

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего  
профессионального образования  
Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова  
филиал МГУ в г. Севастополе  
факультет естественных наук  
кафедра физики и геофизики

**УТВЕРЖДАЮ**

Директор  
Филиала МГУ в г. Севастополе  
О.А. Шпырко  
« 20 » г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)**

**Наименование дисциплины (модуля):**

**Механика сплошных сред**

*код и наименование дисциплины (модуля)*

**Уровень высшего образования:**

**специалитет**

**Направление подготовки:**

**03.05.02 Фундаментальная и прикладная физика**

*(код и название направления/специальности)*

**Направленность (профиль) ОПОП:**

**общий**

*(если дисциплина (модуль) относится к вариативной части программы)*

**Форма обучения:**

**очная**


*очная, очно-заочная*

Рабочая программа рассмотрена  
на заседании кафедры физики и геофизики  
протокол №4 от «21» июня 2023 г.

Заведующий кафедрой

  
(подпись) (К.В. Показеев)

Рабочая программа одобрена  
Методическим советом  
Филиала МГУ в г. Севастополе  
Протокол №6 от «28» июня 2023 г.

  
(подпись) (Л.И. Теплова)

Севастополь, 2023

Рабочая программа дисциплины (модуля) разработана в соответствии с самостоятельно установленным МГУ образовательным стандартом (ОС МГУ) для реализуемых основных профессиональных образовательных программ высшего образования по направлению подготовки 03.05.02 «Фундаментальная и прикладная физика» в редакции приказа МГУ №1780 от 29 декабря 2018 г.

Год (годы) приема на обучение: с 2020

*курс – 4*

*семестры – 7*

*зачетных единиц – 2*

*академических часов – 54, в т.ч.*

*лекций – 18 часов*

*практических занятий – 36 часов*

*Форма промежуточной аттестации:*

*экзамен в 8 семестре*

## **1. Место дисциплины (модуля) в структуре ОПОП ВО.**

Дисциплина «Механика сплошных сред» входит в вариативную часть профессионального цикла ОС МГУ по направлению подготовки 03.05.02 «Фундаментальная и прикладная физика» (специалитет). Курс является дополнительным разделом теоретической физики, не вошедшим в базовую часть программы бакалавриата. Курс закладывает фундамент для дальнейшего изучения таких дисциплин вариативной части ОПОП, как «Гидромеханика», «Механика твёрдого деформируемого тела» и других, которые студенты могут проходить по программе бакалавриата или магистратуры.

## **2. Входные требования для освоения дисциплины (модуля), предварительные условия (если есть).**

Успешное освоение дисциплин по высшей математике и общей физике.

## **3. Результаты обучения по дисциплине (модулю), соотнесенные с требуемыми компетенциями выпускников.**

Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю):

Знать:

- возможности и условия применимости моделей сплошных сред к описанию сложных физических систем;
- принципы построения математических моделей физических процессов, явлений в сплошных средах;
- основные типы математических постановок физических задач механики сплошной среды.

Уметь:

- самостоятельно формулировать задачи механики сплошных сред, включая уравнения, начальные и краевые условия соответствующих математических моделей.

Владеть:

- методами математического описания процессов, имеющих место в сплошных средах.

Иметь опыт:

- использования методов математического описания процессов, происходящих в сплошных средах.

## **4. Формат обучения – контактный.**

**5. Объем дисциплины (модуля)** составляет 3 з. е., в том числе 54 академических часа, отведенных на контактную работу обучающихся с преподавателем (аудиторная нагрузка), 54 академических часа на самостоятельную работу обучающихся.

