

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«Новосибирский национальный исследовательский государственный университет»
(Новосибирский государственный университет, НГУ)

Физический факультет
Кафедра аэрофизики и газовой динамики

Согласовано, декан ФФ
Блинов В.Е.
подпись
«04» «04» 2026 г.

Рабочая программа дисциплины
СОВРЕМЕННЫЕ МОДЕЛИ МЕХАНИКИ СПЛОШНОЙ СРЕДЫ

Направление подготовки: **03.04.02 Физика**

Направленность (профиль): **Физика. Общая и фундаментальная физика**

Форма обучения **Очная**

Семестр	Общий объем	Виды учебных занятий (в часах)				Промежуточная аттестация (в часах)				
		Контактная работа обучающихся с преподавателем			Самостоятельная ра- бота, не включая пе- риод сессии	Самостоятельная подготовка к проме- жуточной аттестации	Контактная работа обучающихся с преподавателем			
		Лекции	Практические занятия	Лабораторные за- нятия			Консультации	Зачет	Дифференциро- ванный зачет	Экзамен
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	108	32			54	18	2			2
Всего 108 часов /3 зачётные единицы, из них: - контактная работа 36 часов										
Компетенции ПК-1										

Руководитель программы
д.ф.-м.н.



И. Б. Логашенко

Новосибирск, 2026

Содержание

1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесённых с планируемыми результатами освоения образовательной программы.	3
2. Место дисциплины в структуре образовательной программы.	3
3. Трудоёмкость дисциплины в зачётных единицах с указанием количества академических часов, выделенных на контактную работу обучающегося с преподавателем (по видам учебных занятий) и на самостоятельную работу.	4
4. Содержание дисциплины, структурированное по темам (разделам) с указанием отведённого на них количества академических часов и видов учебных занятий.	4
5. Перечень учебной литературы.	6
6. Перечень учебно-методических материалов по самостоятельной работе обучающихся.	6
7. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины.....	7
8. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине.	7
9. Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине.....	7
10. Оценочные средства для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине.	7

1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесённых с планируемыми результатами освоения образовательной программы.

Дисциплина «Современные модели механики сплошной среды» имеет своей целью дать студентам-физикам представление о современных моделях механики сплошной среды, связанных с физическими положениями, заложенными в основных уравнениях, на которые опирается континуальная механика. Основной целью освоения дисциплины является ознакомление со структурой основных направлений механики сплошной среды: от аналитической механики системы многих тел (дискретный подход), через идеи Гиббса – Больцмана (переход к ансамблю и понятию континуума) переход к уравнению Лиувилля, и с использованием теории Н.Н. Боголюбова, дальнейшее получение обобщенных уравнений переноса, частным случаем которых являются уравнения Навье-Стокса и уравнения Эйлера.

Второй раздел курса посвящен современным моделям механики сплошной среды, связанным с многофазными течениями. Основной целью освоения этой части дисциплины является ознакомление с общими методами и подходами в исследованиях по теории много фазных сред. Дисциплина нацелена на формирование у обучающегося профессиональной компетенции:

Результаты освоения образовательной программы (компетенции)	Индикаторы	Результаты обучения по дисциплине
ПК-1 Способен использовать специализированные знания в области физики при решении поставленных задач в научно-исследовательской деятельности в соответствии с профилем подготовки в зависимости от специфики объекта исследования.	ПК 1.1 Применяет специализированные знания в области физики при решении конкретных задач в области научных исследований в соответствии с профилем подготовки в зависимости от специфики объекта исследования. ПК 1.2 Выбирает наиболее эффективные методы решения конкретных задач в области научных исследований в соответствии с профилем подготовки в зависимости от специфики объекта исследования.	Знать структуру иерархии моделей от системы взаимодействующих атомов до уравнений механики сплошных тел и основные предположения, заложенные в этом обобщенном подходе на каждом этапе усложнения модели; основы механики взаимопроникающих континуумов. Уметь использовать полученные теоретические знания при решении практических задач, относящихся к области механики сплошных сред; использовать полученные теоретические знания при решении практических задач, относящихся к области механики многофазных сред. Владеть современными методами и подходами в исследовании неравновесных процессов; современными методами и подходами в исследовании процессов, протекающих в многофазных реагирующих потоках.

2. Место дисциплины в структуре образовательной программы.

