

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

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

Кафедра теоретической физики

Авторы-составители: **Любимов Дмитрий Викторович
Любимова Татьяна Петровна
Демин Виталий Анатольевич**

Рабочая программа дисциплины
ФИЗИЧЕСКАЯ ГИДРОДИНАМИКА
Код УМК 46146

Утверждено
Протокол №6
от «08» июня 2020 г.

Пермь, 2020

1. Наименование дисциплины

Физическая гидродинамика

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 **Физическая гидродинамика** 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

Направления подготовки	03.03.02 Физика (направленность: Фундаментальная физика)
форма обучения	очная
№№ триместров, выделенных для изучения дисциплины	9
Объем дисциплины (з.е.)	3
Объем дисциплины (ак.час.)	108
Контактная работа с преподавателем (ак.час.), в том числе:	42
Проведение лекционных занятий	28
Проведение практических занятий, семинаров	14
Самостоятельная работа (ак.час.)	66
Формы текущего контроля	Входное тестирование (1) Итоговое контрольное мероприятие (1) Письменное контрольное мероприятие (2)
Формы промежуточной аттестации	Зачет (9 триместр)

5. Аннотированное описание содержания разделов и тем дисциплины

Физическая гидродинамика. Первый семестр

Гидродинамическая неустойчивость

Проблема устойчивости стационарных течений. Метод малых возмущений. Нормальные моды. Спектральная амплитудная задача Орра-Зоммерфельда. Невязкие возмущения, теорема Релея о точке перегиба. Течение Куэтта, устойчивость. Плоское течение Пуазейля, метод Гайзенберга-Линя. Нейтральная кривая. Невязкая и вязкая неустойчивости. Теорема Сквайра.

Элементы теории турбулентности

Развитая турбулентность. Проблема корреляции. Корреляция скоростей в однородной изотропной турбулентности. Продольная и поперечная корреляционные функции. Соотношение Кармана - Хауэрза. Спектр турбулентных пульсаций. Колмогоровский масштаб. Условие автомодельности Колмогорова. Соотношение Таунсена - Колмогорова.

Свободная тепловая конвекция

Уравнения свободной тепловой конвекции. Приближение Буссинеска. Механическое равновесие неравномерно нагретой жидкости. Проблема устойчивости равновесия. Малые возмущения. Нормальные возмущения. Спектральная амплитудная задача для возмущений равновесия. Свойства спектра декрементов. Конвективное течение между вертикальными плоскостями. Конвективный пограничный слой. Приближенные методы теории пограничного слоя. Метод Кармана - Польгаузена. Метод Швеца.

Задача Гамеля. Диффузор и конфузор

Течение в диффузоре и конфузоре. Автомодельное решение.

Автомодельное течение Кармана

Автомодельное течение Кармана

Гравитационные волны

Гравитационные волны на поверхности тяжелой идеальной жидкости. Дисперсионное соотношение. Внутренние волны на границе раздела жидкостей.

Элементы акустики

Распространение звуковых возмущений в идеальной жидкости. Скорость звука. Поглощение звука из-за вязкости и теплопроводности. Формула Кирхгофа.

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. Фалькович, Г. Современная гидродинамика / Г. Фалькович. — 2-е изд. — Москва, Ижевск : Институт компьютерных исследований, Регулярная и хаотическая динамика, 2019. — 252 с. — ISBN 978-5-4344-0635-2. — Текст : электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS : [сайт]. <http://www.iprbookshop.ru/92090.html>
2. Любимов Д. В., Любимова Т. П. Физическая гидродинамика. Расчетный семинар: учебное пособие / Д. В. Любимов, Т. П. Любимова. — Пермь, 2012, ISBN 978-5-7944-1888-0.-1. <http://www.campus.psu.ru/library/node/34910>

Дополнительная:

1. Лотов, К. В. Физика сплошных сред : учебное пособие для вузов / К. В. Лотов. — 2-е изд., испр. и доп. — Москва : Издательство Юрайт, 2019. — 135 с. — (Университеты России). — ISBN 978-5-534-10208-6. — Текст : электронный // ЭБС Юрайт [сайт]. <https://www.urait.ru/bcode/442391>
2. Мешков, Е. Е. Исследования гидродинамических неустойчивостей в лабораторных экспериментах / Е. Е. Мешков ; под редакцией А. В. Певницкий. — Саров : Российский федеральный ядерный центр – ВНИИЭФ, 2006. — 139 с. — ISBN 5-9515-0069-9. — Текст : электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS : [сайт]. <http://www.iprbookshop.ru/60846>
3. Любимов Д. В., Любимова Т. П. Физическая гидродинамика. Расчетный семинар: учебное пособие / Д. В. Любимов, Т. П. Любимова. — Пермь, 2007, ISBN 5-7944-0818-9.-84.
4. Ландау, Л.Д. Теоретическая физика : учебное пособие / Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц. — 5-е изд., стер. — Москва : ФИЗМАТЛИТ, [б. г.]. — Том 6 : Гидродинамика — 2001. — 736 с. — ISBN 5-9221-0121-8. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. <https://elis.psu.ru/node/619860>

9. Перечень ресурсов сети Интернет, необходимых для освоения дисциплины

<http://library.psu.ru/node/738> Ресурсы Научной библиотеки ПГНИУ

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

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

- 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 и т.д.)

