

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

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

Кафедра теоретической физики

**Авторы-составители: Циберкин Кирилл Борисович
Любимова Татьяна Петровна**

Рабочая программа дисциплины

**ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ГЛАВЫ ТЕОРИИ КОНВЕКТИВНОЙ И
ГИДРОДИНАМИЧЕСКОЙ УСТОЙЧИВОСТИ**

Код УМК 63512

Утверждено
Протокол №5
от «03» июня 2021 г.

Пермь, 2021

1. Наименование дисциплины

Дополнительные главы теории конвективной и гидродинамической устойчивости

2. Место дисциплины в структуре образовательной программы

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

Направление: **03.04.02** Физика

направленность Физика акустических и гидродинамических волновых процессов

3. Планируемые результаты обучения по дисциплине

В результате освоения дисциплины **Дополнительные главы теории конвективной и гидродинамической устойчивости** у обучающегося должны быть сформированы следующие компетенции:

03.04.02 Физика (направленность : Физика акустических и гидродинамических волновых процессов)

ПК.1 Способен использовать в своей научно-исследовательской деятельности знание современных проблем и новейших достижений физики

Индикаторы

ПК.1.1 Определяет цели и задачи современных научных исследований в области физики

ПК.1.2 Использует основные теоретические и экспериментальные подходы при решении поставленных задач в области физики

4. Объем и содержание дисциплины

| | |
|---|--|
| Направления подготовки | 03.04.02 Физика (направленность: Физика акустических и гидродинамических волновых процессов) |
| форма обучения | очная |
| №№ триместров, выделенных для изучения дисциплины | 2 |
| Объем дисциплины (з.е.) | 3 |
| Объем дисциплины (ак.час.) | 108 |
| Контактная работа с преподавателем (ак.час.), в том числе: | 36 |
| Проведение лекционных занятий | 24 |
| Проведение практических занятий, семинаров | 12 |
| Самостоятельная работа (ак.час.) | 72 |
| Формы текущего контроля | Входное тестирование (1) Итоговое контрольное мероприятие (1) Письменное контрольное мероприятие (2) |
| Формы промежуточной аттестации | Зачет (2 триместр) |

5. Аннотированное описание содержания разделов и тем дисциплины

Дополнительные главы теории конвективной и гидродинамической устойчивости. Первый семестр

Конвективная устойчивость равновесия проводящей жидкости в магнитном поле

Уравнения свободной тепловой конвекции

Вывод уравнений свободной тепловой конвекции проводящей жидкости в магнитном поле.

Механическое равновесие

Условия механического равновесия неоднородно-нагретой проводящей жидкости в магнитном поле.

Уравнения малых возмущений равновесия.

Устойчивость равновесия в плоском вертикальном слое

Задача о конвективной устойчивости равновесия проводящей жидкости в плоском вертикальном слое при наличии поперечного магнитного поля. Монотонная и колебательная моды неустойчивости.

Общие свойства спектра возмущений. Основная и сопряженная задачи. Возмущения в слабых полях.

Пересечение декрементов. Монотонная неустойчивость.

Плоский горизонтальный слой

Устойчивость равновесия в плоском горизонтальном слое проводящей жидкости. Амплитудные уравнения. Монотонная неустойчивость. Колебательная неустойчивость.

Конвективная устойчивость равновесия вращающейся жидкости

Уравнения свободной тепловой конвекции

Уравнения свободной тепловой конвекции вращающейся жидкости. Учет сил инерции.

Механическое равновесие

Условия механического равновесия неоднородно-нагретой вращающейся жидкости. Уравнения малых возмущений равновесия.

Устойчивость равновесия в плоском горизонтальном слое

Конвективная устойчивость равновесия вращающейся жидкости в плоском горизонтальном слое со свободными границами.

Конвективная устойчивость равновесия бинарной смеси

Уравнения гидродинамики бинарной смеси

Уравнения гидродинамики бинарной несжимаемой смеси. Уравнение для концентрации компонент.

Уравнения свободной конвекции

Уравнения свободной конвекции бинарной смеси. Нормальная и аномальная термодиффузия. Эффект Соре.

Механическое равновесие

Условия механического равновесия бинарной смеси. Уравнения малых возмущений равновесия.

Полость с непроницаемыми границами

Анализ конвективной устойчивости механического равновесия бинарной смеси в ограниченной полости с непроницаемыми границами. Монотонная и колебательная неустойчивость.

Общий случай

Общий случай устойчивости равновесия бинарной смеси. Монотонная и колебательная неустойчивость. Предельный случай отсутствия перекрестных эффектов

Парадокс устойчивости

Устойчивость равновесия системы при увеличении концентрации тяжелой компоненты по направлению к верхней холодной границе слоя.

Влияние термодиффузии и диффузионной теплопроводности

Влияние термодиффузии и диффузионной теплопроводности на конвективный теплоперенос.

Конвективная устойчивость многокомпонентных смесей

Уравнения конвекции многокомпонентных смесей

Уравнения конвекции тройной смеси. Обобщение на случай смеси с произвольным числом компонент.

Механическое равновесие

Равновесие многокомпонентной смеси при вертикальном градиенте температуры. Нормальная и аномальная термодиффузия.

Устойчивость в плоском горизонтальном слое

Плоский горизонтальный слой. Монотонная и колебательная неустойчивость многокомпонентных смесей при различных направлениях вертикального градиента температуры.

Модуляция параметра

Параметрическое воздействие на систему. Амплитудные уравнения. Области устойчивости и неустойчивости

Термокапиллярный эффект

Термокапиллярный эффект. Устойчивость равновесия подогреваемого снизу горизонтального слоя жидкости со свободной поверхностью при наличии термокапиллярного эффекта.