Дисциплина «Современные модели механики сплошной среды» реализуется в осеннем семестре 1-го курса магистратуры, обучающихся по направлению подготовки **03.04.02 Физика**. Курс является одной из профессиональных дисциплин по выбору, реализуемых кафедрой аэрофизики и газовой динамики. Излагаемый материал во многом опирается на общие

дисциплины, читаемые на физическом факультете, и полностью интегрирован в процесс обучения по курсам общей физики (кафедра общей физики) и газовой динамики (кафедра аэрофизики и газовой динамики).

3. Трудоемкость дисциплины в зачётных единицах с указанием количества академических часов, выделенных на контактную работу обучающегося с преподавателем (по видам учебных занятий) и на самостоятельную работу.

Трудоемкость дисциплины составляет: 3 зачётные единицы, 108 часов.

Форма промежуточной аттестации: 1 семестр – экзамен.

№	Вид деятельности	Семестр
		1
1	Лекции, ч	32
2	Практические занятия, ч	-
3	Лабораторные занятия, ч	-
4	Занятия в контактной форме, ч из них	36
5	аудиторных занятий, ч	32
6	в электронной форме, ч	-
7	консультаций, час.	2
8	промежуточная аттестация, ч	2
9	Самостоятельная работа, час.	72
10	Всего, ч	108

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

Программа и основное содержание лекций (32 часа)

Раздел 1. Введение (4 часа)

Во «Введении» раскрывается основная цель курса лекций «Современные модели механики сплошной среды» - физическое обоснование используемых моделей и уравнений механики сплошных сред. Рассматривая процессы на микроуровне и используя подходы кинетической теории в курсе проходит путь от взаимодействия атомов и молекул до уравнений континуальной теории. При этом раскрывается и анализируется структура такого пути и, соответственно, структура курса лекций.

Раздел 2. Элементы аналитической механики (4 часа)

В разделе «Элементы аналитической механики» дается обоснование применения классической нерелятивистской теории к описанию движения атомов и молекул. Дается исторический обзор развития механики и формализмов динамической теории от Ньютона до Фон-Неймана. Дается физический анализ применимости этих подходов к описанию процессов на микроуровне.

Раздел 3. Кинетическая теория (4 часа)

Показано, как на основе идей Больцмана – Гиббса перехода описания от траекторий отдельных атомов к вероятностному распределению в фазовом и пространстве, и пространстве координат и скоростей получаются уравнения Лиувилля и Больцмана. Дается подробный анализ уравнения Лиувилля. Показано, что для описания процессов в рамках механики сплошных сред оно должно быть трансформировано путем введения S – частичных функций распределения в цепочку уравнений ББГКИ. Дается подробный анализ физических приближений, используемых в теории Боголюбова. Из первого уравнения цепочки Боголюбова выводятся обобщенные уравнения переноса механики сплошных сред.

При выводе уравнения Больцмана дается физический анализ используемых приближений. Вводится понятие энтропии Больцмана. Доказана H-теорема Больцмана. Показано, что при условии отсутствия производства энтропии функция распределения переходит в локальные распределения Максвелла. Получены уравнения механики сплошных сред для этого случая.

Из уравнения Больцмана получено уравнение переноса для характеристик молекул. Из уравнения Энского получены уравнения переноса механики сплошных сред. Дается сравнительный физический анализ получения этих уравнений из цепочки уравнений Боголюбова.

Раздел 4. Уравнения переноса механики сплошных сред (4 часа)

Дается физический анализ обобщенных уравнений переноса механики сплошных сред. На основе введения понятия дифференциального объема и скорости его центра масс проводится переход к уравнениям с переменными, которые традиционно используются в механике сплошных сред. Переход к интегральной форме записи этих уравнений позволяет проанализировать физический смысл обобщенного тензора напряжений и переноса потока тепла. Показано, что использование феноменологических выражений для этих величин позволяет перейти к уравнениям Навье – Стокса и, как частный случай, к уравнению Эйлера. Дается физический анализ использования таких феноменологических приближений.

Из обобщенных уравнений механики сплошных сред получены отдельные уравнения для переноса механической и внутренней энергии континуума. Использование приближения малого отклонения от состояния термодинамического равновесия, при котором верны и уравнения Навье – Стокса, получено уравнение переноса энтропии. Дается анализ источника энтропии в H-теореме Больцмана. На основе полученного выражения анализируется второе начало термодинамики.

Раздел 5. Понятие многофазной среды (4 часа)

Понятие многофазной среды. Гетерогенный и гомогенный подходы к описанию неоднородных сред. Многоскоростной, взаимопроникающий континуум. Феноменологическая теория многоскоростного континуума. Уравнения состояния многофазных сред.

