководителя) малого коллектива организовывать и проводить научные исследования и их апробацию	ПК-2.1 Способен планировать и проводить научные исследования самостоятельно или в составе научного коллектива
	ПК-2.2 Способен проводить апробацию результатов научно-исследовательской работы посредством публикации научных статей и участия в конференциях
ПК-3 Способен профессионально работать с исследовательским и испытательным оборудованием (приборами и установками, специализированными пакетами прикладных программ) в избранной предметной области	ПК-3.2 Способен проводить эксперимент (моделирование) с использованием исследовательского оборудования (пакетов прикладных программ)
	ПК-3.3 Способен оценивать точность полученных экспериментальных (численных) результатов

### 3. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

знать:

- ☐ место и роль общих вопросов науки в научных исследованиях;
- ☐ физические законы, лежащие в основе рассматриваемого биомеханического процесса;
- ☐ характерные биологические (физиологические) параметры, обуславливающие проявления данных физических законов.

уметь:

- ☐ применять физические законы и численно оценивать механические параметры и закономерности функционирования биотканей, органов, систем организма;
- ☐ формулировать требования к функциональным параметрам аппаратных и программно-алгоритмических средств медицинских приборов и системам;
- ☐ получать информацию о биомеханических параметрах и закономерностях биологического объекта, обосновывать экспериментальные данные.

владеть:

- ☐ научной картиной процессов на уровне организмов, органов, тканей живых систем;
- ☐ применением физических законов для анализа процессов в живых системах.

**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	Методы исследования механики дыхания		3		2
2	Механика дыхания		3		
3	Оптические свойства биологических тканей и использование оптических методов для диагностики.		2		2
4	Основы биореологии.		2		
5	Предмет дисциплины и ее задачи.		2		
6	Представление о функциях и механике дыхания, строении легких		2		
7	Применение методов биомеханики для обнаружения опухолей мягких тканей		2		2
8	Реология жидкостей, особенности реологии крови		2		
9	Реология мягких биологических тканей		2		
10	Спадающие трубки в кардиореспираторной системе		2		2
11	Течение крови в венах и спадающих трубках		2		2
12	Течение крови в капиллярах		2		2
13	Течение крови в расправленных артериях		2		2
14	Транспорт газов в легких		2		16
Итого часов			30		30
Подготовка к экзамену		30 час.			
Общая трудоёмкость		90 час., 2 зач.ед.			

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

Семестр: 2 (Весенний)

**1. Методы исследования механики дыхания**

Методы исследования механики дыхания. Легочные объемы, измеряемые методами флоуметрии. Флоуметрия на основе трубок Флейша и Лилли, другие методы измерения дыхательного потока. Исследование вентилаторной функции легких, форсированный выдох, ограничение потока. Метод плетизмографии всего тела, его применение для измерения ФОЕ. Измерение сопротивления дыхательных путей методами вынужденных колебаний и прерывания потока. Колебательные процессы в системе дыхания. Механический импеданс дыхательного тракта. Метод импульсной осциллометрии.

## 2. Механика дыхания

Механика дыхания. Общий вид соотношения «давление-объем». Статика системы дыхания: эластическое сопротивление легких, грудной клетки, легких в грудной клетке. Гистерезис легких. Поверхностное натяжение, сурфактант легких. Роль сурфактанта и сотовой структуры легочной ткани в обеспечении стабильности альвеол. Модели напряжений и деформаций микро- и макроструктуры легких. Нелинейность кривой объем-давление и действие силы тяжести на распределение напряжений, деформаций, вентилиции. Динамика системы дыхания: давления, потоки, объемы. Сопротивление дыхательных путей. Механика легких, рассматриваемых как система с распределенными параметрами. Акустические свойства легких. Амплитудно-частотная характеристика дыхательного тракта.

