

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова
Филиал Московского государственного университета имени М.В.Ломоносова в городе Сарове

«УТВЕРЖДАЮ»



Директор филиала МГУ в г.Сарове
Член-корреспондент РАН В.В. Воеводин

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

Наименование дисциплины:

Гидродинамика, ударные и детонационные волны ч.1

Уровень высшего образования:

Магистратура

Направление подготовки:

03.04.02 Физика

Направленность (профиль) ОПОП:

Теоретическая физика

Квалификация «Магистр»

Форма обучения: Очная

Саров 2021 г.

Рабочая программа дисциплины разработана в соответствии с самостоятельно установленным МГУ образовательным стандартом (ОС МГУ) для реализуемых основных профессиональных образовательных программ высшего образования по направлению подготовки 03.04.02 Физика в редакции приказа по МГУ от 30 декабря 2020 г. №1366.

Разработчики программы:

Сысоев Николай Николаевич, доктор физ.-мат. наук, профессор, Уваров Александр Викторович, доктор физ.-мат наук, профессор.

1. Место дисциплины (модуля) в структуре ОПОП ВО:
вариативная часть, дисциплина по выбору, читается в 1 семестре

2. Входные требования для освоения дисциплины (модуля), предварительные условия (если есть):
Бакалавр по любой физико-математической специализации. Курсы математического анализа, линейной алгебры и дифференциальных уравнений, курс молекулярной физики из курса общей физики.

3. Результаты обучения по дисциплине (модулю):

В результате освоения дисциплины у обучающихся должны быть сформированы:

Формируемые компетенции (код компетенции)	Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю)
<ul style="list-style-type: none"> Способность использовать знания современных проблем и новейших достижений в области теоретической физики в своей научно-исследовательской деятельности (СПК-1). 	<p>ЗНАТЬ основные законы и направления современных научных исследований в области теоретической физики</p> <p>УМЕТЬ на основе фундаментальных знаний в области теоретической физики, определять возможные направления научных исследований.</p> <p>ВЛАДЕТЬ необходимой информацией из современных отечественных и зарубежных источников по тематике избранного направления исследования области теоретической физики.</p>
<ul style="list-style-type: none"> Способность организовать и планировать физические исследования, ставить конкретные задачи научных исследований в области теоретической физики и решать их с помощью современной аппаратуры, оборудования 	<p>ЗНАТЬ базовые принципы организации научных исследований с использованием информационных технологий, основные методики работы на современном научном оборудовании.</p> <p>УМЕТЬ используя знания в области теоретической физики проводить научные исследования.</p> <p>ВЛАДЕТЬ навыками планирования научного исследования, анализа получаемых результатов, обобщения, оформления и публичного представления полученных результатов.</p>

и информационных технологий (СПК-2).	
<ul style="list-style-type: none"> Способность определять основные направления внедрения научных результатов в области теоретической физики (СПК-3). 	<p>ЗНАТЬ основные направления инновационного развития в области теоретической физики.</p> <p>УМЕТЬ проводить необходимый анализ современных тенденций научных инноваций в области теоретической физики для подготовки предложений по внедрению полученных научных результатов.</p> <p>ВЛАДЕТЬ методами обоснования возможного применения полученных научных результатов с учетом современных достижений в области теоретической физики.</p>

4. Объем дисциплины (модуля) составляет 4 (2+2) з.е.

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

5.1. Структура дисциплины (модуля) по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и виды учебных занятий (в строгом соответствии с учебным планом)

Наименование разделов и тем дисциплины (модуля), Форма промежуточной аттестации по дисциплине (модулю)	Номинальные трудозатраты обучающегося		Самостоятельная работа обучающегося, академические часы	Всего академических часов	Форма текущего контроля успеваемости* (наименование)
	Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем) Виды контактной работы, академические часы				
	Занятия лекционного типа	Занятия семинарского типа			
Тема 1-1. Гидродинамика. Терминология и основные понятия. Переход к приближению сплошной среды .	1	1	2	4	опрос

