

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

**УТВЕРЖДЕНО**  
**Проректор по учебной работе**

**А.А. Воронов**

	<b>Рабочая программа дисциплины (модуля)</b>
<b>по дисциплине:</b>	Качественные методы гидродинамики
<b>по направлению:</b>	Прикладные математика и физика
<b>профиль подготовки:</b>	Компьютерное моделирование физических процессов Физтех-школа Аэрокосмических Технологий кафедра теоретической физики им. Л.Д. Ландау
<b>курс:</b>	1
<b>квалификация:</b>	магистр

Семестр, формы промежуточной аттестации: 1 (осенний) - Экзамен

Аудиторных часов: 60 всего, в том числе:

лекции: 30 час.

семинары: 30 час.

лабораторные занятия: 0 час.

Самостоятельная работа: 45 час.

Подготовка к экзамену: 30 час.

Всего часов: 135, всего зач. ед.: 3

Количество контрольных работ, заданий: 4

Программу составил: В.П. Крайнов, д-р физ.-мат. наук, профессор

Программа обсуждена на заседании кафедры теоретической физики им. Л.Д. Ландау 28.05.2021

## Аннотация

Курс лекций посвящен аналитическим и приближенным методам описания различных разделов механики сплошных сред. Основное внимание уделяется физической и качественной интерпретации теории. Развитые методы позволяют правильно оценить порядки физических величин в различных линейных и нелинейных гидродинамических процессах.

### 1. Цели и задачи

#### Цель дисциплины

Дать студентам знания в области описания различных квантовых физических явлений и методы построения соответствующих математических моделей, показать соответствие и непротиворечивость системы постулатов, положенных в основу квантовой теории, существующим экспериментальным данным, что позволяет считать теорию достоверной. Дать навыки, позволяющие понять адекватность теоретической модели соответствующему физическому явлению.

#### Задачи дисциплины

- Изучение свойств точно решаемых задач-моделей гидродинамических систем;
- изучение приближенных методов решения задач гидродинамики;
- изучение методов описания сложных систем
- овладение методами гидродинамики для описания свойств различных физических систем.

### 2. Перечень формируемых компетенций

Освоение дисциплины направлено на формирование следующих компетенций:

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
ОПК-3 Способен выбирать и (или) разрабатывать подходы к решению типовых и новых задач в области профессиональной деятельности, учитывая особенности и ограничения различных методов решения	ОПК-3.2 Способен использовать исследовательские методы при решении новых задач, применяя знания в различных областях науки (техники)
ОПК-5 Способен и готов к повышению квалификации, профессиональному росту и руководству коллективом в сфере своей профессиональной деятельности, толерантно воспринимая социальные, этнические, конфессиональные и культурные различия	ОПК-5.1 Способен работать в коллективе, толерантно воспринимая социальные, этнические, конфессиональные и культурные различия
ПК-1 Способен ставить, формализовывать и решать задачи, в том числе разрабатывать и исследовать математические модели изучаемых явлений и процессов, системно анализировать научные проблемы, получать новые научные результаты	ПК-1.1 Способен находить, анализировать и обобщать информацию об актуальных результатах исследований в рамках тематической области своей профессиональной деятельности
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-3 Способен профессионально работать с исследовательским и испытательным оборудованием (приборами и установками, специализированными пакетами прикладных программ) в избранной предметной области	ПК-3.1 Понимает принципы работы используемого оборудования (специализированных пакетов прикладных программ)

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

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны знать:

- ☐ Постулаты и принципы гидродинамики, методы описания гидродинамических систем, связь состояний и операторов с наблюдаемыми и измеряемыми величинами;
- ☐ основные свойства точно решаемых моделей гидродинамических систем;
- ☐ основные приближенные методы решения задач механики сплошных сред;
- ☐ методы описания сложных и незамкнутых систем;
- ☐ методы и способы описания систем многих частиц в гидродинамической теории;
- ☐ методы описания рассеяния микрочастиц в газах; описание взаимодействия электромагнитного излучения с газами.

уметь:

- ☐ Определять средние значения (физические величины) гидродинамических систем;
- ☐ применять разнообразные приближения для оценки гидродинамических процессов;
- ☐ применять стационарную теорию возмущений для определения распространения звука в океане;
- ☐ вычислять дифференциальные сечения рассеяния наночастиц различными потенциалами;
- ☐ определять возможные сценарии турбулентности.

владеть:

- ☐ Основными методами решения задач различных систем многих тел;
- ☐ навыками теоретического анализа реальных задач, связанных со свойствами микроскопических и наносистем, обладающих как дискретным, так и непрерывным спектрами.