## 3. Оптические свойства биологических тканей и использование оптических методов для диагностики.

Оптические свойства биологических тканей и использование оптических методов для диагностики. Слаборассеивающие и сильнорассеивающие ткани. Уравнение транспорта фотонов в среде с рассеиванием и поглощением. Диффузионная модель, коэффициенты поглощения, рассеивания, диффузии фотонов.

Спектры поглощения оксигемоглобина и дезоксигемоглобина. Зависимость поглощения света в ткани от объема крови и насыщения крови кислородом. Пульсоксиметры. Прохождение света в нормальной и опухолевой ткани. Оптическая томография.

## 4. Основы биореологии.

Основы биореологии. Общие представления о напряжениях и деформациях в биотканях. Тензор напряжений, тензор деформаций. Основные законы механики сплошных сред. Законы сохранения массы и импульса для многокомпонентных и многофазных сплошных сред. Определяющие соотношения для тела Гука в тензорной форме.

## 5. Предмет дисциплины и ее задачи.

Общее представление о курсе. Предмет дисциплины и ее задачи. Структура, содержание дисциплины, ее связь с другими дисциплинами. Характеристика литературных источников и разделов дисциплины, перечень вопросов и тем для самостоятельного углубленного изучения биомеханики, связь механики и физиологии.

## 6. Представление о функциях и механике дыхания, строении легких

Представление о функциях и механике дыхания, строении легких. Четыре стадии переноса кислорода, внешнее дыхание. Строение исполнительного аппарата внешнего дыхания. Характерные параметры: размеры, объемы легких; парциальные давления и содержания газов. Дыхательные мышцы и дыхательные движения. Грудное (торакальное) и брюшное (абдоминальное) дыхание. Модели симметричного дихотомического ветвления и несимметричного ветвления дыхательных путей. Размеры дыхательных путей, скорости потоков, числа Рейнольдса и Уомерслея. Конвективный и диффузионный массоперенос, 3 зоны. Картина потоков при движении воздуха в воздухоносных путях. Уравнение неразрывности и уравнение сохранения импульса для сжимаемого газа.

## 7. Применение методов биомеханики для обнаружения опухолей мягких тканей

Применение методов биомеханики для обнаружения опухолей мягких тканей. Биопсия и другие принятые методы диагностики. Злокачественные опухоли и явление ангиогенеза. Механические свойства нормальной и опухолевой тканей. Опасность сжатия опухоли во время проведения рентгеновской маммографии. Методы создания и измерения деформаций и напряжений *in vivo*.

#### 8. Реология жидкостей, особенности реологии крови

Реология жидкостей, особенности реологии крови. Общий вид реологического уравнения для жидкостей, давление и тензор сдвиговых напряжений. Ньютоновская жидкость, коэффициенты вязкости. Течение Куэтта, понятия скорости сдвига и напряжения сдвига. Классификация жидкостей: Ньютоновская, вязкопластическая, псевдопластическая, дилатантная жидкости. Ротационный и капиллярный вискозиметры. Вязкопластические свойства крови. Уравнение Кессона, его ограничения. Скорости сдвига в кровеносных сосудах. Временные эффекты, тиксотропия. Эффект Фареуса-Линдквиста.

#### 9. Реология мягких биологических тканей

Реология мягких биологических тканей. Общие реологические свойства мягких тканей. Прочность биологических тканей. Временные эффекты: релаксация напряжений, ползучесть, гистерезис. Слабое влияние скорости деформации на напряжения, псевдоупругость, энергия деформации. Анизотропия, общий вид энергии деформации для линейно-упругого тела. Реологические диаграммы. Тело Гука, Фойхта, Максвелла, Кельвина. Модули Юнга, объемного сжатия, сдвига, коэффициент Пуассона. Реологическое уравнение для вязкоупругой среды (тела Фохта) в тензорной форме. Примеры реологических свойств: коллаген и эластин, кость, сухожилие, хрящ, мышца, кожа, легочная ткань; коэффициенты реологического уравнения тела Кельвина для этих тканей. Гипотеза структурного демпфирования; примеры – реологические свойства легочной ткани и кровеносных сосудов.

