

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Московский физико-технический институт  
(национальный исследовательский университет)»

УТВЕРЖДЕНО  
Проректор по учебной работе  
А. А. Воронов  
15 июня 2021 г.

## ПРОГРАММА

по дисциплине: Качественные методы гидродинамики

по направлению подготовки:

03.04.01 «Прикладные математика и физика»,

14.04.02 «Ядерная физика и технологии»

16.04.01 «Техническая физика»

физтех-школа: ФАКТ, ФРКТ, ЛФИ

кафедра теоретической физики

курс: 1 (магистратура)

семестр: 1

Трудоемкость:

лекции – 30 часов

Экзамен – 1 семестр

практические (семинарские)

занятия – 30 часов

Курсовые и контрольные работы – 4

ВСЕГО АУДИТОРНЫХ ЧАСОВ – 60

Самостоятельная работа  
– 45 часов

Программу и задание составил д.ф.-м.н., проф.

В. П. Крайнов

Программа принята на заседании

кафедры теоретической физики

28 мая 2021 года

Заведующий кафедрой

Ю. М. Белоусов

д.ф.-м.н., профессор

**КАЧЕСТВЕННЫЕ МЕТОДЫ ГИДРОДИНАМИКИ**

## 1. Течение идеальной жидкости

- 1.1. Обтекание тел жидкостью.
- 1.2. Гравитационные волны на поверхности жидкости.
- 1.3. Сила сопротивления при потенциальном обтекании.
- 1.4. Внутренние волны в воде.
- 1.5. Условие отсутствия конвекции.

## 2. Течение вязкого газа и вязкой жидкости

- 2.1. Течение через трубки и поры.
- 2.2. Движение тел в жидкости.
- 2.3. Ламинарный след.
- 2.4. Поглощение энергии в вязкой жидкости.
- 2.5. Течение по трубе.
- 2.6. Вязкость суспензий.
- 2.7. Затухание гравитационных волн.

## 3. Турбулентность

- 3.1. Развитая турбулентность.
- 3.2. Турбулентный след.
- 3.3. Релаксация турбулентного течения.
- 3.4. Модель Фейгенбаума.
- 3.5. Ренормализационные группы.
- 3.6. Устойчивость течения по трубе.
- 3.7. Странный аттрактор.
- 3.8. Теорема Жуковского.

## 4. Пограничный слой

- 4.1. Ламинарный пограничный слой.
- 4.2. Устойчивость течения в ламинарном пограничном слое.
- 4.3. Логарифмический профиль скоростей.
- 4.4. Турбулентный пограничный слой.
- 4.5. Турбулентное течение в трубах.
- 4.6. Кризис сопротивления.
- 4.7. Подъемная сила тонкого крыла.

## 5. Теплопередача в жидкости и газе

- 5.1. Распространение теплоты в среде.
- 5.2. Нелинейная теплопроводность.
- 5.3. Теплопередача при обтекании тел жидкости.
- 5.4. Нагревание тел при обтекании их жидкостью.
- 5.5. Теплопередача в ламинарном пограничном слое.
- 5.6. Теплопередача в турбулентном пограничном слое.

## 6. Конвекция и диффузия

- 6.1. Свободная конвекция нагретой жидкости.
- 6.2. Конвективная неустойчивость неподвижной жидкости.
- 6.3. Восходящие потоки нагретого газа.
- 6.4. Коэффициенты диффузии и термодиффузии.
- 6.5. Диффузия взвешенных частиц в жидкости.

## 7. Поверхностные явления

- 7.1. Движение жидкости по капиллярам.
- 7.2. Формула Лапласа.
- 7.3. Капиллярные волны.
- 7.4. Влияние адсорбированных пленок на движение жидкости.

