

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего
профессионального образования
Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова
Механико-математический факультет
Кафедра инженерной механики и прикладной математики

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой
_____/Ганиев Р.Ф./
«__» _____ 20__ г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

Наименование дисциплины (модуля):

Основы кинетической теории газов

наименование дисциплины (модуля)

Уровень высшего образования:

специалитет

Направление подготовки (специальность):

Фундаментальные математика и механика

(код и название направления/специальности)

Направленность (профиль) ОПОП:

Механика жидкости, газа и плазмы

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

Форма обучения:

очная

(очная, очно-заочная)

Рабочая программа рассмотрена и одобрена
на заседании кафедры инженерной механики и прикладной математики
(протокол № _____, «__» _____ 20__ года)

Москва 2019

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 / специальности « программы специалитета » (программы бакалавриата, магистратуры, реализуемых последовательно по схеме интегрированной подготовки; программы специалитета; программы магистратуры) в редакции приказа МГУ от 30 декабря 2016 г.

Год (годы) приема на обучение _____

1. Место дисциплины (модуля) в структуре ОПОП ВО (*относится к базовой или вариативной части ОПОП ВО, или является факультативом*).

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

Освоение следующих дисциплин:

Математический анализ

Алгебра

Дифференциальные уравнения

Уравнения с частными производными

Основы механики сплошной среды

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

Компетенции выпускников (коды)	Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), соотнесенные с компетенциями
ОПК-1 Готовность использовать фундаментальные знания в области механики сплошной среды в будущей профессиональной деятельности	Знать: <i>Основные положения, основные модели и методы кинетической теории газов.</i> Уметь: <i>Решать задачи о течении разреженного газа.</i>
ПК-2 способность к самостоятельному анализу физических аспектов в классических постановках задач механики	Знать: <i>Знать основные модели механики сплошных сред и кинетической теории газов.</i> Уметь <i>Правильно выбирать модели и постановки задач для рассматриваемых явлений.</i>

4. Формат обучения **очный**

5. Объем дисциплины (модуля) составляет 5 з.е., в том числе 72 академических часов, отведенных на контактную работу обучающихся с преподавателем, 108 академических часов на самостоятельную работу обучающихся.

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

Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины (модуля), Форма промежуточной аттестации по дисциплине (модулю)	Всего (часы)	В том числе			
		Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем) Виды контактной работы, часы			Самостоятельная работа обучающегося, часы <i>(виды самостоятельной работы – эссе, реферат, контрольная работа и пр. – указываются при необходимости)</i>
		Занятия лекционного типа*	Занятия семинарского типа*	Всего	
Тема 1. Введение. Сопоставление гидродинамического подхода и кинетической теории. Об основных гипотезах кинетической теории газов.	10	4	0	4	6
Тема 2. Основные понятия. Дискретная среда частиц. Функция распределения скоростей. Макроскопические параметры.	10	4	0	4	6
Тема 3. Потoki макроскопических величин: поток массы, импульса, энергии.	4	2	0	2	2
Тема 4. Вывод уравнения Больцмана. Теорема Лиувилля. Интеграл столкновений.	10	4	0	4	6
Тема 5. Основные свойства уравнения Больцмана: оператор столкновений, инварианты столкновения, макроскопические законы сохранения.	10	4	0	4	6