Раздел 6. Вывод основных уравнений (2 часа)

Вывод основных уравнений. Определение источников членов. Сила взаимодействия между фазами. Массообмен между фазами: горение, испарение, конденсация. Различные формы записи уравнений двухфазной среды газ + частицы.

Раздел 7. Различные модели двухфазной среды (4 часа)

Различные модели двухфазной среды: а) модель Крайко–Стернина; б) модель Нигматулина; в) модель Клигеля–Никерсона. Равномерный и замороженный подходы. Соотношения на ударной волне.

Раздел 8. Двухфазная модель крови. Модель эмульсионных сред с микросферами – двухфазная модель детонации (6 часов)

Двухфазная модель крови – особенности течения крови в капиллярах. Модель эмульсионных сред с микросферами – двухфазная модель детонации. Немонотонное поведение скорости детонации.

Самостоятельная работа студентов (72 часа)

Перечень занятий на СРС	Объем, час
Изучение теоретического материала, не освещаемого на лекциях	54
Подготовка к экзамену	18

5. Перечень учебной литературы.

1. Ф.Р. Гантмахер Лекции по аналитической механике. –М. «Наука». 1966. –300 с. (118 экз.)
2. Фаддеев, Л. Д. Лекции по квантовой механике для студентов-математиков / ЛГУ им. А.А. Жданова Л. : Изд-во ЛГУ, 1980 200 с. : ил. (25 экз.)
3. Румер, Ю. Б. Термодинамика, статистическая физика и кинетика : [Учеб. пособие для физ. спец. вузов] / Ю.Б. Румер, М.Ш. Рывкин 2-е изд., испр. и доп. М. : Наука., 1977 (52 экз.)
4. Д.Н. Зубарев Неравновесная статистическая термодинамика. – М., «Наука». – 1971. –416 с. (5 экз)

6. Перечень учебно-методических материалов по самостоятельной работе обучающихся.

1. Яненко Н.Н., Солоухин Р.И., Папырин А.Н., Фомин В.М. Сверхзвуковые двухфазные течения в условиях скоростной неравновесности частиц. Новосибирск: Наука, 1980.
<http://ns.itam.nsc.ru/lib/ecatalog/>
2. Нигматулин Р.И. Динамика многофазных сред. – Ч.1. – М.: Наука, 1987. – 464 с.
<http://ns.itam.nsc.ru/lib/ecatalog/>
3. Нигматулин Р.И. Динамика многофазных сред. – Ч.2. – М.: Наука, 1987. – 360 с.
<http://ns.itam.nsc.ru/lib/ecatalog/>
4. Р. Балеску Равновесная и неравновесная статистическая механика. Т.1. – М. «Мир». –1978. 408 с. <http://ns.itam.nsc.ru/lib/ecatalog/>
5. Л.Д. Фаддеев, О.А. Якубовский Лекции по квантовой механике для студентов математиков. – Л., Изд-во Ленинградского университета. – 1980. – 200 с.
<http://ns.itam.nsc.ru/lib/ecatalog/>
6. Дж. Уленбек, Дж. Форд Лекции по статистической механике. –М. «Мир». – 1965. – 308 с.
<http://ns.itam.nsc.ru/lib/ecatalog/>
7. Дейч М.Е., Филиппов Г.А. Газодинамика двухфазных сред. – 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Энергоиздат, 1981. – 472 с. <http://ns.itam.nsc.ru/lib/ecatalog/>
8. Нигматулин Р.И. Основы механики гетерогенных сред. -М.: Наука, 1978. -336 с.
<http://ns.itam.nsc.ru/lib/ecatalog/>

7. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины.

Для освоения дисциплины используются следующие ресурсы:

- электронная информационно-образовательная среда НГУ (ЭИОС);
- образовательные интернет-порталы;
- информационно-телекоммуникационная сеть Интернет.

7.1 Современные профессиональные базы данных

Не используются.

7.2. Информационные справочные системы

Не используются.

8. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине.

Для обеспечения реализации дисциплины используется стандартный комплект программного обеспечения (ПО), включающий регулярно обновляемое лицензионное ПО Windows и MS Office.

Использование специализированного программного обеспечения для изучения дисциплины не требуется.

9. Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине.

Для реализации дисциплины «Современные модели механики сплошной среды» используются специальные помещения:

1. Учебные аудитории для проведения занятий лекционного типа, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля, итоговой аттестации.

Учебные аудитории укомплектованы специализированной мебелью и техническими средствами обучения, служащими для представления учебной информации большой аудитории.