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

**6.1. Структура дисциплины (модуля) по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и виды учебных занятий.**

Наименование разделов и тем дисциплины (модуля),  Форма промежуточной аттестации по дисциплине (модулю)	Номинальные трудозатраты обучающегося			Всего академических часов	Форма текущего контроля успеваемости (наименование)
	Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем) Виды контактной работы, академические часы		Самостоятельная работа обучающегося, академические часы		
	Занятия лекционного типа*	Занятия семинарского типа*			
Модели сплошной среды. Основные подходы к математическому описанию сплошных сред.	Консультации, 5	-	4	9	-
Элементы тензорного исчисления.	Консультации, 4	-	4	8	-
Тензор деформаций и его свойства.	Консультации, 4	-	4		-
Основы кинематики жидкостей и газов.	Консультации, 4	-	4	8	Контрольная работа
Универсальные законы сохранения и уравнения механики сплошной среды.	Консультации, 4	-	4	8	-
Простейшие модели сплошных сред.	Консультации, 4	-	4	8	-
Поверхности разрыва в сплошных средах.	Консультации, 4	-	4	8	Контрольная работа
Основы теории размерности и подобия физических явлений.	Консультации, 5	-	4	9	-
Другие виды самостоятельной работы (при наличии): например, курсовая работа,	-	-	-	-	-

творческая работа (эссе)					
	34	-	32	66	
Промежуточная аттестация (зачет)			6	6	
<b>Итого</b>				72	

## 6.2. Содержание разделов (тем) дисциплины.

№ п/п	Наименование разделов (тем) дисциплины	Содержание разделов (тем) дисциплин
1.	<b>Тема 1. Введение. Лагранжево и эйлерово описание движения.</b>	<p>Предмет механики сплошной среды. Понятие сплошной среды. Процессы, в которых это понятие можно использовать для моделирования поведения реальных тел. Типы сплошных сред.</p> <p>Пространственные (эйлеровы) и материальные (лагранжевы) координаты. Закон движения сплошной среды. Два подхода к описанию движения: лагранжев и эйлеров. Материальная (индивидуальная) производная по времени. Формулы для вычисления ускорений по скоростям.</p>
2.	<b>Тема 2. Криволинейные системы координат. Векторы. Тензоры.</b>	<p>Криволинейные системы координат. Локальные ковариантные векторы базиса. Метрическая матрица. Контравариантные векторы базиса. Формулы преобразования векторов базиса и компонент метрической матрицы при переходе к другой системе координат. Векторы как объекты. Ковариантные и контравариантные компоненты вектора. Физические компоненты вектора.</p> <p>Тензоры как объекты. Формулы преобразования компонент тензоров при переходе к другой системе координат. Фундаментальный метрический тензор. Операции над тензорами. Скалярные инварианты тензоров. «Теорема деления», или обратный тензорный признак.</p>
3.	<b>Тема 3. Дифференцирование тензоров по координатам. Тензор кривизны.</b>	<p>Дифференцирование скалярной функции по координатам. Вектор-градиент. Дифференцирование вектора по координатам. Дифференцирование тензора любого ранга. Правила ковариантного дифференцирования. Ковариантные производные компонент метрического тензора.</p> <p>Свойства символов Кристоффеля. Тензор кривизны.</p>
4.	<b>Тема 4. Тензоры второго ранга и их</b>	<p>Тензоры 2-го ранга. Разложение на сумму симметричного и</p>

