

**МИНОБРНАУКИ РОССИИ**

**Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования "Пермский  
государственный национальный исследовательский  
университет"**

**Кафедра общей физики**

Авторы-составители: **Бабушкин Игорь Аркадьевич  
Фрик Петр Готлобович  
Полудницин Анатолий Николаевич**

Рабочая программа дисциплины

**ТУРБУЛЕНТНОСТЬ**

Код УМК 56134

Утверждено  
Протокол №9  
от «19» мая 2020 г.

Пермь, 2020

## **1. Наименование дисциплины**

Турбулентность

## **2. Место дисциплины в структуре образовательной программы**

Дисциплина входит в вариативную часть Блока « Б.1 » образовательной программы по направлениям подготовки (специальностям):

Направление: **03.03.02** Физика

направленность Фундаментальная физика

### **3. Планируемые результаты обучения по дисциплине**

В результате освоения дисциплины **Турбулентность** у обучающегося должны быть сформированы следующие компетенции:

**03.03.02** Физика (направленность : Фундаментальная физика)

**ОПК.7** способность использовать базовые теоретические знания фундаментальных разделов общей и теоретической физики для решения профессиональных задач

**ОПК.8** способность использовать в профессиональной деятельности базовые знания фундаментальных разделов математики, создавать математические модели типовых профессиональных задач и интерпретировать полученные результаты с учетом границ применимости моделей

**ПК.1** способность использовать специализированные знания в области физики для освоения профильных физических дисциплин

#### 4. Объем и содержание дисциплины

<b>Направления подготовки</b>	03.03.02 Физика (направленность: Фундаментальная физика)
<b>форма обучения</b>	очная
<b>№№ триместров, выделенных для изучения дисциплины</b>	10,11
<b>Объем дисциплины (з.е.)</b>	7
<b>Объем дисциплины (ак.час.)</b>	252
<b>Контактная работа с преподавателем (ак.час.), в том числе:</b>	98
<b>Проведение лекционных занятий</b>	42
<b>Проведение практических занятий, семинаров</b>	0
<b>Проведение лабораторных работ, занятий по иностранному языку</b>	56
<b>Самостоятельная работа (ак.час.)</b>	154
<b>Формы текущего контроля</b>	Входное тестирование (1) Защищаемое контрольное мероприятие (4) Итоговое контрольное мероприятие (2)
<b>Формы промежуточной аттестации</b>	Зачет (10 триместр) Экзамен (11 триместр)

## 5. Аннотированное описание содержания разделов и тем дисциплины

### **Турбулентность. Первый семестр**

Базовый курс.

#### **Введение**

Вводные замечания. Содержание курса, требования, форма отчетности.  
Уравнение Навье-Стокса и проблема описания турбулентных течений.

#### **Хаос в динамических системах**

Понятие сценария перехода. Сценарий Ландау. Сценарий Рюэля-Таккенса. Субгармонический каскад. Примеры гидродинамических систем низкого порядка, характеризующихся хаотическим поведением.

#### **Основные понятия качественной теории диф. уравнений**

Фазовое пространство, аттракторы, бифуркации. Консервативные и диссипативные системы. Методы исследования поведения систем: корфункции, спектры, сечения Пуанкаре, показатели Ляпунова. Фракталы. Фрактальная размерность. Обобщенная размерность. Странные аттракторы. Определение размерности аттракторов реальных систем.

#### **Сценарии перехода от порядка к хаосу**

Понятие сценария перехода. Сценарий Ландау. Сценарий Рюэля-Таккенса. Субгармонический каскад. Примеры гидродинамических систем низкого порядка, характеризующихся хаотическим поведением.

#### **Подход Рейнольдса и полуэмпирические модели турбулентности**

Подход Рейнольдса. Уравнение Рейнольдса. Статистические моменты случайных полей.  
Цепочка уравнений Фрийдмана-Келлера. Проблема замыкания.  
Гипотеза Буссинеска для тензора Рейнольдса. Турбулентная вязкость. Путь смещения Прандтля.  
Модели переноса турбулентной вязкости.  
Двухпараметрические модели.  
Проблема генерации магнитных полей потоками проводящей жидкости. МГД-динамо. Уравнение индукции магнитного поля для осредненных полей в движущейся турбулентной среде. Альфа и бета эффекты.

#### **Уравнение Рейнольдса**

Подход Рейнольдса. Уравнение Рейнольдса. Статистические моменты случайных полей.  
Цепочка уравнений Фрийдмана-Келлера. Проблема замыкания.