#### 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	Гидродинамика горения газа	2	2		3
2	Звуковые волны.	2	4		3
3	Конвекция и диффузия	2	2		4
4	Одномерное течение газа	2	2		4
5	Плоское течение газа	2	2		4
6	Поверхностные явления	2	2		3
7	Пограничный слой.	2	2		4
8	Теплопередача в жидкости и газе	2	2		4
9	Течение вязкого газа и вязкой жидкости	2	4		4
10	Течение идеальной жидкости и его физическая интерпретация	4	2		4
11	Турбулентность	4	2		4
12	Ударные волны	4	4		4
Итого часов		30	30		45
Подготовка к экзамену		30 час.			
Общая трудоёмкость		135 час., 3 зач.ед.			

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

### 1. Гидродинамика горения газа

Медленное горение. Детонация. Распространение волны детонации. Соотношение между различными режимами горения. Конденсационные скачки.

### 2. Звуковые волны.

Скорость звуковой волны. Энергия и импульс звуковых волн. Распространение звуковых колебаний. Излучение звука колеблющимся телом. Излучение звука пульсирующим телом. Рассеяние звука на препятствиях. Рассеяние звука на малых частицах. Движение тел под действием звука. Звуковые волны при колебаниях температуры излучателя. Распространение звука в трубах. Поглощение звука. Акустическое течение. Геометрическая акустика. Собственные колебания.

### 3. Конвекция и диффузия

Свободная конвекция нагретой жидкости. Конвективная неустойчивость неподвижной жидкости. Восходящие потоки нагретого газа. Коэффициенты диффузии и термодиффузии. Диффузия взвешенных частиц в жидкости.

### 4. Одномерное течение газа

Истечение газа через сопло. Вязкое течение сжимаемого газа по трубе. Одномерное автомодельное течение. Характеристики. Инварианты Римана. Сильный взрыв в атмосфере. Теория мелкой воды.

### 5. Плоское течение газа

Потенциальное течение сжимаемого газа. Сверхзвуковое обтекание угла. Стационарные простые волны. Переход через звуковую скорость. Обтекание со звуковой скоростью. Дозвуковое обтекание тонкого крыла. Сверхзвуковое обтекание крыла.

### 6. Поверхностные явления

Движение жидкости по капиллярам. Формула Лапласа. Капиллярные волны. Влияние адсорбированных на движение жидкости.

### 7. Пограничный слой.

Ламинарный пограничный слой. Устойчивость течения в ламинарном пограничном слое. Логарифмический профиль скорости. Турбулентный пограничный слой. Турбулентное течение в трубах. Кризис сопротивления. Подъемная сила тонкого крыла.

### 8. Теплопередача в жидкости и газе

Распространение теплоты в среде. Нелинейная теплопроводность. Теплопередача при обтекании тел жидкостью. Нагревание тел при обтекании их жидкостью. Теплопередача в ламинарном пограничном слое. Теплопередача в турбулентном пограничном слое.

### 9. Течение вязкого газа и вязкой жидкости

Течение через трубки и поры. Движение тел в жидкости. Ламинарный след. Поглощение энергии в вязкой жидкости. Течение по трубе. Вязкость суспензий. Затухание гравитационных волн.

#### 10. Течение идеальной жидкости и его физическая интерпретация

Обтекание тел жидкостью. Гравитационные волны на поверхности жидкости. Сила сопротивления при потенциальном обтекании. Внутренние волны в воде. Условие отсутствия конвекции.

#### 11. Турбулентность

Развитая турбулентность. Турбулентный след. Релаксация турбулентного течения. Модель Фейгенбаума. Ренормализационные группы. Устойчивость течения по трубе. Странный аттрактор. Теорема Жуковского.

#### 12. Ударные волны

Стационарный поток сжимаемого газа. Ударная адиабата. Слабые ударные волны. Распространение ударной волны по трубе. Ширина ударных волн. Солитонная структура фронта ударной волны. Неустойчивость ударных волн. Слабые разрывы. Косая ударная волна.

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

- а) Необходимое оборудование для лекций и практических занятий: стандартная учебная аудитория. Желательно также применение мультимедийного оборудования (проектор), для лучшей организации лекции.
- б) Необходимое программное обеспечение: не требуется.
- в) Обеспечение самостоятельной работы: наличие учебников и задачников по курсу теоретической физики вообще и квантовой механики в частности в библиотеке института, доступ в Интернет для получения вспомогательного учебного и консультативного материала на сайте кафедры теоретической физики.