	<b>свойства.</b>	<p>антисимметричного тензоров. Тензорная поверхность. Главные оси и главные компоненты симметричного тензора второго ранга. Инварианты симметричного тензора второго ранга. Разложение симметричного тензора на шаровой тензор и девиатор.</p> <p>Антисимметричные тензоры второго ранга в трехмерном пространстве.</p>
5.	<b>Тема 5. Определение тензора деформаций.</b>	<p>Преобразование малой частицы при произвольном перемещении среды. Тензоры деформаций Грина и Альманси. Механический смысл ковариантных компонент тензоров деформаций Грина и Альманси в лагранжевой системе координат.</p> <p>Главные оси и главные компоненты тензоров деформаций Грина и Альманси, связи между ними. Ф-лы для величины относительного изменения объема при деформировании.</p>
6.	<b>Тема 6. Свойства тензоров деформаций.</b>	<p>Компоненты тензоров деформаций Грина и Альманси в пространственной системе координат. Выражение компонент тензоров деформации через производные от компонент вектора перемещения. Уравнения совместности для компонент тензора деформации.</p>
7.	<b>Тема 7. Тензор скоростей деформаций. Дивергенция скорости и её свойства.</b>	<p>Определение тензора скоростей деформаций. Связь между компонентами тензоров деформаций и скоростей деформаций. Выражения компонент тензора скоростей деформаций через компоненты вектора скорости. Механический смысл компонент тензора скоростей деформаций.</p> <p>Формулы для скорости относительного изменения объема при движении среды. Дивергенция скорости и ее механический смысл. Формула Гаусса - Остроградского. Теорема Коши - Гельмгольца о распределении скоростей в малой окрестности любой точки сплошной среды.</p>
8.	<b>Тема 8. Вектор вихря и его свойства.</b>	<p>Вектор вихря. Его механический смысл. Вихревое и безвихревое движение. Потенциал скорости.</p> <p>Циркуляция скорости. Формула Стокса. Пример вихревого течения с прямолинейными траекториями. Пример безвихревого течения с круговыми траекториями.</p>
9.	<b>Тема 9. Закон сохранения массы.</b>	<p>Закон сохранения массы для индивидуального объема сплошной</p>

		<p>среды. Формула дифференцирования по времени интеграла по подвижному индивидуальному объему. Закон сохранения массы для пространственного объема.</p> <p>Дифференциальное уравнение неразрывности - следствие закона сохранения массы. Уравнение неразрывности для несжимаемой среды. Уравнение неразрывности в лагранжевых координатах.</p>
10.	<b>Тема 10. Закон сохранения количества движения.</b>	<p>Силы, действующие на среду: массовые и поверхностные. Вектор напряжений.</p> <p>Математическая формулировка закона сохранения количества движения для индивид-го объема сплошной среды.</p> <p>Формула Коши для вектора напряжений. Тензор напряжений. Диф-ые уравнения движения.</p>
11.	<b>Тема 11. Закон сохранения момента количества движения.</b>	<p>Формулировка закона для индивидуального объёма сплошной среды как постулата, обобщающего экспериментальные факты. Момент количества движения для конечного объема сплошной среды. Массовые и поверхностные пары. Вектор моментных напряжений. Формула Коши для вектора моментных напряжений. Тензор моментных напряжений</p> <p>Дифференциальное уравнение момента количества движения.</p> <p>Дифференциальное уравнение собственного момента количества движения. Симметрия тензора напряжений как следствие закона сохранения момента количества движения при некоторых условиях.</p>

## **7. Фонд оценочных средств (ФОС) для оценивания результатов обучения по дисциплине (модулю).**

### **7.1. Типовые контрольные задания или иные материалы для проведения текущего контроля успеваемости.**

Порядок проведения зачёта.

Система контроля знаний включает в себя текущий контроль успеваемости (контрольные работы) и промежуточный контроль – сдачу зачёта в конце 6-го семестра. Студенты отвечают на 2 вопроса из представленного ниже списка. На подготовку ответа дается 1 час.

### **7.2 Типовые контрольные задания или иные материалы для проведения промежуточной аттестации.**

- для зачета

Вопросы к зачёту.