Тема 6. Основные свойства уравнения Больцмана: H-теорема Больцмана. Равновесная функция распределения. Связь H-функции Больцмана с понятием энтропии.	15	6	0	6	9
Тема 7. Начальные и граничные условия для уравнения Больцмана.	4	2	0	2	2
Коллоквиум по темам 1–7	2				2
Тема 8. Теоретические модели рассеяния. Ядро рассеяния. Случай многокомпонентной смеси газов. Современные методы моделирования рассеяния.	15	6	0	6	9
Тема 9. Модельные уравнения. Линеаризованное уравнение Больцмана.	10	4	0	4	6
Тема 10. Методы разложения по малому параметру. Вывод уравнений Эйлера и уравнений Навье-Стокса.	10	4	0	4	6
Тема 11. Приближенное вычисление коэффициентов переноса.	4	2	0	2	2
Коллоквиум по темам 8–11	2				2
Тема 12. Обзор современных методов решения уравнения Больцмана. Методы прямого счета.	15	6	0	6	9
Тема 13. Метод прямого статистического моделирования Монте-Карло (DSMC).	15	6	0	6	9
Тема 14. Метод решеточных уравнений Больцмана (LBM).	15	6	0	6	9
Тема 15. Метод событийного молекулярно-динамического моделирования (EDMD).	15	6	0	6	9
Тема 16. Обзор современных приложений кинетической теории газов: актуальные задачи, сравнение возможностей различных методов, существующие вызовы.	10	6	0	6	4
Промежуточная аттестация: экзамен	4				4
Итого	180			72	108

**Внимание! В таблице должно быть зафиксировано проведение текущего контроля успеваемости, который может быть реализован, например, в рамках занятий семинарского типа.*

*** Часы, отводимые на проведение промежуточной аттестации, выделяются из часов самостоятельной работы обучающегося*

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.

1. Коллоквиум по темам 1–7:

- 1.1. Сформулировать исходные положения кинетической теории газов, основные понятия: дискретная среда частиц, функция распределения скоростей.
- 1.2. Записать, как макроскопические параметры (плотность, скорость, тензор напряжений, температура) выражаются через функцию распределения скорости.
- 1.3. Записать выражения для потоков макроскопических величин (поток массы, импульса, энергии) через функцию распределения.
- 1.4. Вывести формулу для количества столкновений молекул в единице объема в единицу времени.
- 1.5. Вывести формулу для средней длины свободного пробега.
- 1.6. Какая температура и давление у газа, в котором скорость всех молекул одинакова и равна $(1,0,0)$? Какая температура и давление у газа, в котором величина скорости всех молекул одинакова, а направление произвольно?
- 1.7. Сформулировать основные предположения, на основе которых выводится уравнение Больцмана. Рассказать основные этапы вывода.
- 1.8. Сформулировать и доказать теорему Лиувилля.
- 1.9. Объяснить, как получается выражение для интеграла столкновений.
- 1.10. Показать существование инвариантов столкновения, вывести макроскопические законы сохранения.
- 1.11. Сформулировать H-теорему Больцмана. Получить выражение для равновесной функции распределения.
- 1.12. Какие выражения получаются для макроскопических параметров (плотность, скорость, тензор напряжений, температура) в случае равновесного газа?
- 1.13. Привести примеры постановки начальных и граничных условий для уравнения Больцмана.

2. Коллоквиум по темам 8-11:

- 2.1. Перечислить основные теоретические модели рассеяния и для каждой из них выписать выражение для ядра рассеяния.
- 2.2. Описать идею замены интеграла столкновений на его модельный аналог, сформулировать условия на модельный интеграл. Привести пример модельного уравнения.
- 2.3. Записать линеаризованное уравнение Больцмана.
- 2.4. Записать уравнение Больцмана в безразмерном виде.
- 2.5. Показать, что в нулевом приближении из уравнений Больцмана следуют уравнения Эйлера.
- 2.6. Приблизив интеграл столкновений его модельным аналогом, показать, что в первом приближении из уравнений Больцмана следуют уравнения Навье-Стокса.