#### **Полуэмпирические модели**

Гипотеза Буссинеска для тензора Рейнольдса. Турбулентная вязкость. Путь смещения Прандтля.  
Модели переноса турбулентной вязкости.  
Двухпараметрические модели.

#### **Магнитное поле в турбулентной среде**

Проблема генерации магнитных полей потоками проводящей жидкости. МГД-динамо. Уравнение индукции магнитного поля для осредненных полей в движущейся турбулентной среде. Альфа и бета эффекты.

#### **Подход Колмогорова и теория однородной и изотропной турбулентности**

Однородная изотропная турбулентность. Баланс энергии по масштабам. Инерционный интервал. Каскад энергии. Скорость диссипации энергии. Закон Колмогорова-Обухова, как результат анализа размерностей. Структурные функции высших порядков. Двухточечные корреляционные функции. Уравнения Кармана-Ховарда. Закон

Колмогорова для структурной функции третьего порядка - точный результат уравнений К-Х. Перемежаемость. Локально-однородная турбулентность. Теория Колмогорова (1962): Гипотеза подобия. Логнормальное распределение.

Бета-модель - простая монофрактальная модель турбулентности. Бифрактальная модель. Мультифрактальные модели. Мультифрактальный спектр и его связь с обобщенной размерностью. Модель Ше-Левека (три гипотезы и результат). Расширенная автомодельность (ESS). Обобщенная модель Ше-Левека-Дюбрьоль. Лог-Пуассоновское распределение.

### **Однородная и изотропная турбулентность**

Однородная изотропная турбулентность. Баланс энергии по масштабам. Инерционный интервал. Каскад энергии. Скорость диссипации энергии. Закон Колмогорова-Обухова, как результат анализа размерностей. Структурные функции высших порядков. Двухточечные корреляционные функции. Уравнения Кармана-Ховарда. Закон Колмогорова для структурной функции третьего порядка - точный результат уравнений К-Х.

### **Локально-однородная турбулентность**

Перемежаемость. Локально-однородная турбулентность. Теория Колмогорова (1962): Гипотеза подобия. Логнормальное распределение.

### **Фрактальные модели турбулентности**

Бета-модель - простая монофрактальная модель турбулентности. Бифрактальная модель. Мультифрактальные модели. Мультифрактальный спектр и его связь с обобщенной размерностью.

### **Лог-Пуассоновские модели**

Модель Ше-Левека (три гипотезы и результат). Расширенная автомодельность (ESS). Обобщенная модель Ше-Левека-Дюбрьоль. Лог-Пуассоновское распределение.

### **лабораторная работа "спектральный анализ двумерных полей"**

спектральный анализ двумерных полей, структурные функции, пространственные спектры Фурье, изменения спектров, вейвлет анализ.

### **лабораторная работа "измерение спектральных характеристик пульсаций температуры в турбулентном факеле"**

корреляционные функции, Фурье анализ, структурные функции

### **Турбулентность. Второй семестр**

Научиться проводить спектральный анализ временных рядов, регистрируемых в экспериментах с турбулентными потоками. Получить навык вычислений корреляционных функций и спектров на примере обработки результатов измерений пульсаций температуры в турбулентном конвективном факеле.

### **Введение**

Научиться проводить спектральный анализ временных рядов, регистрируемых в экспериментах с турбулентными потоками. Получить навык вычислений корреляционных функций и спектров на примере обработки результатов измерений пульсаций температуры в турбулентном конвективном факеле.

Изучить методы анализа изотропности пространственной структуры мелкомасштабной турбулентности. Провести анализ изотропности поля пульсаций градиента температуры в турбулентном конвективном

течении в замкнутой полости.

### **Подход Колмогорова и теория однородной и изотропной турбулентности**

Изучить методы анализа изотропности пространственной структуры мелкомасштабной турбулентности. Провести анализ изотропности поля пульсаций градиента температуры в турбулентном конвективном течении в замкнутой полости.

### **Двумерная турбулентность**

Законы сохранения в трехмерной и двумерной гидродинамике.

Каскадные процессы в двумерной турбулентности. Инерционные интервалы переноса энергии и энтропии. Спектральные законы Крейчнана-Колмогорова.

Квазидвумерные течения. Лабораторные эксперименты. Численные эксперименты. Перемежаемость в двумерной турбулентности. Когерентные структуры. Проверка моделей перемежаемости.

### **Пассивные и активные примеси**

Перемешивание пассивных примесей турбулентным потоком. Спектральные свойства пульсаций примеси при различных числах Прандтля.