1. Лагранжево описание движения сплошной среды. Лагранжевы (материальные) координаты. Закон движения точек сплошной среды. Вычисление компонент вектора скорости по закону движения. Вычисление ускорения по скорости при лагранжевом описании.
2. Эйлерово описание движения. Пространственные координаты. Вычисление поля ускорений по полю скоростей при эйлеровом описании. Индивидуальная (материальная, полная) и локальная производные по времени.
3. Переход от лагранжева описания движения сплошной среды к эйлерову и обратный переход.
4. Криволинейные системы координат. Координатные линии и поверхности, векторы базиса, формула для квадрата элемента длины дуги, взаимный векторный базис. Формулы их преобразования при переходе к другой системе координат.
5. Тензоры как объекты в евклидовом пространстве. Комп-ты с разным строением индексов, их связь, формулы преобр-ия при переходе к другой системе координат. Физические комп-ты.
6. Операции над тензорами. Обратный тензорный признак. Инварианты тензоров.
7. Тензорные поля. Ковариантное дифференцирование. Дивергенция и ротор вектора, градиент скалярной функции.
8. Тензоры второго ранга. Разложение на сумму симметричного и антисимметричного тензоров. Тензорная поверхность, главные оси, главные компоненты, инварианты симметричного тензора второго ранга. Шаровой тензор и девиатор.
9. Представление антисимметричного тензора второго ранга в трехмерном пространстве аксиальным вектором.
10. Тензоры конечных деформаций Грина и Альманси. Механический смысл компонент. Главные оси и главные компоненты тензоров деформации. Выражение для относительного изменения объема через инварианты тензоров деформации при конечных и малых деформациях. Механический смысл первого инварианта тензора деформации в случае малых деформаций.
11. Выражение компонент тензоров деформаций через компоненты вектора перемещения. Линейные формулы в случае малых деформаций и мал их относительных поворотов. Выражение для относительного изменения объема через вектор перемещения в случае малых деформаций и малых поворотов.
12. Уравнения совместности для компонент тензоров деформаций. Уравнения совместности Сен-Венана в случае малых деформаций.
13. Тензор скоростей деформаций. Определение. Выражение его компонент через компоненты скорости. Кинематический смысл компонент в декартовой системе координат. Механический смысл дивергенции вектора скорости. Условие несжимаемости среды.
14. Формула Коши-Гельмгольца для распределения скоростей в малой окрестности любой точки сплошной среды.
15. Вектор вихря. Определение. Кинематический смысл вектора вихря. Циркуляция скорости. Фла Стокса. Потенциал скорости. Эквивалентность потенциального и безвихревого движения.
16. Формула Гаусса - Остроградского. Кинематический смысл. Понятие потока вектора через поверхность.
17. Дифференцирование по времени интеграла по подвижному объему.
18. Формулировка закона сохранения массы для конечного индивидуального объема сплошной среды и для неподвижного, пространственного объема. Уравнение неразрывности при эйлеровом и при лагранжевом описании среды. Ур-ие неразрывности для несжимаемой среды.
19. Силы, действующие на сплошную среду: массовые и поверхностные. Вектор напряжений.
20. Закон сохранения количества движения для конечного индивид-го объема сплошной среды.
21. Формула Коши, связывающая вектор напряжений на любой площадке с векторами напряжений па трех фиксированных взаимно перпендикулярных площадках. Тензор напряжений. Физический смысл компонент в декартовой системе координат.
22. Дифференциальные уравнения движения сплошной среды.
23. Формулировка закона сохранения момента количества движения для конечного индивидуального объема сплошной среды. Тензор моментных напряжений.