Тема 1-2. Система уравнений гидродинамики в приближении идеальной и вязкой жидкости.	2	2	4	8	тестирование
Тема 1-3. Уравнение состояния газа, жидкости, твердого тела. Причины появления диссипации. Коэффициенты вязкости и теплопроводности в газе, жидкости и твердых телах.	1	1	2	4	опрос
Тема 1-4. Распространение малых возмущений. Дисперсионное уравнение. Звуковые, тепловые и вихревые волны.	1	1	2	4	контрольная
Тема 1-5. Приближение несжимаемой жидкости. Приближение Буссинеска и конвекция.	1	1	2	4	тестирование
Тема 1-6. Основы теории ламинарного пограничного слоя	1	1	2	4	тестирование
Тема 1-7. Течения Пуазейля и Куэтта. Потеря устойчивости и турбулентный переход. Теория Колмогорова и полуэмпирические модели турбулентности.	2	2	4	8	контрольная
Тема 1-8. Описание нелинейных волн в рамках модели идеальной жидкости. Характеристики. Волны сжатия, разрежения и контактные поверхности. Инварианты Римана. Переход волны сжатия в ударную волну	3	3	6	6	тестирование
Тема 1-9. Нелинейные звуковые волны. Уравнение Бюргерса.	1	1	2	4	опрос
Тема 1-10. Ударная волна как поверхность разрыва и как слой конечной толщины.	2	2	4	8	тестирование
Тема 1-11. Взаимодействие ударных волн. Распад разрыва.	2	2	2	4	контрольная
Другие виды самостоятельной работы (при наличии): <i>Например, Курсовая работа</i> <i>Творческая работа (эссе)...</i>	—	—			—
	—	—			—
	—	—			—
Промежуточная аттестация (зачет(ы) и (или) экзамен(ы))			4	4	—
Итого	18	18	36	72	—

*

Примеры форм текущего контроля успеваемости:

опрос;

тестирование;

контрольная работа;

коллоквиум;

реферат и и.д.

5.2. Содержание разделов (тем) дисциплины

№ п/п	Наименование разделов (тем) дисциплины	Содержание разделов (тем) дисциплин
1.	Тема 1-1. Гидродинамика. Терминология и основные понятия. Переход к приближению сплошной среды.	Особенности терминологии. Длина свободного пробега. Среднее расстояние между молекулами. Физически бесконечно малый объем. Условия для перехода к приближению сплошной среды. Скорость, плотность, давление, температура.
2.	Тема 1-2. Система уравнений гидродинамики в приближении идеальной и вязкой жидкости.	Приближение идеальной жидкости. Уравнения непрерывности, движения и энергии. Граничные условия. Уравнение состояния. Вязкая жидкость. Феноменологическое описание. Линейная зависимость потоков и сил. Законы Ньютона и Фурье. Коэффициенты вязкости и теплопроводности. Число Прандтля. Граничные условия. Числа Био и Нуссельта. Условие применимости приближения идеальной жидкости. Система уравнений гидродинамики в цилиндрических и сферических координатах.
3.	Тема 1-3. Уравнение состояния газа, жидкости, твердого тела. Причины появления диссипации. Коэффициенты вязкости и теплопроводности в газе, жидкости и твердых телах.	Уравнение состояния идеального газа. Реальный газ, учет межмолекулярного взаимодействия. Уравнения состояния в жидкостях и твердых телах. Поступательная релаксация и нарушение максвелловского распределения. Внутренние степени свободы в газах и изменение теплоемкости с ростом температуры. Границы применимости приближения политропного газа. Механизмы вязкости и теплопроводности в газах, жидкостях и твердых телах. Соотношение коэффициентов.
4.	Тема 1-4. Распространение малых возмущений. Дисперсионное уравнение. Звуковые, тепловые и вихревые волны.	Линеаризация гидродинамических уравнений. Частоты и волновые вектора. Дисперсионное уравнение. Разложение произвольного возмущения на звуковые, вихревые и тепловые волны. Особенности распространения разных типов волн в гидродинамике. Поглощение малых возмущений.
5.	Тема 1-5. Приближение несжимаемой жидкости. Приближение Буссинеска и конвекция.	Приближение несжимаемой жидкости и условия его применимости. Упрощение системы гидродинамических уравнений. Преимущества и недостатки численных расчетов в приближении несжимаемой жидкости. Приближение Буссинеска. Термогравитационная и термокапиллярная конвекция. Задача Рэлея. Задача Пирсона. Конвекция Бенара-Марангони и конвекция Рэлея.
6.	Тема 1-6. Основы теории ламинарного пограничного слоя	Система уравнений гидродинамики в приближении погранслоя. Задача Блазиуса. Расчет теплопереноса в пограничном слое. Ограниченность применимости теории ламинарного погранслоя.
7.	Тема 1-7. Течения Пуазейля и Куэтта. Потеря устойчивости и переход к турбулентности. Теория Колмогорова и полуэмпирические модели турбулентности.	Течение Пуазейля и течение Куэтта. Число Рейнольдса. Потеря устойчивости и переход к турбулентному течению. Тензор Рейнольдса. Каскадная модель. Теория Колмогорова. Полуэмпирические модели описания турбулентных течений. Турбулентная вязкость как характеристика масштаба описания.
8.	Тема 1-8. Описание нелинейных волн в рамках модели идеальной жидкости. Характеристики. Инварианты Римана.	Описание нелинейных волн в рамках модели идеальной жидкости. Характеристики. Волны сжатия, разрежения и контактные поверхности. Инварианты Римана. Переход волны сжатия в ударную волну. Ограниченность модели идеальной жидкости при переходе к ударной волне. Переход к гидродинамическому описанию с поверхностями разрыва.
9.	Тема 1-9. Нелинейные звуковые волны. Уравнение Бюргерса.	Преимущества и недостатки модели квадратичной нелинейности по сравнению с описанием в рамках модели идеальной жидкости. Уравнение Бюргерса. Преобразование Хопфа-Коула. Появление высших гармоник и затухание волн.
10.	Тема 1-10. Ударная волна как поверхность разрыва и как слой конечной толщины.	Ударная волна как поверхность разрыва. Число Маха. Соотношения Рэнкина-Гюгонио. Прямая Михельсона. Адиабата Гюгонио. Приближение политропного газа и границы его применимости. Косая ударная волна. Структура ударной волны и методы ее описания. Ударные волны слабой интенсивности- стационарное решение. Взаимодействие ударных волн с малыми возмущениями. Ударные трубы. Особенности ударных волн в жидкостях и твердых телах.
11.	Тема 1-11. Взаимодействие ударных	Распад произвольного разрыва. Ударные волны, волны разрежения и контактные разрывы.