Турбулентность, вызванная неоднородностью температуры. Спектральные свойства конвективной турбулентности. Интервал Обухова. Масштаб Болджиано. Особенности двумерной конвективной турбулентности.

### **Иерархические модели**

Конечномерные представления уравнений Навье-Стокса. Спектральные и сеточные методы (преимущества и недостатки). Принципы построения специального базиса для

описания турбулентности. Одномерный иерархический базис (функции Литлвуда-Пелли). Двух и трехмерные базисы.

Иерархические модели. Иерархические функции и вейвлеты. Численное решение уравнений гидродинамики с помощью вейвлет-базисов. Иерархическая модель двумерной турбулентности.

### **Каскадные модели турбулентности**

Принципы построения каскадных (оболочечных) моделей развитой турбулентности. Коллективные переменные. Системы гидродинамического типа. Модели, допускающие один интеграл движения.

Модели типа Новикова-Деснянского.

Модели с двумя интегралами движения. Модель GOY. Решения и законы сохранения.

Временная перемежаемость, ее сходство и различия с пространственной перемежаемостью турбулентности. Каскадные модели МГД-турбулентности и турбулентной конвекции.

### **лабораторная работа " измерение анизотропии турбулентных пульсаций "**

пульсации градиента температуры

### **лабораторная работа " измерение пульсаций скорости в турбулентном потоке "**

пульсации скорости в турбулентном потоке

## **6. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины**

Освоение дисциплины требует систематического изучения всех тем в той последовательности, в какой они указаны в рабочей программе.

Основными видами учебной работы являются аудиторские занятия. Их цель - расширить базовые знания обучающихся по осваиваемой дисциплине и систему теоретических ориентиров для последующего более глубокого освоения программного материала в ходе самостоятельной работы. Обучающемуся важно помнить, что контактная работа с преподавателем эффективно помогает ему овладеть программным материалом благодаря расстановке необходимых акцентов и удержанию внимания интонационными модуляциями голоса, а также подключением аудио-визуального механизма восприятия информации.

Самостоятельная работа преследует следующие цели:

- закрепление и совершенствование теоретических знаний, полученных на лекционных занятиях;
- формирование навыков подготовки текстовой составляющей информации учебного и научного назначения для размещения в различных информационных системах;
- совершенствование навыков поиска научных публикаций и образовательных ресурсов, размещенных в сети Интернет;
- самоконтроль освоения программного материала.

Обучающемуся необходимо помнить, что результаты самостоятельной работы контролируются преподавателем во время проведения мероприятий текущего контроля и учитываются при промежуточной аттестации.

Обучающимся с ОВЗ и инвалидов предоставляется возможность выбора форм проведения мероприятий текущего контроля, альтернативных формам, предусмотренным рабочей программой дисциплины. Предусматривается возможность увеличения в пределах 1 академического часа времени, отводимого на выполнение контрольных мероприятий.

Процедура оценивания результатов обучения инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья по дисциплине предусматривает предоставление информации в формах, адаптированных к ограничениям их здоровья и восприятия информации.

При проведении текущего контроля применяются оценочные средства, обеспечивающие передачу информации, от обучающегося к преподавателю, с учетом психофизиологических особенностей здоровья обучающихся.

## **7. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине**

При самостоятельной работе обучающимся следует использовать:

- конспекты лекций;
- литературу из перечня основной и дополнительной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины (модуля);
- текст лекций на электронных носителях;
- ресурсы информационно-телекоммуникационной сети "Интернет", необходимые для освоения дисциплины;
- лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение из перечня информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине;
- методические указания для обучающихся по освоению дисциплины.



## 8. Перечень основной и дополнительной учебной литературы

### Основная:

1. Маслов, А. А. Динамика вязкого газа, турбулентность и струи : учебное пособие / А. А. Маслов, С. Г. Миронов. — Новосибирск : Новосибирский государственный технический университет, 2010. — 214 с. — ISBN 978-5-7782-1434-7. — Текст : электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS : [сайт]. <http://www.iprbookshop.ru/45366>
2. Пергамент М. И. Методы исследований в экспериментальной физике: учебное пособие для студентов вузов, обучающихся по направлению "Прикладные математика и физика"/М. И. Пергамент.- Долгопрудный:Издательский дом "Интеллект",2010, ISBN 978-5-91559-026-6.-300.-Библиогр. в конце гл.