## 8. Звуковые волны

- 8.1. Скорость звуковой волны.
- 8.2. Энергия и импульс звуковых волн.
- 8.3. Распространение звуковых колебаний.
- 8.4. Излучение звука колеблющимся телом.
- 8.5. Излучение звука пульсирующим телом.
- 8.6. Рассеяние звука на препятствиях.
- 8.7. Рассеяние звука на малых частицах.
- 8.8. Движение тел под действием звука.
- 8.9. Звуковые волны при колебаниях температуры излучателя.
- 8.10. Распространение звука в трубках.
- 8.11. Поглощение звука.
- 8.12. Акустическое течение.
- 8.13. Геометрическая акустика.
- 8.14. Собственные колебания.

## 9. Ударные волны

- 9.1. Стационарный поток сжимаемого газа.
- 9.2. Ударная адиабата.
- 9.3. Слабые ударные волны.
- 9.4. Распространение ударной волны по трубе.
- 9.5. Ширина ударных волн.
- 9.6. Солитонная структура фронта ударной волны.
- 9.7. Неустойчивость ударных волн.
- 9.8. Слабые разрывы.
- 9.9. Косая ударная волна.

## 10. Одномерное течение газа

- 10.1. Истечение газа через сопло.
- 10.2. Вязкое течение сжимаемого газа по трубе.
- 10.3. Одномерное автомодельное движение.
- 10.4. Характеристики.
- 10.5. Инварианты Римана.
- 10.6. Сильный взрыв в атмосфере.
- 10.7. Теория мелкой воды.

#### 11. Плоское течение газа

- 11.1. Потенциальное течение сжимаемого газа.
- 11.2. Сверхзвуковое обтекание угла.
- 11.3. Стационарные простые волны.
- 11.4. Переход через звуковую скорость.
- 11.5. Обтекание со звуковой скоростью.
- 11.6. Дозвуковое обтекание тонкого крыла.
- 11.7. Сверхзвуковое обтекание крыла.

#### 12. Гидродинамика горения

- 12.1. Медленное горение.
- 12.2. Детонация.
- 12.3. Распространение волны детонации.
- 12.4. Соотношение между различными режимами горения.
- 12.5. Конденсационные скачки.

### Литература

1. *Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М.* Гидродинамика. Изд. 5-е. – Москва : Физматлит, 2006.
2. *Крайнов В.П.* Качественные методы в физической кинетике и гидрогазодинамике. – Москва : Высшая школа, 1989.
3. *Крайнов В.П.* Лекции по избранным проблемам механики сплошных сред. – Долгопрудный : ИД «Интеллект», 2014.

### ЗАДАНИЕ

1. Жидкость вытекает из наклонного желоба под действием силы тяжести. Оценить расход жидкости.
2. Оценить максимальную силу удара при вертикальном падении тела в жидкость.

3. Определить форму и размеры стеклянного сосуда в виде тела вращения, используемого в качестве песочных часов, которые бы работали несколько часов.
4. Человек с плотностью, немного превышающей плотность воды, начинает тонуть. Найти начальное ускорение человека при этом процессе.
5. Вода вращается ложечкой в стакане. Оценить глубину образующейся воронки.
6. При подводном взрыве выделилась энергия  $E$  и образовался газовый пузырь. Оценить период пульсаций пузыря.
7. Капля воды при дожде испытывает квадрупольные пульсации. Оценить их период.
8. Температура воздуха над некоторой горизонтальной границей в атмосфере выше температуры воздуха под этой границей на малую величину. Получить закон дисперсии для гравитационных волн, распространяющихся вдоль границы раздела сред.
9. Оценить массовый расход вязкого газа при адиабатическом течении через длинную трубку под действием большого перепада давления.
10. Широкая труба, заполненная жидкостью, начинает двигаться вдоль своей оси с малой скоростью. При этом она начинает увлекать за собой жидкость. Определить, по какому закону сила трения, действующая на единицу внутренней поверхности трубы, уменьшается со временем.
11. Горизонтальная пластина находится в жидкости на малом расстоянии от дна. Под действием силы тяжести пластина опускается, выдавливая жидкость из зазора. Оценить скорость пластины при этом процессе.
12. В поток жидкости, движущейся с некоторой скоростью, вводится частица определенного размера  $a$ . На каком расстоянии частица приобретет скорость жидкости, увлекаясь ей?
13. Слой жидкости скатывается по наклонному желобу под действием силы тяжести. Оценить расход жидкости.
14. Показать, что течение жидкости внутри ламинарного следа является вихревым.
15. Показать, что средняя скорость ламинарного течения вне затопленной струи мала по сравнению со скоростью турбулентного течения внутри этой струи при сравнимых расстояниях от нее.
16. Показать, что продольная скорость жидкости вне турбулентного следа падает с расстоянием от обтекаемого тела значительно быстрее, чем внутри турбулентного следа.
17. Показать, что при турбулентном течении в шероховатых трубах диссипация энергии определяется отношением размера бугорков шероховатости к радиусу трубы.