Материально-техническое обеспечение образовательного процесса по дисциплине для обучающихся из числа лиц с ограниченными возможностями здоровья осуществляется согласно «Порядку организации и осуществления образовательной деятельности по образовательным программам для инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья в Новосибирском государственном университете».

10. Оценочные средства для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине.

10.1 Порядок проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине

Текущий контроль

Текущий контроль в ходе семестра осуществляется путем контроля посещения лекций.

Промежуточная аттестация

Освоение компетенций оценивается согласно шкале оценки уровня сформированности компетенции. Положительная оценка по дисциплине выставляется в том случае, если заявленная компетенция ПК-1 сформирована не ниже порогового уровня в части, относящейся к формированию способности использовать специализированные знания в области современных моделей механики сплошной среды в профессиональной деятельности.

Окончательная оценка работы студента в течение семестра происходит на экзамене. Экзамен проводится в конце семестра в экзаменационную сессию по билетам в устной форме. Вопросы билета подбираются таким образом, чтобы проверить уровень сформированности компетенции ПК-1.

Вывод об уровне сформированности компетенций принимается преподавателем. Каждый вопрос билета оценивается от 0 до 5 баллов. Положительная оценка ставится, когда все компетенции освоены не ниже порогового уровня. Оценки «отлично», «хорошо», «удовлетворительно» означают успешное прохождение промежуточной аттестации.

Соответствие индикаторов и результатов освоения дисциплины

Таблица 10.1

Индикатор	Результат обучения по дисциплине	Оценочные средства
ПК 1.1 Применяет специализированные знания в области физики при решении конкретных задач в области научных исследований в соответствии с профилем подготовки в зависимости от специфики объекта исследования.	Знать структуру иерархии моделей от системы взаимодействующих атомов до уравнений механики сплошных тел и основные предположения, заложенные в этом обобщенном подходе на каждом этапе усложнения модели; основы механики взаимопроникающих континуумов.	Экзамен
ПК 1.2 Выбирает наиболее эффективные методы решения конкретных задач в области научных исследований в соответствии с профилем подготовки в зависимости от специфики объекта исследования.	Уметь использовать полученные теоретические знания при решении практических задач, относящихся к области механики сплошных сред; использовать полученные теоретические знания при решении практических задач, относящихся к области механики многофазных сред. Владеть современными методами и подходами в исследовании неравновесных процессов; современными методами и подходами в исследовании процессов, протекающих в многофазных реагирующих потоках.	Экзамен

10.2 Описание критериев и шкал оценивания индикаторов достижения результатов обучения по дисциплине «Современные модели механики сплошной среды».

Таблица 10.2

Критерии оценивания результатов обучения	Шкала оценивания
--	------------------

Экзамен: – самостоятельность, осмысленность, структурированность, логичность и аргументированность изложения материала, – точность и корректность применения терминов и понятий, – наличие исчерпывающих ответов на дополнительные вопросы. При изложении ответа на вопрос(ы) преподавателя обучающийся мог допустить не принципиальные неточности.	Отлично
Экзамен: – самостоятельность, осмысленность, структурированность, логичность и аргументированность изложения материала, – точность и корректность применения терминов и понятий при наличии незначительных ошибок, – наличие полных ответов на дополнительные вопросы с возможным присутствием ошибок.	Хорошо
Экзамен: – самостоятельность и осмысленность в изложении материала, наличие ошибок в логике и аргументации, а также затруднений при формулировке собственных суждений, – корректность применения терминов и понятий, с множественными ошибками, – наличие неполных и/или содержащих существенные ошибки ответов на дополнительные вопросы.	Удовлетворительно
Экзамен: – отсутствие осмысленности, структурированности, логичности и аргументированности в изложении материала, – грубые ошибки в применении терминов и понятий, – отсутствие ответов на дополнительные вопросы.	Неудовлетворительно

10.3 Типовые контрольные задания и материалы, необходимые для оценки результатов обучения

Задания к экзамену

Задание 1

Доказать теорему Лиувилля о сохранении фазового объема, пользуясь формализмом Фона-Неймана.

Задание 2

В рамках формализма Гамильтона получить выражение для колебательно-вращательной энергии двухатомной молекулы.

Задание 3

Дать анализ зависимости среднего полного импульса системы атомов от времени используя уравнение Лиувилля.

Задание 4

Дать анализ зависимости среднего полного момента импульса системы атомов от времени используя уравнение Лиувилля.

Задание 5

Провести анализ проблем, возникающих при выводе цепочки ББГКИ для двухатомных молекул.