### Дополнительная:

1. Фрик П. Г. Турбулентность : подходы и модели/П. Г. Фрик.-М.- Ижевск:Ин-т компьютерных исслед.,2003, ISBN 5-93972-269-5.-292.-Библиогр.: с. 286-291
2. Свиридов В.Г., Основы автоматизации теплофизического эксперимента : учебное пособие для вузов / Свиридов В.Г., Свиридов Е.В. Филаретов Г.Ф. и др. - М. : Издательский дом МЭИ, 2019. - ISBN 978-5-383-01395-3 - Текст : электронный // ЭБС "Консультант студента" : [сайт]. <https://elis.psu.ru/node/590308>
3. Давыдова М. А. Лекции по гидродинамике:[для вузов по специальности "Физика"]/М.А. Давыдова.- Москва:ФИЗМАТЛИТ,2011, ISBN 978-5-9221-1303-8.-215.-Библиогр.: с. 212. - Предм. указ.: с. 213-215

## 9. Перечень ресурсов сети Интернет, необходимых для освоения дисциплины

<https://cfd.spbstu.ru/agarbaruk/papers/books/> Моделирование турбулентности

<http://cfd.mace.manchester.ac.uk/ercoftac/> ERCOFTAC "Classic Collection" Database

<https://cfd.spbstu.ru/agarbaruk/papers/books/> Моделирование турбулентности Сайт со ссылками на учебные пособия и книги по турбулентности

<http://cfd.mace.manchester.ac.uk/ercoftac/> ERCOFTAC "Classic Collection" Database коллекция экспериментов с турбулентными потоками, базы данных измерений

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

Образовательный процесс по дисциплине **Турбулентность** предполагает использование следующего программного обеспечения и информационных справочных систем:

- презентационные материалы (слайды по темам лекционных и практических занятий);
- доступ в режиме on-line в Электронную библиотечную систему (ЭБС);
- доступ в электронную информационно-образовательную среду университета;
- интернет-сервисы и электронные ресурсы (поисковые системы, электронная почта, профессиональные тематические чаты и форумы, системы аудио и видео конференций, онлайн энциклопедии и т.д.).

Программное обеспечение:

- Пакет Microsoft Windows Professional Rus + Service Pack 2 OEM software;
- Microsoft Office Pro 2003 Win32 Rus + Service Pack 2 OEM software;
- Исполняемые модули программ для ЛАД-05;
- Пакет Actual Flow;
- Apache Open Office.

При освоении материала и выполнения заданий по дисциплине рекомендуется использование материалов, размещенных в Личных кабинетах обучающихся ЕТИС ПГНИУ ([student.psu.ru](http://student.psu.ru)).

При организации дистанционной работы и проведении занятий в режиме онлайн могут использоваться:

система видеоконференцсвязи на основе платформы BigBlueButton (<https://bigbluebutton.org/>).

система LMS Moodle (<http://e-learn.psu.ru/>), которая поддерживает возможность использования текстовых материалов и презентаций, аудио- и видеоконтент, а так же тесты, проверяемые задания, задания для совместной работы.

система тестирования Indigo (<https://indigotech.ru/>).

## 11. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине

1. Лекционные занятия.

Аудитория, оснащенная презентационной техникой (проектор, экран для проектора, компьютер/ноутбук) с соответствующим программным обеспечением, меловой (и) или маркерной доской.

2. Лабораторные занятия.

Лаборатория «Оптические методы в гидродинамике», оснащенная специализированным оборудованием. Состав оборудования определен в Паспорте лаборатории.

3. Групповые (индивидуальные) консультации.

Аудитория, оснащенная презентационной техникой (проектор, экран, компьютер/ноутбук) с соответствующим программным обеспечением, меловой (и) или маркерной доской.

#### 4. Текущий контроль.

Аудитория, оснащенная презентационной техникой (проектор, экран, компьютер/ноутбук) с соответствующим программным обеспечением, меловой (и) или маркерной доской.

#### 5. Самостоятельная работа.

Аудитория для самостоятельной работы, оснащенный компьютерной техникой с возможностью подключения к сети «Интернет», обеспеченный доступом в электронную информационно-образовательную среду университета. Помещения Научной библиотеки ПГНИУ.

Помещения научной библиотеки ПГНИУ для обеспечения самостоятельной работы обучающихся:

1. Научно-библиографический отдел, корп.1, ауд. 142. Оборудован 3 персональными компьютера с доступом к локальной и глобальной компьютерным сетям.

2. Читальный зал гуманитарной литературы, корп. 2, ауд. 418. Оборудован 7 персональными компьютерами с доступом к локальной и глобальной компьютерным сетям.

3. Читальный зал естественной литературы, корп.6, ауд. 107а. Оборудован 5 персональными компьютерами с доступом к локальной и глобальной компьютерным сетям.