6. Фонд оценочных средств (ФОС, оценочные и методические материалы) для оценивания результатов обучения по дисциплине (модулю).

6.1. Типовые контрольные задания или иные материалы для проведения текущего контроля успеваемости, критерии и шкалы оценивания (в отсутствие утвержденных соответствующих локальных нормативных актов на факультете)

1. Применимо ли гидродинамическое описание к течению воздуха в трубе диаметром 1 м при давлении 0.01 атм и температуре 20С? 2. Известны компоненты скорости для течения $v_x=Ax$, $v_y=By^2$, $v_z=0$. Напишите систему уравнений для идеальной жидкости. Задача 3. Плоское течение Куэтта. 4. На какие моды распадается произвольное малое возмущение? 5. Конвекция в плоском слое жидкости между двумя твердыми стенками началась при температуре нижней стенки, равной 300 К, и разности температур 30 К. Как изменится разность температур, необходимая для начала конвекции, если эксперимент проводился бы на Луне? 6. Рассчитайте перепад температуры на фронте ударной волны с числом Маха $M=5$ в воздухе. Температура воздуха перед волной 293 К.

6.2. Типовые контрольные задания или иные материалы для проведения промежуточной аттестации по дисциплине (модулю), критерии и шкалы оценивания (в отсутствие утвержденных соответствующих локальных нормативных актов на факультете)

1. Гидродинамическое описание жидкости и пределы его применимости. 2. Идеальная жидкость. Уравнения непрерывности, движения и энергии. Граничные условия. 3. Вязкая жидкость. Уравнение Навье-Стокса. Уравнение энергии для вязкой жидкости. Граничные условия. 4. Приближения теории погранслоя. 5. Область применимости приближения вязкой несжимаемой жидкости. Течения Пуазейля и Куэтта. Обтекание шара. Число Рейнольдса. Ламинарные и турбулентные течения. 6. Кинетическое уравнение Больцмана и система уравнений гидродинамики. 7. Малые гидродинамические возмущения. Понятие о гидродинамических модах. Свойства гидродинамических мод в идеальной и в вязкой среде. 8. Приближение Обербека-Буссинеска. Конвекция. Задача Рэлея-Бенара. 9. Конечные гидродинамические возмущения. Волны Римана. Уравнение Бюргерса. 10. Ударные волны. Число Маха. Связь параметров на фронте ударной волны. Физическая интерпретация ударной адиабаты. 11. Задача о распаде произвольного разрыва. Упрощенная теория ударной трубы.