#### 10. Спадающиеся трубки в кардиореспираторной системе

Спадающиеся трубки в кардиореспираторной системе. Спадение сосудов в легких и легочное кровообращение. Метод измерения давления крови по звукам Короткова, аналогия с ударной волной в газе. Форсированный выдох, ограничение потока в трахее.

#### 11. Течение крови в венах и спадающихся трубках

Спадающиеся трубки в кардиореспираторной системе. Спадение сосудов в легких и легочное кровообращение. Метод измерения давления крови по звукам Короткова, аналогия с ударной волной в газе. Форсированный выдох, ограничение потока в трахее.

#### 12. Течение крови в капиллярах

Течение крови в капиллярах. Характер движения форменных элементов крови в капиллярах большого круга кровообращения. Особенности течения крови в малом круге кровообращения и модель альвеолярного листа крови. Фильтрация жидкости в микрососудах. Формула Старлинга.

#### 13. Течение крови в расправленных артериях

Течение крови в расправленных артериях. Давление и кровоток в артериях. Действие гравитации. Модель упругого резервуара. Модели сердца. Трехмерные уравнения (неразрывности и импульса – Навье-Стокса). Уравнения для линейного, невязкого варианта. Распространение пульсовой волны. Вывод формулы Моэнса-Кортевега. Нелинейные эффекты. Число Рейнольдса, число Уомерслея. Течение крови в венах и спадающихся трубках. Механика стационарного потока в спадающихся сосудах. Запирание потока. Зависимость потока от давлений в общем виде. Характерные параметры, скорости в венах.

#### 14. Транспорт газов в легких

Транспорт газов в легких. Газообмен в легких млекопитающих. Потребление кислорода, выделение углекислого газа, парциальные давления и содержания газов во вдыхаемом и альвеолярном воздухе, венозной крови. Конвективно-диффузионное уравнение. Диффузия Тейлора. Уравнения стационарного идеального газообмена. Динамика газообмена. Газообмен у птиц и рыб. Противоточные системы. Перенос газов между альвеолярным воздухом и кровью. Фактор переноса.

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

Учебная аудитория, оснащенная компьютером и мультимедийным оборудованием (проектор, звуковая система).

Необходимое программное обеспечение - Windows, Microsoft office

Обеспечение самостоятельной работы

- наличие литературы №№ 1-6.

- доступ в Интернет

## **6. Перечень рекомендуемой литературы**

### **Основная литература**

1. Физика организма человека [Текст] : [учеб. пособие для вузов] / И. Герман ; пер. с англ. под ред. А. М. Мелькумянца, С. В. Ревенко. — Долгопрудный : Интеллект, 2011. — 992 с.

Базовая кафедра предоставляет данную литературу

2. Парашин В.Б., Иткин Г.П. Биомеханика кровообращения // М.: МГТУ, 2005.

### **Дополнительная литература**

Базовая кафедра предоставляет данную литературу

3. Каро К., Т. Педли, З. Шротер, У. Сид. Механика кровообращения // М., Мир, 1981, 624 с.

4. Уэст Дж. Физиология дыхания. Основы. // М., Мир, 1988, 200 с.

5. Бегун П.И., Шукейло Ю.А. Биомеханика: Учебник для вузов. – СПб.: Политехника, 2000 – 463 с.

6. Регирер С.А. Лекции по биологической механике // М., МГУ, 1980, 144 с.

7. Регирер С.А., Шадрин Н.Х., Левтов В.А. Реология крови. – Москва: "Медицина", 1982 г. 272 с.

8. Современные проблемы биомеханики. Выпуск 2. Механика биологических тканей. – Рига: "Зинатне", 1985 г. 237 с.

9. Современные проблемы биомеханики. Выпуск 4. Механика заменителей биологических тканей. – Рига: "Зинатне", 1987 г. 190 с.

10. Современные проблемы биомеханики. Выпуск 5. Механика биологических систем при патологических состояниях. – Рига: "Зинатне", 1988 г. 185 с.