4. Отдел иностранной литературы, корп.2 ауд. 207. Оборудован 1 персональным компьютером с доступом к локальной и глобальной компьютерным сетям.

5. Библиотека юридического факультета, корп.9, ауд. 4. Оборудована 11 персональными компьютерами с доступом к локальной и глобальной компьютерным сетям.

6. Читальный зал географического факультета, корп.8, ауд. 419. Оборудован 6 персональными компьютерами с доступом к локальной и глобальной компьютерным сетям.

Все компьютеры, установленные в помещениях научной библиотеки, оснащены следующим программным обеспечением:

Операционная система ALT Linux;

Офисный пакет Libreoffice.

Справочно-правовая система «КонсультантПлюс»

**Фонды оценочных средств для аттестации по дисциплине  
Турбулентность**

**Планируемые результаты обучения по дисциплине для формирования компетенции и  
критерии их оценивания**

<b>Компетенция</b>	<b>Планируемые результаты обучения</b>	<b>Критерии оценивания результатов обучения</b>
<p><b>ОПК.7</b> способность использовать базовые теоретические знания фундаментальных разделов общей и теоретической физики для решения профессиональных задач</p>	<p>способность использовать знание основ теории хаоса в динамических системах в будущей профессиональной деятельности для решения практических задач</p>	<p align="center"><b>Неудовлетворител</b> незнание основ. <b>Удовлетворительн</b> знание основ теории хаоса в динамических системах и подхода Рейнольдса <b>Хорошо</b> знание теории хаоса в динамических системах и подхода Рейнольдса <b>Отлично</b> отличное знание теории хаоса в динамических системах и подхода Рейнольдса</p>
<p><b>ОПК.8</b> способность использовать в профессиональной деятельности базовые знания фундаментальных разделов математики, создавать математические модели типовых профессиональных задач и интерпретировать полученные результаты с учетом границ применимости моделей</p>	<p>способность использовать Подход Колмогорова и теорию однородной и изотропной турбулентности в будущей профессиональной деятельности для решения практических задач, создания математических моделей типовых профессиональных задач и интерпретировать полученные результаты с учетом границ применимости моделей.</p>	<p align="center"><b>Неудовлетворител</b> незнание основ теории Колмогорова и современных моделей мелкомасштабной турбулентности <b>Удовлетворительн</b> знание основ теории Колмогорова <b>Хорошо</b> знание основ теории Колмогорова и современных моделей мелкомасштабной турбулентности <b>Отлично</b> отличное знание основ теории Колмогорова и современных моделей мелкомасштабной турбулентности</p>
<p><b>ПК.1</b> способность использовать специализированные знания в области физики для освоения профильных физических дисциплин</p>	<p>способность использовать Подход Колмогорова, теорию однородной и изотропной турбулентности и современные модели мелкомасштабной турбулентности в будущей профессиональной деятельности для решения</p>	<p align="center"><b>Неудовлетворител</b> отсутствие базовых знаний по основным пунктам программы <b>Удовлетворительн</b> знание основ подхода Рейнольдса и подхода Колмогорова <b>Хорошо</b> знание основ теории, хаоса, подхода</p>

<b>Компетенция</b>	<b>Планируемые результаты обучения</b>	<b>Критерии оценивания результатов обучения</b>
	профессиональных задач.	<p style="text-align: center;"><b>Хорошо</b></p> <p>Рейнольдса, теории Колмогорова, современных моделей мелкомасштабной турбулентности</p> <p style="text-align: center;"><b>Отлично</b></p> <p>отличное знание основ теории, хаоса, подхода Рейнольдса, теории Колмогорова, современных моделей мелкомасштабной турбулентности</p>

## Оценочные средства текущего контроля и промежуточной аттестации

Схема доставки : Базовая

**Вид мероприятия промежуточной аттестации :** Зачет

**Способ проведения мероприятия промежуточной аттестации :** Оценка по дисциплине в рамках промежуточной аттестации определяется на основе баллов, набранных обучающимся на контрольных мероприятиях, проводимых в течение учебного периода.