Перечень необходимого лицензионного и (или) свободно распространяемого программного обеспечения:

- приложение, позволяющее просматривать PDF-файлы
- офисный пакет приложений «LibreOffice».

При освоении материала и выполнения заданий по дисциплине рекомендуется использование материалов, размещенных в Личных кабинетах обучающихся ЕТИС ПГНИУ (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

Для лекционных занятий требуется аудитория, оснащенная презентационной техникой (проектор, экран, компьютер/ноутбук) с соответствующим программным обеспечением, меловой (и) или маркерной доской.

Для проведения практических занятий - аудитория, оснащенная презентационной техникой (проектор, экран, компьютер/ноутбук) с соответствующим программным обеспечением, меловой (и) или маркерной доской.

Для групповых (индивидуальных) консультаций - аудитория, оснащенная презентационной техникой (проектор, экран, компьютер/ноутбук) с соответствующим программным обеспечением, меловой (и) или маркерной доской.

Для проведения текущего контроля - аудитория, оснащенная меловой (и) или маркерной доской.
Самостоятельная работа студентов: аудитория, оснащенная компьютерной техникой с возможностью подключения к сети «Интернет», с обеспеченным 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
Физическая гидродинамика**

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

Компетенция	Планируемые результаты обучения	Критерии оценивания результатов обучения
<p>ОПК.7 способность использовать базовые теоретические знания фундаментальных разделов общей и теоретической физики для решения профессиональных задач</p>	<p>Знать уравнения свободной тепловой конвекции в приближении Буссинеска. Уметь использовать базовые теоретические знания фундаментальных разделов общей и теоретической физики. Владеть навыками решения профессиональных задач.</p>	<p align="center">Неудовлетворител</p> <p>Не знает уравнения свободной тепловой конвекции в приближении Буссинеска. Не умеет использовать базовые теоретические знания. Не владеет навыками решения профессиональных задач.</p> <p align="center">Удовлетворительн</p> <p>Общие, но не структурированные знания использования уравнений свободной тепловой конвекции в приближении Буссинеска. Демонстрирует частично сформированное умение производить расчёты, давать интерпретацию результатов. Имеет представление о способах решения профессиональных задач.</p> <p align="center">Хорошо</p> <p>Сформированные, но содержащие отдельные пробелы знания использования уравнений свободной тепловой конвекции в приближении Буссинеска. В целом успешные, но содержащие отдельные пробелы умения производить расчёты, давать интерпретацию результатов, контролировать правильность вычислений, самостоятельно приобретать новые знания. В целом успешно, но с отдельными пробелами владеет навыками решения профессиональных задач.</p> <p align="center">Отлично</p> <p>Сформированные систематические знания использования уравнений свободной тепловой конвекции в приближении Буссинеска. Сформированное умение производить расчёты гидродинамических течений. Успешное и систематическое применение навыков решения профессиональных задач.</p>

Компетенция	Планируемые результаты обучения	Критерии оценивания результатов обучения
<p>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</p>	<p>Способность использовать в профессиональной деятельности базовые знания о гравитационных волнах на поверхности тяжелой идеальной жидкости. Уметь создавать математические модели типовых профессиональных задач и интерпретировать полученные результаты с учетом границ применимости моделей. Владеть навыками решения профессиональных задач.</p>	<p>Неудовлетворител Не знает базовые знания о гравитационных волнах на поверхности тяжелой идеальной жидкости. Не умеет производить расчеты дисперсионного соотношения. Не владеет навыками решения профессиональных задач.</p> <p>Удовлетворительн Общие, но не структурированные знания о гравитационных волнах на поверхности тяжелой идеальной жидкости. Демонстрирует частично сформированное умение производить расчёты, давать интерпретацию результатов. Имеет представление о решении профессиональных задач.</p> <p>Хорошо Сформированные, но содержащие отдельные пробелы знания о гравитационных волнах на поверхности тяжелой идеальной жидкости.. В целом успешные, но содержащие отдельные пробелы умения производить расчёты, давать интерпретацию результатов, контролировать правильность вычислений, самостоятельно приобретать новые знания. В целом успешно, но с отдельными пробелами владеет навыками решения профессиональных задач.</p> <p>Отлично Сформированные систематические знания о гравитационных волнах на поверхности тяжелой идеальной жидкости. Сформированное умение производить расчёты дисперсионного соотношения. Успешное и систематическое применение навыков решения профессиональных задач.</p>
<p>ПК.1 способность использовать специализированные знания в области физики для освоения профильных физических дисциплин</p>	<p>Знать основные понятия теории гидродинамической устойчивости и акустики. Уметь использовать специализированные знания о динамике возмущений стационарных течений. Владеть навыками решения профессиональных задач в области физической</p>	<p>Неудовлетворител Не знает основные понятия теории гидродинамической устойчивости и акустики. Не умеет использовать специализированные знания о динамике возмущений стационарных течений. Не владеет навыками решения профессиональных задач в области физической гидродинамики.</p> <p>Удовлетворительн</p>