Задание 6

Провести анализ проблем, возникающих при выводе цепочки ББГКИ для системы атомов с многочастичным потенциалом (на примере трехчастичного взаимодействия).

Задание 7

Провести вывод уравнения переноса для полного момента импульса сталкивающихся атомов исходя из уравнения Энскога.

Задание 8

Получить уравнения закона движения двухфазной реагирующей газовзвеси в форме производных вдоль траектории из дивергентной формы записи уравнений движения для первой (газ) и второй (частицы) фаз.

Задание 9

Получить уравнения энергии двухфазной реагирующей газовзвеси в форме производных вдоль траектории из дивергентной формы записи уравнений энергии для первой (газ) и второй (частицы) фаз.

Вопросы на экзамен

Тема №1 «Элементы аналитической механики»

1. Система материальных точек. Связи. Основная задача динамики.
2. Идеальные связи. Общее уравнение динамики.
3. Обобщенные координаты. Обобщенные силы. Уравнения Лагранжа второго рода. Потенциальные, гироскопические, диссипативные силы.
4. Теорема об изменении полной энергии.
5. Функция Лагранжа. Обобщенный потенциал.
6. Анализ природы сил, рассматриваемых в формализме Лагранжа.
7. Теорема Донкина. Функция Гамильтона. Динамические уравнения. Фазовое пространство. Сохранение фазового объема.
8. Наблюдаемые. Уравнение динамики наблюдаемых. Скобка Пуассона. Оператор Лиувилля. Алгебра наблюдаемых.
9. Эволюционный вид уравнений движения. Классический пропагатор. Свойства оператора эволюции.
10. Функция распределения. Состояние системы. Чистое состояние. Смешанное состояние. Картина Гамильтона. Картина Лиувилля.

Тема №2 «Элементы кинетической теории»

1. Уравнение Лиувилля. Ансамбль Гиббса. Вывод уравнения Лиувилля, граничные условия, начальные данные. Свойства уравнения Лиувилля: сохранение нормировки, сохранение средней энергии, сохранение глобальной энтропии.
2. S- частичная функция распределения; Цепочка кинетических уравнений Боголюбова. Вывод обобщенных уравнений переноса механики сплошных сред.
3. Вывод уравнения Больцмана.
4. H- теорема Больцмана.
5. Второе начало термодинамики. Локальное распределение Максвелла.

6. Получение и физический анализ уравнений механики сплошных сред при отсутствии источников энтропии.
7. Обобщенное уравнение переноса Энскога. Вывод обобщенных уравнений переноса механики сплошных сред.

Тема №3 «Анализ уравнений переноса механики сплошных сред»

1. Физический анализ обобщенных уравнений переноса. Дифференциальный объем. Локальная скорость.
2. Интегральная форма уравнений переноса механики сплошных сред. Внутренняя энергия. Тензор напряжений. Тепловой поток.
3. Феноменологические приближения. Уравнения Навье-Стокса. Уравнение Эйлера.
4. Уравнения переноса тепловой и механической энергии.
5. Уравнения переноса энтропии. Второе начало термодинамики.

Тема №4 «Основы механики многофазных сред»

1. Понятие многофазной среды. Гетерогенный и гомогенный подходы к описанию неоднородных сред. Многоскоростной, взаимопроникающий континуум. Феноменологическая теория многоскоростного континуума. Уравнения состояния многофазных сред.
2. Вывод основных уравнений. Определение источников членов. Сила взаимодействия между фазами. Массообмен между фазами: горение, испарение, конденсация. Различные формы записи уравнений двухфазной среды газ + частицы.
3. Различные модели двухфазной среды: а) модель Крайко–Стернина; б) модель Нигматулина; в) модель Клигеля–Никерсона. Равномерный и замороженный подходы. Соотношения на ударной волне.
4. Двухфазная модель крови – особенности течения крови в капиллярах.
5. Модель эмульсионных сред с микросферами – двухфазная модель детонации. Немонотонное поведение скорости детонации.

Пример экзаменационного билета

1. Доказать теорему Лиувилля о сохранении фазового объема, пользуясь формализмом Фон-Неймана.
2. В рамках формализма Гамильтона получить выражение для колебательно-вращательной энергии двухатомной молекулы.
3. Получить уравнения энергии двухфазной реагирующей газовзвеси в форме производных вдоль траектории из дивергентной формы записи уравнений энергии для первой (газ) и второй (частицы) фаз.

Оценочные материалы по промежуточной аттестации, предназначенные для проверки соответствия уровня подготовки по дисциплине требованиям СУОС, хранятся на кафедре-разработчике РПД в печатном и электронном виде.