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

1. Список билетов к экзамену:

1. Сопоставление гидродинамического подхода и кинетической теории. Об основных гипотезах кинетической теории газов.
2. Основные понятия. Дискретная среда частиц. Функция распределения скоростей. Макроскопические параметры.
3. Потoki макроскопических величин: поток массы, импульса, энергии.
4. Вывод уравнения Больцмана.
5. Теорема Лиувилля. Интеграл столкновений.
6. Основные свойства уравнения Больцмана: оператор столкновений, инварианты столкновения, макроскопические законы сохранения.
7. Основные свойства уравнения Больцмана: H -теорема Больцмана. Равновесная функция распределения. Связь H -функции Больцмана с понятием энтропии.
8. Начальные и граничные условия для уравнения Больцмана.
9. Теоретические модели рассеяния. Ядро рассеяния. Случай многокомпонентной смеси газов. Современные методы моделирования рассеяния.
10. Модельные уравнения.
11. Линеаризованное уравнение Больцмана.
12. Методы разложения по малому параметру. Вывод уравнений Эйлера.
13. Методы разложения по малому параметру. Вывод уравнений Навье-Стокса.
14. Приближенное вычисление коэффициентов переноса.
15. Современные численные методы решения уравнения Больцмана. Методы прямого счета.
16. Метод прямого статистического моделирования Монте-Карло (DSMC).
17. Метод решеточных уравнений Больцмана (LBM).
18. Метод событийного молекулярно-динамического моделирования (EDMD).
19. Современные приложения кинетической теории газов: актуальные задачи, сравнение возможностей различных методов.

2. Список дополнительных вопросов:

- 2.1. Список вопросов двух коллоквиумов (см. выше)
- 2.2. Дополнительные вопросы по темам 12–16:
 - Сформулировать основные положения методов прямого интегрирования уравнения Больцмана.
 - Сформулировать основные положения метода прямого статистического моделирования Монте-Карло (DSMC).
 - Сформулировать основные положения метода решеточных уравнений Больцмана (LBM).
 - Сформулировать основные положения метода событийного молекулярно-динамического моделирования (EDMD).

ШКАЛА И КРИТЕРИИ ОЦЕНИВАНИЯ результатов обучения (РО) по дисциплине (модулю)				
Оценка	2	3	4	5
РО и соответствующие виды оценочных средств				
Знания (виды оценочных средств: устные и письменные опросы и контрольные работы, тесты, и т.п.)	Отсутствие знаний	Фрагментарные знания	Общие, но не структурированные знания	Сформированные систематические знания
Умения (виды оценочных средств: практические контрольные задания, написание и защита рефератов на заданную тему и т.п.)	Отсутствие умений	В целом успешное, но не систематическое умение	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы умение (допускает неточности не принципиального характера)	Успешное и систематическое умение
Навыки (владения, опыт деятельности) (виды оценочных средств: выполнение и защита курсовой работы, отчет по практике, отчет по НИР и т.п.)	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:

Основная:

1. Слезкин Н.А. Лекции по молекулярной динамике. М.: Изд-во Московск. ун-та.
2. Коган М.Н. Динамика разреженного газа. М.: Наука, 1967. 440 с.
3. Р.И. Нигматулин, Механика сплошной среды. М.:ГЭОТАР-Медиа. 2014. 640с.
4. Черчиньяни К. Теория и приложения уравнения Больцмана. М.: Мир, 1978.

Дополнительная:

1. Баранцев В.Г. Взаимодействие разреженных газов с обтекаемыми поверхностями. М.: Наука. 1975
 2. Дж. Ферцигер, Г. Капер. Математическая теория процессов переноса в газах. М.: Мир, 1976.
 3. Гиршфельдер Дж., Кертисс Ч., Берд Р. Молекулярная теория газов и жидкостей. М.: Изд-во Ин. лит. , 1961. – 929 с.
- Перечень лицензионного программного обеспечения (при необходимости):
Не требуется.
 - Перечень профессиональных баз данных и информационных справочных систем:
Не требуется.
 - Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет» (при необходимости):
Не требуется.
 - Описание материально-технического обеспечения:
 - Аудитория
 - Доска
 - Мел
 - Экран
 - Проектор

9. Язык преподавания:

Русский

10. Преподаватель (преподаватели):

Доцент, к.ф.-м.н. Якунчиков Артем Николаевич

11. Автор (авторы) программы:

Доцент, к.ф.-м.н. Якунчиков Артем Николаевич