7. Ресурсное обеспечение:

7.1. Перечень основной и дополнительной литературы

Основная литература

1. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Гидродинамика. М.: Наука, 1986.
2. Черный Г.Г. Газовая динамика. М.: Наука, 1988, 424 с.
3. Зельдович Я.Б., Райзер Ю.П. Физика ударных волн и высокотемпературных гидродинамических явлений. М.: Наука, 1963.
4. Мурсенкова И.В., Сысоев Н.Н., Уваров А.В. Основы физической гидродинамики М. Физический факультет МГУ, 2015.
5. Ступоченко Е.В., Лосев С.А., Осипов А.И. Релаксационные процессы в ударных волнах. М.: Наука, 1965-484с.
6. Сысоев Н.Н., Селиванов В.В., Хахалин А.В. Физика горения и взрыва, в 3 частях. М.:Изд-во Московского университета. 2018.
7. Осипов А.И., Сысоев Н.Н., Уваров А.В. Современная молекулярная физика. Неравновесный газ. Учебное пособие. М.: Физический факультет МГУ, 2006.
8. Schlichting H., Gersten K. Boundary-Layer Theory, Springer. 2017, 805 pp.

11. Fitzpatrick R. Theoretical fluid mechanics, Bristol, UK, IOP Publishing, 2017, 784 pp.
12. Babu, V. Fundamentals of Gas Dynamics, Springer, 2021, 265pp

Дополнительная литература

1. Лойцянский Л.Г. Механика жидкости и газа. М.: Наука, 1987, 840 с.
2. Фабер Т.Е. Гидроаэродинамика. Под ред. А.А.Павельева; М., 2001. 560 с.
3. Уизем Дж. Линейные и нелинейные волны. М.: Мир, 1977, 624 с.
4. Сысоев Н.Н., Шугаев Ф.В. Ударные волны в газах и конденсированных средах. Учебное пособие. М.Изд-во МГУ, 1987.
5. Фрик П.Г. Турбулентность. Модели и подходы. Курс лекций. В 2-х частях, Пермь, Пермский гос. Техн.ун-т, 1998.
6. Осипов А.И., Уваров А.В. Неравновесный газ: проблемы устойчивости. //Успехи физических наук, 1996, т.166, с.639-650.
7. Гершуни. Г.З., Жуховицкий Е.М. Конвективная устойчивость несжимаемой жидкости. М.:Наука, 1972.
8. Механика жидкости и газа. Виртуальный лабораторный практикум: учебное пособие для вузов / Г. В. Алексеев, М. В. Бондарева, И. И. Бриденко, А. И. Шашкин. — 2-е изд. — Москва: Издательство Юрайт, 2021. — 134 с
9. Короткий, А. И. Теория тепломассопереноса. Моделирование граничных задач: учебное пособие для вузов / А. И. Короткий, Ю. В. Стародубцева; под научной редакцией А. Б. Ложникова. — Москва: Издательство Юрайт, 2021. — 168 с.
- 10.. Song H. Engineering Fluid Mechanics. Springer, 2018, 250pp
11. Лотов К.В., Физика сплошных сред [Электронный ресурс]: учеб. пособие / Лотов К.В. - Новосибирск: РИЦ НГУ, 2018. - 136 с.

Перечень лицензионного программного обеспечения, в том числе отечественного производства
При реализации дисциплины может быть использовано следующее программное обеспечение:

1. Программный продукт Red Hat Enterprise Linux Server for HPC Compute Node for Power, LE, Self-support 4 шт. №5540331
2. Программный продукт Red Hat Enterprise Linux Server for HPC Head Node for Power, LE, Standard 1 шт. №5540332
3. Операционная система SUSE Linux Enterprise Server 11 SP4 for x86_64 16 шт.
4. Операционная система Red Hat Enterprise Linux Server 5.0 for x86_64 14шт.
5. Операционная система SUSE Linux Enterprise Server 10 SP3 for ppc64 7 шт.
6. Операционная система Ubuntu 18.04.