11. Педли Т. Гидродинамика крупных кровеносных сосудов, - Москва: Мир, 1983. – 400 с.

12. А.И. Дьяченко, В.Г. Шабельников. Математические модели действия гравитации на функции легких (Проблемы космической биологии, т. 51). - Москва: Наука, 1985. – 286 с.

13. Шмидт-Нильсен. Физиология животных. Приспособление и среда // Т. 1, 2. М., Мир, 1982, 800 с.

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

- электронные конспекты лекций, учебные пособия и сборники задач, разработанные для данного курса.

<http://www.biomechanics.pro>

<http://www.physiome.org/>

<http://simbios.stanford.edu/>

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

Для части занятий потребуется Zoom. Google Drive для доступа к материалам курса.

Приветствуется наличие во время занятий смартфонов/ноутбуков для участия в интерактивных упражнениях.

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

Студент, изучающий дисциплину, 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 дисциплины, уметь применять полученные знания для решения различных задач.

Успешное освоение курса требует:

- посещения всех занятий, предусмотренных учебным планом по дисциплине;
- ведения конспекта занятий;
- напряжённой самостоятельной работы студента.

Самостоятельная работа включает в себя:

- чтение рекомендованной литературы;
- проработку учебного материала, подготовку ответов на вопросы, предназначенных для самостоятельного изучения;
- решение задач, предлагаемых студентам на занятиях;
- подготовку к выполнению заданий текущей и промежуточной аттестации.

Показателем владения материалом служит умение без конспекта отвечать на вопросы по темам дисциплины.

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

Возможен промежуточный контроль знаний студентов в виде решения задач в соответствии с тематикой занятий.

**ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)**

<b>по направлению:</b>	Прикладные математика и физика
<b>профиль подготовки:</b>	Медицинская физика и биоинформатика Физтех-школа Биологической и Медицинской Физики кафедра физики живых систем
<b>курс:</b>	1
<b>квалификация:</b>	магистр
Семестр, формы промежуточной аттестации: 2 (весенний) - Экзамен	
<b>Разработчик:</b>	А.И. Дьяченко, д-р физ.-мат. наук, старший научный сотрудник



## 1. Компетенции, формируемые в процессе изучения дисциплины

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
ПК-2 Способен самостоятельно или в качестве члена (руководителя) малого коллектива организовывать и проводить научные исследования и их апробацию	ПК-2.1 Способен планировать и проводить научные исследования самостоятельно или в составе научного коллектива
	ПК-2.2 Способен проводить апробацию результатов научно-исследовательской работы посредством публикации научных статей и участия в конференциях
ПК-3 Способен профессионально работать с исследовательским и испытательным оборудованием (приборами и установками, специализированными пакетами прикладных программ) в избранной предметной области	ПК-3.2 Способен проводить эксперимент (моделирование) с использованием исследовательского оборудования (пакетов прикладных программ)
	ПК-3.3 Способен оценивать точность полученных экспериментальных (численных) результатов

## 2. Показатели оценивания компетенций

В результате изучения дисциплины «Физические процессы в органах и тканях» обучающийся должен:

### знать:

- ☐ место и роль общих вопросов науки в научных исследованиях;
- ☐ физические законы, лежащие в основе рассматриваемого биомеханического процесса;
- ☐ характерные биологические (физиологические) параметры, обуславливающие проявления данных физических законов.

### уметь:

- ☐ применять физические законы и численно оценивать механические параметры и закономерности функционирования биотканей, органов, систем организма;
- ☐ формулировать требования к функциональным параметрам аппаратных и программно-алгоритмических средств медицинских приборов и системам;
- ☐ получать информацию о биомеханических параметрах и закономерностях биологического объекта, обосновывать экспериментальные данные.

### владеть:

- ☐ научной картиной процессов на уровне организмов, органов, тканей живых систем;
- ☐ применением физических законов для анализа процессов в живых системах.