24. Дифференциальное уравнение момента количества движения. Условия, при которых симметрия тензора напряжений является следствием закона сохранения момента количества движения.
25. Теорема живых сил (теорема о кинетической энергии) для системы материальных точек и для сплошной среды. Работа внутренних поверхностных сил. Работа внутренних поверхностных сил в идеальной жидкости.
26. Закон сохранения энергии - первый закон термодинамики. Формулировка закона сохранения энергии для конечного индивидуального объема сплошной среды. Работа внешних сил. Приток тепла. Теплопроводность. Вектор потока тепла.
27. Дифференциальное уравнение энергии. Уравнение притока тепла (уравнение внутренней энергии).
28. Выражение для притока тепла к малой частице за счет теплопроводности. Закон теплопроводности Фурье для изотропной и анизотропной сред.
29. Жидкости и газы в механике сплошных сред. Тензор напряжений в покоящейся жидкости. Давление. Идеальная жидкость. Уравнения Эйлера.
30. Полные системы механических уравнений для несжимаемой идеальной жидкости и для баротропных движений сжимаемой идеальной жидкости. Условие непроницаемости на поверхности твердых тел.
31. Вязкая жидкость. Линейно-вязкая (ньютоновская) жидкость. Связь между компонентами тензоров вязких напряжений и скоростей деформаций в изотропной линейно-вязкой жидкости (закон Навье-Стокса). Первый и второй коэффициенты вязкости (коэффициенты сдвиговой и объемной вязкости). Кинематический коэффициент вязкости.
32. Уравнения Навье-Стокса. Граничное условие прилипания на поверхности твердых тел. Полная система уравнений несжимаемой линейно-вязкой жидкости.
33. Упругая среда. Линейно-упругая среда. Закон Гука для изотропной линейно-упругой среды при изотермическом деформировании. Физический смысл коэфф-тов, входящих в закон Гука.
34. Замкнутая система уравнений линейной теории упругости (для изотермических процессов). Типичные граничные условия.
35. Уравнения Навье-Ламе для линейно-упругих сред.
36. Поверхности разрыва в сплошных средах Поверхности сильного и слабого разрыва. Условия на поверхностях сильного разрыва, следующие из законов сохранения массы, количества движения, момента количества движения, энергии и закона возрастания энтропии. Ударные волны, тангенциальные разрывы, контактные разрывы.

<b>ШКАЛА И КРИТЕРИИ ОЦЕНИВАНИЯ результатов обучения (РО) по дисциплине (модулю)</b>				
Оценка				
РО и соответствующие виды оценочных средств	Не зачтено	Зачтено		
<b>Знания</b> (домашние задания)	Отсутствие знаний	Фрагментарные знания	Общие, но не структурированные знания	Сформированные систематические знания
<b>Умения</b> (контрольные работы)	Отсутствие умений	В целом успешное, но не систематическое умение	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы умение (допускает неточности непринципиального характера)	Успешное и систематическое умение
<b>Навыки (владения, опыт деятельности)</b> (зачет)	Отсутствие навыков (владений, опыта)	Наличие отдельных навыков (наличие фрагментарного опыта)	В целом, сформированные навыки (владения), но используемые не в активной форме	Сформированные навыки (владения), применяемые при решении задач

## **8. Ресурсное обеспечение:**

### **– Перечень основной и дополнительной литературы.**

1. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Теоретическая физика в 10 т. Т 6 / Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц. – 5-е изд., стер. – М.: Физматлит, 2001. – 736 с.
2. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Теоретическая физика: в 10 т. Т 7 / Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц. – 5-е изд. стер. – М.: Физматлит, 2007. – 264 с.

### **– Описание материально-технического обеспечения.**

- Учебный кабинет №172, (39,78 м<sup>2</sup>)
- Учебных столов – 9 шт., стульев – 19 шт.,
- 3-х створчатая доска для мела – 1 шт.,
- Стол для преподавателя – 1 шт.
- Стационарный экран для проектора – 1 шт.
- Мультимедийный проектор – Персональный компьютер в комплекте Стол для преподавателя Возможность подключения ноутбука и мультимедийного оборудования, беспроводной доступ в интернет Список ПО на ноутбуках: Microsoft Windows 10, Microsoft Office 2016, Google Chrome, Mozilla Firefox, Adobe Reader DC, VLC Media Player.

**9. Соответствие результатов обучения по данному элементу ОПОП результатам освоения ОПОП указано в общей характеристике ОПОП.**

**10. Язык преподавания русский.**

**11. Преподаватель (преподаватели).**

Старший преподаватель кафедры физики и геофизики, кандидат физико-математических наук Олег Евгеньевич Кульша.

**12. Автор (авторы) программы.**

Старший преподаватель кафедры физики и геофизики, кандидат физико-математических наук Олег Евгеньевич Кульша.