Компетенция	Планируемые результаты обучения	Критерии оценивания результатов обучения
	гидродинамики.	<p style="text-align: center;">Удовлетворительн</p> <p>Общие, но не структурированные знания основных понятий теории гидродинамической устойчивости и акустики. Демонстрирует частично сформированное умение использовать специализированные знания о динамике возмущений стационарных течений. Имеет представление о базовых подходах к решению профессиональных задач в области физической гидродинамики.</p> <p style="text-align: center;">Хорошо</p> <p>Сформированные, но содержащие отдельные пробелы знания основных понятий теории гидродинамической устойчивости и акустики. В целом успешные, но содержащие отдельные пробелы умения использовать специализированные знания о динамике возмущений стационарных течений. В целом успешно, но с отдельными пробелами владеет навыками решения профессиональных задач в области физической гидродинамики.</p> <p style="text-align: center;">Отлично</p> <p>Сформированные систематические знания основных понятий теории гидродинамической устойчивости и акустики. Сформированное умение использовать специализированные знания о динамике возмущений стационарных течений. Успешное и систематическое применение навыков решения профессиональных задач в области физической гидродинамики.</p>

Оценочные средства текущего контроля и промежуточной аттестации

Схема доставки : СУОС

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 43 до 60

«неудовлетворительно» / «незачтено» менее 43 балла

Компетенция	Мероприятие текущего контроля	Контролируемые элементы результатов обучения
Входной контроль	Гидродинамическая неустойчивость Входное тестирование	Уравнения движения жидкости. Решение дифференциальных уравнений.
ОПК.7 способность использовать базовые теоретические знания фундаментальных разделов общей и теоретической физики для решения профессиональных задач	Свободная тепловая конвекция Письменное контрольное мероприятие	Уравнения свободной тепловой конвекции в приближении Буссинеска.
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	Гравитационные волны Письменное контрольное мероприятие	Гравитационные волны на поверхности тяжелой идеальной жидкости. Аналитические и автотельные решения некоторых задач гидродинамики.
ПК.1 способность использовать специализированные знания в области физики для освоения профильных физических дисциплин	Элементы акустики Итоговое контрольное мероприятие	Теория гидродинамической и конвективной устойчивости, волновые процессы в жидкостях, элементы акустики

Спецификация мероприятий текущего контроля

Гидродинамическая неустойчивость

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

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

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

Проходной балл: **0**

Показатели оценивания	Баллы
Решение системы линейных дифференциальных уравнений с постоянными коэффициентами.	5
Уравнение неразрывности. Условие несжимаемости. Уравнения Эйлера. Учет вязкости жидкости, уравнения Навье-Стокса.	5

Свободная тепловая конвекция

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

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

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

Проходной балл: **13**

Показатели оценивания	Баллы
Спектральная амплитудная задача для возмущений равновесия. Свойства спектра декрементов. Конвективное течение между вертикальными плоскостями.	9
Проблема устойчивости равновесия. Малые возмущения. Нормальные возмущения	8
Конвективный пограничный слой. Приближенные методы теории пограничного слоя. Метод Кармана - Польгаузена. Метод Швеца.	7
Уравнения свободной тепловой конвекции. Приближение Буссинеска. Механическое равновесие неравномерно нагретой жидкости.	6

Гравитационные волны

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

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

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

Проходной балл: **13**

Показатели оценивания	Баллы
Гравитационные волны на поверхности тяжелой идеальной жидкости. Дисперсионное соотношение. Влияние вязкости на гравитационные волны	9
Неустойчивость Кельвина-Гельмгольца.	8
Задача Гамеля. Течение Кармана.	7
Внутренние волны на границе раздела жидкостей.	6

Элементы акустики

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

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

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

Проходной балл: 17

Показатели оценивания	Баллы
Общие закономерности теории гидродинамической устойчивости.	12
Конвективная устойчивость вязкой жидкости	11
Волновые процессы в сплошной среде. Акустические явления	10
Граничные условия на поверхности раздела текучих сред	7