### 6. Перечень рекомендуемой литературы

#### Основная литература

1. Теоретическая физика [Текст] : в 10 т. Т. 6 : Гидродинамика : учеб. пособие для вузов : рек. М-вом образования Рос. Федерации / Л. Д. Ландау, Е. М. Лифшиц ; под ред. Л. П. Питаевского .— 5-е изд., стереотип. — 3-е изд., перераб. — М. : Физматлит, 1986, 1988, 2003, 2006 .— 736 с.
2. Качественные методы в физической кинетике и гидрогазодинамике [Текст] : учеб. пособие для вузов / В. П. Крайнов .— М. : Высшая школа, 1989 .— 224 с.
3. Лекции по избранным проблемам механики сплошных сред [Текст] : [учеб. пособие для вузов] / В. П. Крайнов .— Долгопрудный : Интеллект, 2014 .— 120 с.

#### Дополнительная литература

1. Абрикосов, А. А. Основы теории металлов [Текст] : [учеб. пособие для вузов] / А. А. Абрикосов. - 2-е изд., доп. и испр. - М. : Физматлит, 2009, 2010

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

Не используются

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

Не предусмотрено.

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

- Изучение свойств точно решаемых задач-моделей гидродинамических систем;
- изучение приближенных методов решения задач гидродинамики;
- изучение методов описания сложных систем;
- овладение методами гидродинамики для описания свойств различных физических систем.

**ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)**

<b>по направлению:</b>	Прикладные математика и физика
<b>профиль подготовки:</b>	Компьютерное моделирование физических процессов Физтех-школа Аэрокосмических Технологий кафедра теоретической физики им. Л.Д. Ландау
<b>курс:</b>	1
<b>квалификация:</b>	магистр

Семестр, формы промежуточной аттестации: 1 (осенний) - Экзамен

**Разработчик:** В.П. Крайнов, д-р физ.-мат. наук, профессор

## 1. Компетенции, формируемые в процессе изучения дисциплины

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
ОПК-3 Способен выбирать и (или) разрабатывать подходы к решению типовых и новых задач в области профессиональной деятельности, учитывая особенности и ограничения различных методов решения	ОПК-3.2 Способен использовать исследовательские методы при решении новых задач, применяя знания в различных областях науки (техники)
ОПК-5 Способен и готов к повышению квалификации, профессиональному росту и руководству коллективом в сфере своей профессиональной деятельности, толерантно воспринимая социальные, этнические, конфессиональные и культурные различия	ОПК-5.1 Способен работать в коллективе, толерантно воспринимая социальные, этнические, конфессиональные и культурные различия
ПК-1 Способен ставить, формализовывать и решать задачи, в том числе разрабатывать и исследовать математические модели изучаемых явлений и процессов, системно анализировать научные проблемы, получать новые научные результаты	ПК-1.1 Способен находить, анализировать и обобщать информацию об актуальных результатах исследований в рамках тематической области своей профессиональной деятельности
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-3 Способен профессионально работать с исследовательским и испытательным оборудованием (приборами и установками, специализированными пакетами прикладных программ) в избранной предметной области	ПК-3.1 Понимает принципы работы используемого оборудования (специализированных пакетов прикладных программ)

## 2. Показатели оценивания компетенций

В результате изучения дисциплины «Качественные методы гидродинамики» обучающийся должен:

### знать:

- ☐ Постулаты и принципы гидродинамики, методы описания гидродинамических систем, связь состояний и операторов с наблюдаемыми и измеряемыми величинами;
- ☐ основные свойства точно решаемых моделей гидродинамических систем;
- ☐ основные приближенные методы решения задач механики сплошных сред;
- ☐ методы описания сложных и незамкнутых систем;
- ☐ методы и способы описания систем многих частиц в гидродинамической теории;
- ☐ методы описания рассеяния микрочастиц в газах; описание взаимодействия электромагнитного излучения с газами.

### уметь:

- ☐ Определять средние значения (физические величины) гидродинамических систем;
- ☐ применять разнообразные приближения для оценки гидродинамических процессов;
- ☐ применять стационарную теорию возмущений для определения распространения звука в океане;
- ☐ вычислять дифференциальные сечения рассеяния наночастиц различными потенциалами;
- ☐ определять возможные сценарии турбулентности.

### владеть:

- ☐ Основными методами решения задач различных систем многих тел;
- ☐ навыками теоретического анализа реальных задач, связанных со свойствами микроскопических и наносистем, обладающих как дискретным, так и непрерывным спектрами.



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

### **3. Перечень типовых контрольных заданий, используемых для оценки знаний, умений, навыков**

Аттестация по дисциплине «Качественные методы гидродинамики» осуществляется в форме сдачи итогового экзамена после осеннего семестра изучения.