18. Почему увеличение сжимаемости жидкости затрудняет турбулентность пограничного слоя?
19. Почему градиент давления в газе не приводит к переносу тепла?
20. Объяснить, почему вода не расширяется, а сжимается при нагревании от нуля до четырех градусов Цельсия.
21. При каком градиенте температуры воздуха в атмосфере возникает свободная конвекция?
22. Горячая турбулентная затопленная струя воздуха бьет из отверстия. По какому закону она изгибается вверх под действием силы Архимеда?
23. Из воды с небольшой концентрацией мыла выдувается мыльный пузырь. Оценить его максимальный размер.
24. Выразить коэффициент поверхностного натяжения жидкости через ее теплоту парообразования.
25. При каком радиусе дождевой капли она разлетается на мелкие капельки?
26. Почему появляется рябь впереди человека, который плывет с небольшой скоростью в воде?
27. Почему в жидкости скорость звука увеличивается с увеличением давления при постоянной температуре, в отличие от идеального газа?
28. Оценить силу удара дождевой капли по зонтику.
29. Показать, что рассеяние звука на малых частицах, связанное теплопроводности среды, изотропно.
30. С какой минимальной скоростью должен бежать человек по воде, чтобы не утонуть?
31. Каково наиболее оптимальное расстояние между рамами окна для подавления теплопередачи?
32. Как зависит теплопроводность воздуха от температуры при низких температурах?
33. Оценить коэффициент поглощения звука в тумане.
34. Почему при вытекании воды из отверстия в дне ванны, заполненной водой, возникает вращательное движение воды?
35. С какой скоростью поднимаются пузырьки пара в кипящем чайнике?
36. За какое время молекула воздуха при комнатной температуре и нормальном давлении сделает полный оборот?
37. Почему в жидкости коэффициент поглощения звука гораздо меньше, чем в газе (при той же частоте)?
38. За какое время пылинка в воздухе сделает полный оборот вокруг своей оси?
39. Определить температуру кипения воды в кофе-машине при давлении 15 атмосфер.

40. стакан с водой стоит на платформе. Как нагревается вода со временем при вертикальном дрожании платформы?

Срок сдачи 1-го задания (задачи 1–12): 18.10 – 25.10. 2021 г.

Срок сдачи 2-го задания (задачи 13–24): 06.12 – 13.12. 2021 г.

Подписано в печать 15.06.2021. Формат 60 × 84 <sup>1</sup>/<sub>16</sub>.

Усл. печ. л. 0,5. Уч.-изд. л. 0,4. Тираж 80 экз. Заказ № 103.

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

Тел.: +7(495)408-58-22, e-mail: [rio@mipt.ru](mailto:rio@mipt.ru)

---

Отдел оперативной полиграфии «Физтех-полиграф»

141700, Моск. обл., г. Долгопрудный, Институтский пер., 9

Тел.: +7(495)408-84-30, e-mail: [polygraph@mipt.ru](mailto:polygraph@mipt.ru)