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

Во время текущего контроля студент должен уметь ответить на следующие вопросы:

1. Предмет дисциплины и ее задачи.
2. Основы биореологии
3. Реология жидкостей, особенности реологии крови
4. Реология мягких биологических тканей
5. Представление о функциях и механике дыхания, строении легких
6. Механика дыхания
7. Методы исследования механики дыхания
8. Транспорт газов в легких
9. Течение крови в расправленных артериях
10. Течение крови в венах и спадающихся трубках
11. Спадающиеся трубки в кардиореспираторной системе
12. Течение крови в капиллярах
13. Применение методов биомеханики для обнаружения опухолей мягких тканей
14. Оптические свойства биологических тканей и использование оптических методов для диагностики.

Во время занятий могут проходить интерактивные обсуждения в чатах курса, что будет являться домашним заданием. Возможно выполнение патентного поиска в качестве самостоятельной задачи. Успешное выполнение всех заданий по курсу и выполнение контрольных срезов знаний дает преимущество на экзамене.

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

1. Предмет дисциплины и ее задачи.
2. Основы биореологии
3. Реология жидкостей, особенности реологии крови
4. Реология мягких биологических тканей
5. Представление о функциях и механике дыхания, строении легких
6. Механика дыхания
7. Методы исследования механики дыхания
8. Транспорт газов в легких
9. Течение крови в расправленных артериях
10. Течение крови в венах и спадающихся трубках
11. Спадающиеся трубки в кардиореспираторной системе
12. Течение крови в капиллярах
13. Применение методов биомеханики для обнаружения опухолей мягких тканей
14. Оптические свойства биологических тканей и использование оптических методов для диагностики.

Примеры билетов

Билет №1

Течение крови в венах и спадающихся трубках

Билет №2

Механика дыхания

Билет №3

Реология жидкостей, особенности реологии крови

Билет №4

Течение крови в расправленных артериях

Билет №5

Кардиореспираторная система

#### **Критерии оценивания**

Оценка отлично (10 баллов) - выставляется студенту, показавшему всесторонние, систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины, проявляющему интерес к данной предметной области, продемонстрировавшему умение уверенно и творчески применять их на практике при решении конкретных задач, свободное и правильное обоснование принятых решений.

Оценка отлично (9 баллов) - 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 отлично (8 баллов) - выставляется студенту, показавшему всесторонние, систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины и умение уверенно применять их на практике при решении конкретных задач, правильное обоснование принятых решений, с некоторыми недочетами.

Оценка хорошо (7 баллов) - выставляется студенту, если он твердо знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но недостаточно грамотно обосновывает полученные результаты.

Оценка хорошо (6 баллов) - 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.

Оценка хорошо (5 баллов) - выставляется студенту, если он в основном знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но допускает в ответе или в решении задач достаточно большое количество неточностей.

Оценка удовлетворительно (4 балла) - выставляется студенту, показавшему фрагментарный, разрозненный характер знаний, недостаточно правильные формулировки базовых понятий, нарушения логической последовательности в изложении программного материала, но при этом он освоил основные разделы учебной программы, необходимые для дальнейшего обучения, и может применять полученные знания по образцу в стандартной ситуации.

Оценка удовлетворительно (3 балла) - выставляется студенту, показавшему фрагментарный, разрозненный характер знаний, допускающему ошибки в формулировках базовых понятий, нарушения логической последовательности в изложении программного материала, слабо владеет основными разделами учебной программы, необходимыми для дальнейшего обучения и с трудом применяет полученные знания даже в стандартной ситуации.

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

Оценка неудовлетворительно (1 балл) - выставляется студенту, который не знает основного содержания учебной программы дисциплины, допускает грубейшие ошибки в формулировках базовых понятий дисциплины и вообще не имеет навыков решения типовых практических задач.

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

При проведении устного экзамена обучающемуся предоставляется 30 минут на подготовку. Опрос обучающегося по билету на устном экзамене не должен превышать одного астрономического часа.