**Максимальное количество баллов :** 100

### Конвертация баллов в отметки

«отлично» - от 81 до 100

«хорошо» - от 61 до 80

«удовлетворительно» - от 46 до 60

«неудовлетворительно» / «незачтено» менее 46 балла

Компетенция	Мероприятие текущего контроля	Контролируемые элементы результатов обучения
Входной контроль	Введение Входное тестирование	уравнение непрерывности, уравнение Эйлера, закон подобия, приближение Буссенеска, условия устойчивости гидродинамических течений, основные уравнения магнитной гидродинамики

Компетенция	Мероприятие текущего контроля	Контролируемые элементы результатов обучения
<p><b>ПК.1</b> способность использовать специализированные знания в области физики для освоения профильных физических дисциплин</p> <p><b>ОПК.7</b> способность использовать базовые теоретические знания фундаментальных разделов общей и теоретической физики для решения профессиональных задач</p> <p><b>ОПК.8</b> способность использовать в профессиональной деятельности базовые знания фундаментальных разделов математики, создавать математические модели типовых профессиональных задач и интерпретировать полученные результаты с учетом границ применимости моделей</p>	<p>Сценарии перехода от порядка к хаосу</p> <p><b>Защищаемое контрольное мероприятие</b></p>	<p>Основные понятия качественной теории диф.уравнений. Сценарии перехода от порядка к хаосу.</p>

Компетенция	Мероприятие текущего контроля	Контролируемые элементы результатов обучения
<p><b>ПК.1</b> способность использовать специализированные знания в области физики для освоения профильных физических дисциплин</p> <p><b>ОПК.7</b> способность использовать базовые теоретические знания фундаментальных разделов общей и теоретической физики для решения профессиональных задач</p> <p><b>ОПК.8</b> способность использовать в профессиональной деятельности базовые знания фундаментальных разделов математики, создавать математические модели типовых профессиональных задач и интерпретировать полученные результаты с учетом границ применимости моделей</p>	<p>Лог-Пуассоновские модели</p> <p><b>Итоговое контрольное мероприятие</b></p>	<p>1) Уравнения Навье-Стокса и турбулентность.2) Консервативные и диссипативные системы (примеры фазовых портретов).3) Бифуркации. Основные виды. Нормальные и обратные.4) Переход к хаосу по сценарию Ландау5) Фракталы. Обобщенная размерность.6) Аттракторы. Странный аттрактор. Сценарий Рюэля-Таккенса.7) Измерение размерности аттрактора.8) Субгармонический каскад.9) Методы исследования перехода к хаосу (показатели Ляпунова, сечения Пуанкаре, спектры и т.д.).10) Система Лоренца.11) Уравнение Рейнольдса для средних полей скорости и температуры.12) Простые способы замыкания. Турбулентная вязкость. Длина пути смешения Прандтля.13) Модели переноса турбулентной вязкости и двухпараметрические модели ( типа <math>\mathcal{N}k - \epsilon</math>). 14) Магнитное поле в турбулентной среде (альфа и бета эффекты)15) Ур.Навье-Стокса в Фурье-пространстве и уравнение баланса энергии по масштабам16) Теория Колмогорова однородной и изотропной турбулентности (К41) - оценки (спектры, структурные функции, дисс.масштаб, законы вырождения)17) Уравнения Кармана-Ховарта и закон "4/5" 18) Локально-однородная турбулентность (Логнормальная модель К62)19) Бета модель20) Мультифрактальная модель21) Модель Ше-Левака22) ESS и модель Дюбрьоль</p>



Компетенция	Мероприятие текущего контроля	Контролируемые элементы результатов обучения
<p><b>ПК.1</b> способность использовать специализированные знания в области физики для освоения профильных физических дисциплин</p> <p><b>ОПК.7</b> способность использовать базовые теоретические знания фундаментальных разделов общей и теоретической физики для решения профессиональных задач</p> <p><b>ОПК.8</b> способность использовать в профессиональной деятельности базовые знания фундаментальных разделов математики, создавать математические модели типовых профессиональных задач и интерпретировать полученные результаты с учетом границ применимости моделей</p>	<p>лабораторная работа "измерение спектральных характеристик пульсаций температуры в турбулентном факеле"</p> <p><b>Защищаемое контрольное мероприятие</b></p>	<p>спектральный анализ одномерных сигналов и двумерных полей</p>

### Спецификация мероприятий текущего контроля

#### Введение

Продолжительность проведения мероприятия промежуточной аттестации: **.5 часа**

Условия проведения мероприятия: **в часы аудиторной работы**

Максимальный балл, выставляемый за мероприятие промежуточной аттестации: **0**

Проходной балл: **0**

Показатели оценивания	Баллы
основные допущения при выводе уравнений движения идеальной жидкости	5
основы теории движения проводящей жидкости	5
законы подобия и безразмерные числа	5
основные допущения при выводе уравнений движения реальной жидкости	5