Умения и навыки студентов определяются по итогам сдачи домашних заданий. Типовые задачи и упражнения разбираются на семинарских (практических) занятиях. Аналогичные задачи и упражнения студенты должны решить самостоятельно, используя рекомендованную литературу. Навыки студентов проверяются в результате решения контрольных работ, которые проводятся во время аудиторных занятий. Задачи аналогичны типовым задачам, включенным в домашние задания, как рассмотренных на семинарских (практических) занятиях, так и предлагаемых для самостоятельного решения. Задания контрольных работ оценены в определенную сумму баллов, что позволяет оценить уровень умения и навыков студентов.

Примеры контрольных заданий:

1. Определить основные свойства электронейтральной плазмы
- А. Вычислить поляризационный оператор и радиус экранирования низко температурной плазмы.
- Б. Определить пространственную и временную дисперсию поляризационного оператора в пределе высокой плотности.
- В. Определить поправки к уравнению состояния низко- и высокотемпературной плазмы.

### **3б. Перечень типовых контрольных заданий, используемых для оценки знаний, умений, навыков**

Итоговая экзаменационная оценка выставляется студенту с учетом оценки его работы в семестре, сдачи домашнего задания, защиты курсовой работы.

Экзамен проводится в устной форме.

Билеты могут состоять из 3 – 5 относительно простых вопросов и вопроса (вопросов) повышенной сложности. Простые вопросы оценивают уровень знаний. Сложные вопросы оценивают уровень умений и навыков.

Пример билета с вопросами разного уровня:

1. Вычислить амплитуду туннельного тока для случая контакта двух одинаковых сверхпроводников.
2. Найти уравнение состояния для модели Хаббарда с бесконечным отталкиванием.
3. Вычислить амплитуду рассеяния спиновых волн в приближении Борна-Дайсона.
4. Записать лестничное уравнение для двух возбуждений с противоположным знаком проекции спина, относящихся к нижней хаббардовской зоне.

Ответ студента оценивается по 10-балльной шкале.

### **4б. Критерии оценивания**

Студенты, получившие за работу в семестре к началу экзаменационной сессии оценку «неудовлетворительно» (менее 30% усвоения материала), считаются не усвоившими материал и не выполнившими задания курса, поэтому к экзамену не допускаются. Студенты, ответившие на 4 вопроса, получает оценку «отлично» (8).

Итоговая оценка выставляется в соответствии со схемой:

Оценка	Баллы	Критерии
Отлично	10	10 баллов за экзамен и оценка за работу в семестре не ниже 8. 9 баллов за экзамен и 10 баллов за работу в семестре
	9	9 баллов за экзамен и оценка за работу в семестре не ниже 8.
	8	8 баллов за экзамен и оценка за работу в семестре не ниже 6. 7 баллов за экзамен и более 8 баллов за работу в семестре
Хорошо	7	7 баллов за экзамен и оценка за работу в семестре не ниже 5. 6 баллов за экзамен и более 8 баллов за работу в семестре
	6	6 баллов за экзамен и оценка за работу в семестре не ниже 5. 5 баллов за экзамен и более 7 баллов за работу в семестре
	5	5 баллов за экзамен и оценка за работу в семестре не ниже 3.
удовлетворительно	4	4 балла за экзамен и оценка за работу в семестре не ниже 3.
	3	3 балла за экзамен и оценка за работу в семестре 3.
неудовлетворительно	2	2 балла за экзамен и оценка за работу в семестре 3.
	1	1 балл за экзамен и оценка за работу в семестре 3.

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

Студенты, допущенные к экзамену, отвечают на вопросы билета, имея возможность на подготовку не менее 1 часа. Ответы представляются в письменном виде, по которым проводится устное собеседование.

Оценка за ответ на билет выставляется в соответствии со следующим критериями:

Студент, ответивший правильно

на 1 вопрос, получает оценку «неудовл» (1);

на 2 вопроса, получает оценку «удовл» (3) или (4), в зависимости от полноты правильных ответов и ответов на другие вопросы;

на 3 вопроса, получает оценку «хорошо» (5), (6) или (7), в зависимости от полноты правильных ответов и ответов на другие вопросы;

на 4 вопроса, получает оценку «отлично» (8), (9) или (10), в зависимости от полноты правильных ответов и ответов на другие вопросы;

Во время проведения экзамена студенты могут пользоваться программой дисциплины и сборниками домашних заданий. Учебной, учебно-методической и справочной литературой пользоваться во время экзамена не допускается. Во время экзамена должны быть также выключены мобильные телефоны.

Перед началом экзаменационной сессии студенты получают перечень вопросов, ответы на которые необходимо знать для успешной сдачи экзамена. Формулировки вопросов в билетах студенты узнают во время консультаций.

Студенты, получившие итоговую оценку «отлично» (10) и решившие и защитившие задачи повышенной сложности домашнего задания, могут получить дополнительные зачетные единицы по курсу.