7. Программное обеспечение для виртуализации Oracle VM VirtualBox
8. Операционная система ALTLinuxMATEStarterkit 9 лицензияGPL
9. Программный продукт JetBrains IntelliJ IDEA Community Edition Free Educational Licenses
10. Программный продукт JetBrainsPyCharm Community Edition Free Educational Licenses
11. Программный продукт JetBrainsCLion Community Edition Free Educational Licenses
12. Программный продукт UPPAAL (<http://www.uppaal.org/>) академическая лицензия
13. Программный продукт Java 8 (64-bit)Oracle Corporation
14. Программный продукт Java SE Development Kit 8(64-bit) Oracle Corporation
15. Программный продукт NetBeans IDE 8.2 NetBeans.org
16. Программный продукт Dev-C++ Bloodshed Software
17. Программный продуктCodeBlocksThe Code::Blocks Team
18. Программный продукт Free Pascal 3.0.0Free Pascal Team
19. Программный продукт Python 3.5.1 (64-bit)Python Software Foundation
20. Программный продукт R for Windows 3.2.2 R Core Team
21. Программный продуктHaskell Platform 7.10.3 Haskell.org
22. Операционная система Microsoft Windows 7 корпоративная академическая лицензия
23. Операционная система Microsoft Windows 10 Educationакадемическая лицензия
24. Программный продукт Microsoft ProjectProfessional 2013 академическая лицензия
25. Программный продукт Microsoft VisioProfessional 2013 академическая лицензия
26. Программный продуктMicrosoft VisualStudioProfessional 2013 - RUS [Русский (Россия)] академическая лицензия

Перечень профессиональных баз данных и информационных справочных систем

1. <http://www.edu.ru> – портал Министерства образования и науки РФ
2. <http://www.ict.edu.ru> – система федеральных образовательных порталов «ИКТ в образовании»
3. <http://www.openet.ru> - Российский портал открытого образования
4. <http://www.mon.gov.ru> - Министерство образования и науки Российской Федерации
5. <http://www.fasi.gov.ru> - Федеральное агентство по науке и инновациям

Перечень лицензионного программного обеспечения, в том числе отечественного производства

При реализации дисциплины может быть использовано следующее программное обеспечение:

27. Программный продукт Red Hat Enterprise Linux Server for HPC Compute Node for Power, LE, Self-support 4 шт. №5540331
28. Программный продукт Red Hat Enterprise Linux Server for HPC Head Node for Power, LE, Standard 1 шт. №5540332
29. Операционная система SUSE Linux Enterprise Server 11 SP4 for x86_64 16 шт.
30. Операционная система Red Hat Enterprise Linux Server 5.0 for x86_64 14шт.
31. Операционная система SUSE Linux Enterprise Server 10 SP3 for ppc64 7 шт.
32. Операционная система Ubuntu 18.04.
33. Программное обеспечение для виртуализации Oracle VM VirtualBox
34. Операционная система ALTLinuxMATEStarterkit 9 лицензияGPL
35. Программный продукт JetBrains IntelliJ IDEA Community Edition Free Educational Licenses
36. Программный продукт JetBrainsPyCharm Community Edition Free Educational Licenses
37. Программный продукт JetBrainsCLion Community Edition Free Educational Licenses
38. Программный продукт UPPAAL (<http://www.uppaal.org/>) академическая лицензия
39. Программный продукт Java 8 (64-bit)Oracle Corporation
40. Программный продукт Java SE Development Kit 8(64-bit) Oracle Corporation
41. Программный продукт NetBeans IDE 8.2 NetBeans.org
42. Программный продукт Dev-C++ Bloodshed Software
43. Программный продуктCodeBlocksThe Code::Blocks Team
44. Программный продукт Free Pascal 3.0.0Free Pascal Team
45. Программный продукт Python 3.5.1 (64-bit)Python Software Foundation
46. Программный продукт R for Windows 3.2.2 R Core Team
47. Программный продуктHaskell Platform 7.10.3 Haskell.org
48. Операционная система Microsoft Windows 7 корпоративная академическая лицензия
49. Операционная система Microsoft Windows 10 Educationакадемическая лицензия
50. Программный продукт Microsoft ProjectProfessional 2013 академическая лицензия
51. Программный продукт Microsoft VisioProfessional 2013 академическая лицензия
52. Программный продуктMicrosoft VisualStudioProfessional 2013 - RUS [Русский (Россия)] академическая лицензия

Перечень профессиональных баз данных и информационных справочных систем

6. <http://www.edu.ru> – портал Министерства образования и науки РФ
7. <http://www.ict.edu.ru> – система федеральных образовательных порталов «ИКТ в образовании»
8. <http://www.openet.ru> - Российский портал открытого образования
9. <http://www.mon.gov.ru> - Министерство образования и науки Российской Федерации
10. <http://www.fasi.gov.ru> - Федеральное агентство по науке и инновациям

7.2. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет»

7.3. Описание материально-технического обеспечения.

8. Соответствие результатов обучения по данному элементу ОПОП результатам освоения ОПОП указано в Общей характеристике ОПОП.