#### Сценарии перехода от порядка к хаосу

Продолжительность проведения мероприятия промежуточной аттестации: **1 часа**

Условия проведения мероприятия: **в часы аудиторной работы**

Максимальный балл, выставляемый за мероприятие промежуточной аттестации: **30**

Проходной балл: **14**

Показатели оценивания	Баллы
основные сценарии перехода	7
основные понятия: бифуркации и их св-ва,	7
основные понятия: аттракторы,	6
основные понятия: характеристики хаоса,	6
основные понятия: фазового пространства,	4

### Лог-Пуассоновские модели

Продолжительность проведения мероприятия промежуточной аттестации: **1 часа**

Условия проведения мероприятия: **в часы аудиторной работы**

Максимальный балл, выставляемый за мероприятие промежуточной аттестации: **40**

Проходной балл: **18**

Показатели оценивания	Баллы
Модели переноса турбулентной вязкости и двухпараметрические модели ( типа $\$k - \backslashepsilon\$$ ). Магнитное поле в турбулентной среде (альфа и бета эффекты)	5
Уравнения Кармана-Ховарта и закон "4/5" Локально-однородная турбулентность (Логнормальная модель K62)	5
Бифуркации. Основные виды. Нормальные и обратные. Переход к хаосу по сценарию Ландау.	4
Уравнения Навье-Стокса и турбулентность. Консервативные и диссипативные системы (примеры фазовых портретов).	4
Уравнение Рейнольдса для средних полей скорости и температуры. Простые способы замыкания. Турбулентная вязкость. Длинапути смешения Прандтля.	4
Бета модель Мультифрактальная модель	4
Ур.Навье-Стокса в Фурье-пространстве и уравнение баланса энергии по масштабам Теория Колмогорова однородной и изотропной турбулентности (K41) - оценки (спектры, структурные функции, дисс.масштаб, законы вырождения)	4
Модель Ше-Левека ESS и модель Дюбрьюль	4
Измерение размерности аттрактора.Субгармонический каскад.	3
Фракталы. Обобщенная размерность.Аттракторы. Странный аттрактор. Сценарий Рюэля-Таккенса.	3
9) Методы исследования перехода к хаосу (показатели Ляпунова,сечения Пуанкаре,	3

спектры и т.д.).10) Система Лоренца.	

**лабораторная работа "измерение спектральных характеристик пульсаций температуры в турбулентном факеле"**

Продолжительность проведения мероприятия промежуточной аттестации: **1 часа**

Условия проведения мероприятия: **в часы аудиторной работы**

Максимальный балл, выставляемый за мероприятие промежуточной аттестации: **30**

Проходной балл: **14**

Показатели оценивания	Баллы
провести обработку двумерных сигналов, получить двумерный спектр фурье	8
собрать и настроить лабораторную установку, получить достоверный сигнал	8
провести вейвлет анализ	7
провести обработку одномерных сигналов, получить спектр фурье	7

**Вид мероприятия промежуточной аттестации :** Экзамен

**Способ проведения мероприятия промежуточной аттестации :** Оценка по дисциплине в рамках промежуточной аттестации определяется на основе баллов, набранных обучающимся на контрольных мероприятиях, проводимых в течение учебного периода.

**Максимальное количество баллов :** 100

**Конвертация баллов в отметки**

«отлично» - от 81 до 100

«хорошо» - от 61 до 80

«удовлетворительно» - от 46 до 60

«неудовлетворительно» / «незачтено» менее 46 балла

Компетенция	Мероприятие текущего контроля	Контролируемые элементы результатов обучения
-------------	-------------------------------	--

Компетенция	Мероприятие текущего контроля	Контролируемые элементы результатов обучения
<p><b>ПК.1</b> способность использовать специализированные знания в области физики для освоения профильных физических дисциплин</p> <p><b>ОПК.7</b> способность использовать базовые теоретические знания фундаментальных разделов общей и теоретической физики для решения профессиональных задач</p> <p><b>ОПК.8</b> способность использовать в профессиональной деятельности базовые знания фундаментальных разделов математики, создавать математические модели типовых профессиональных задач и интерпретировать полученные результаты с учетом границ применимости моделей</p>	<p>Пассивные и активные примеси</p> <p><b>Защищаемое контрольное мероприятие</b></p>	<p>Двумерная турбулентность. Пассивные и активные примеси .</p>

Компетенция	Мероприятие текущего контроля	Контролируемые элементы результатов обучения
<p><b>ПК.1</b> способность использовать специализированные знания в области физики для освоения профильных физических дисциплин</p> <p><b>ОПК.7</b> способность использовать базовые теоретические знания фундаментальных разделов общей и теоретической физики для решения профессиональных задач</p> <p><b>ОПК.8</b> способность использовать в профессиональной деятельности базовые знания фундаментальных разделов математики, создавать математические модели типовых профессиональных задач и интерпретировать полученные результаты с учетом границ применимости моделей</p>	<p>Каскадные модели турбулентности</p> <p><b>Итоговое контрольное мероприятие</b></p>	<p>1) Законы сохранения в трехмерной гидродинамике 2) Законы сохранения в двумерной гидродинамике 3) Каскадные процессы в двумерной турбулентности. Инерционные интервалы. 4) Лабораторные эксперименты по двумерной турбулентности 5) Численные исследования двумерной турбулентности. 6) Перемежаемость в двумерной турбулентности. 7) Перемешивание пассивной примеси 2D и 3D турб. 8) Перемешивание пассивной примеси при малых и больших числах Прандтля. 9) Конвективная турбулентность. Интервал Обухова. Масштаб Болджиано. 10) МГД-турбулентности 1) Иерархические базисы для описания турбулентности 2) Иерархические модели турбулентности 3) вейвлет описание турбулентных полей. 4) Принципы построения каскадных моделей турбулентности. Системы гидродинамического типа. 15) Модель Новикова-Деснянского. 16). Модель GOY. 17) Скейлинг и перемежаемость в каскадных моделях 18) Каскадная модель МГД-турбулентности 9) Каскадно-сеточные методы и комбинированные модели сложных турбулентных систем.</p>

Компетенция	Мероприятие текущего контроля	Контролируемые элементы результатов обучения
<b>ОПК.8</b> способность использовать в профессиональной деятельности базовые знания фундаментальных разделов математики, создавать математические модели типовых профессиональных задач и интерпретировать полученные результаты с учетом границ применимости моделей	лабораторная работа "измерение пульсаций скорости в турбулентном потоке" <b>Защищаемое контрольное мероприятие</b>	Однородная и изотропная турбулентность, оптический метод фокального пятна, пассивные и активные примеси.

### Спецификация мероприятий текущего контроля

#### Пассивные и активные примеси

Продолжительность проведения мероприятия промежуточной аттестации: **1 часа**

Условия проведения мероприятия: **в часы аудиторной работы**

Максимальный балл, выставляемый за мероприятие промежуточной аттестации: **30**

Проходной балл: **14**

Показатели оценивания	Баллы
Переменяемость в двумерной турбулентности. Перемешивание пассивной примеси 2D и 3D турб.	7
Законы сохранения в трехмерной гидродинамике. Законы сохранения в двумерной гидродинамике	7
Лабораторные эксперименты по двумерной турбулентности. Численные исследования двумерной турбулентности.	6
Перемешивание пассивной примеси при малых и больших числах Прандтля.	6
Каскадные процессы в двумерной турбулентности. Инерционные интервалы.	4

#### Каскадные модели турбулентности

Продолжительность проведения мероприятия промежуточной аттестации: **1 часа**

Условия проведения мероприятия: **в часы аудиторной работы**

Максимальный балл, выставляемый за мероприятие промежуточной аттестации: **40**

Проходной балл: **18**

Показатели оценивания	Баллы
Конвективная турбулентность. Интервал Обухова. Масштаб Болджиано. МГД-турбулентность	7
Иерархические базисы для описания турбулентности Иерархические модели турбулентности	7

Принципы построения каскадных моделей турбулентности. Системы гидродинамического типа.	5
Каскадная модель МГД-турбулентности	5
Модель Новикова-Деснянского. Модель GOY.	4
Скейлинг и перемежаемость в каскадных моделях. Каскадная модель МГД-турбулентности	4
Каскадно-сеточные методы и комбинированные модели сложных турбулентных систем.	4
вейвлет описание турбулентных полей.	4

### **лабораторная работа " измерение пульсаций скорости в турбулентном потоке"**

Продолжительность проведения мероприятия промежуточной аттестации: **1 часа**

Условия проведения мероприятия: **в часы аудиторной работы**

Максимальный балл, выставляемый за мероприятие промежуточной аттестации: **30**

Проходной балл: **14**

<b>Показатели оценивания</b>	<b>Баллы</b>
собрать и настроить установку для измерений пульсаций скорости	8
собрать и настроить установку по методу фокального пятна провести регистрацию пульсаций пятна.	8
обработка данных эксперимента по измерению пульсаций скорости	7
обработка экспериментальных данных полученных методом фокального пятна	7