Конвективная устойчивость равновесия пористой среды, насыщенной жидкостью

Уравнения свободной тепловой конвекции

Закон фильтрации. Уравнения свободной тепловой конвекции в пористой среде, насыщенной жидкостью. Модель Бринкмана.

Механическое равновесие подогреваемого снизу горизонтального слоя

Устойчивость механического равновесия подогреваемого снизу горизонтального слоя пористой среды, насыщенной жидкостью. Монотонная и колебательная неустойчивость.

Конвекция в подогреваемой снизу замкнутой полости

Конвекция в подогреваемой снизу замкнутой полости пористой среды, насыщенной жидкостью. Монотонная и колебательная неустойчивость. Анализ конвективных структур в полости.

Устойчивость конвективных течений

Конвективное течение в вертикальном слое

Конвективное течение в вертикальном слое. Основное стационарное течение. Задача устойчивости. Предельный случай малых чисел Прандтля. Монотонная гидродинамическая и волновая моды неустойчивости.

Адвективное течение в горизонтальном слое

Адвективные течения в горизонтальном слое. Физическая природа неустойчивости. Механизмы возбуждения (невязкий, стратификационный, внутренние волны)

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. 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, 2-е изд., стер. - 1. <http://www.campus.psu.ru/library/node/35855>
2. Гусев, А. А. Механика жидкости и газа : учебник для академического бакалавриата / А. А. Гусев. — 3-е изд., испр. и доп. — Москва : Издательство Юрайт, 2019. — 232 с. — (Бакалавр. Академический курс). — ISBN 978-5-534-05485-9. — Текст : электронный // ЭБС Юрайт [сайт]. <https://www.urait.ru/bcode/431811>
3. Любимов Д. В., Любимова Т. П., Черепанов А. А. Динамика поверхностей раздела в вибрационных полях / Д. В. Любимов, Т. П. Любимова, А. А. Черепанов. - М.: Физматлит, 2003, ISBN 5-9221-0456-X. - 216. - Библиогр.: с. 213-215

Дополнительная:

1. Ландау Л. Д. Теоретическая физика. учебное пособие для студентов физических специальностей университетов: В 10 т. Т. 6. Гидродинамика / Л. Д. Ландау, Е. М. Лифшиц. - Москва: Наука, 1986. - 736
2. Чаплыгин, С. А. Механика жидкости и газа. Математика. Общая механика. Избранные труды / С. А. Чаплыгин. — Москва : Издательство Юрайт, 2019. — 429 с. — (Антология мысли). — ISBN 978-5-534-03803-3. — Текст : электронный // ЭБС Юрайт [сайт]. <https://www.urait.ru/bcode/438604>
3. Якубович В. А., Старжинский В. М. Параметрический резонанс в линейных системах / В. А. Якубович, В. М. Старжинский. - Москва: Наука, 1987. - 328. - Библиогр.: с. 315-326. - Предм. указ.: с. 327-328
4. Ланда П. С. Нелинейные колебания и волны / П. С. Ланда ; [редкол. серии: Г. Г. Малинецкий (пред.) [и др.]. - Москва: URSS, 2010, ISBN 978-5-397-01296-6. - 551 с. - Библиогр.: с. 520-547

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 **Дополнительные главы теории конвективной и гидродинамической устойчивости** предполагает использование следующего программного обеспечения и информационных справочных систем:

Электронные мультимедийные библиотеки и учебные пособия, в том числе предоставляемые научной библиотекой ПГНИУ и цифровой библиотекой ПГНИУ "ELiS":

- материалы базы ЭБС IPRbooks;
- материалы цифровой библиотеки «Библиотех»;
- Электронно-библиотечная система издательства «Лань».
- пакет офисных программ "LibreOffice".

Дополнительный перечень используемых информационных технологий определяется преподавателями дисциплины.

При освоении материала и выполнении 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 проведения лекционных и практических занятий, мероприятий текущего контроля необходимы аудитории, оснащенные проекционным оборудованием, маркерной или меловой доской, ноутбук, презентационное программное обеспечение. Для самостоятельной работы студентов, проведения групповых и индивидуальных консультаций требуются аудитории, оснащенные ПК с доступом к локальной сети ПГНИУ и сети Интернет.

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
Дополнительные главы теории конвективной и гидродинамической устойчивости**

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

ПК.1

Способен использовать в своей научно-исследовательской деятельности знание современных проблем и новейших достижений физики

| Индикатор | Планируемые результаты обучения | Критерии оценивания результатов обучения |
|---|--|--|
| <p>ПК.1.1 Определяет цели и задачи современных научных исследований в области физики</p> | <p>Знать особенности описания конвективных явлений в многокомпонентных смесях. Уметь расширять уравнения теории устойчивости бинарных смесей на трехкомпонентные и более сложные смеси. Владеть представлениями о методах экспериментального измерения коэффициентов диффузии и термодиффузии в многокомпонентных смесях в условиях микрогравитации.</p> | <p align="center">Неудовлетворител</p> <p>Не знает особенности описания конвективных явлений в многокомпонентных смесях. Не умеет расширять уравнения теории устойчивости бинарных смесей на трехкомпонентные и более сложные смеси. Не владеет представлениями о методах экспериментального измерения коэффициентов диффузии и термодиффузии в многокомпонентных смесях в условиях микрогравитации.</p> <p align="center">Удовлетворительн</p> <p>Общие, но не структурированные знания особенностей описания конвективных явлений в многокомпонентных смесях. Демонстрирует частично сформированное умение расширять уравнения теории устойчивости бинарных смесей на трехкомпонентные и более сложные смеси. Имеет представление о методах экспериментального измерения коэффициентов диффузии и термодиффузии в многокомпонентных смесях в условиях микрогравитации.</p> <p align="center">Хорошо</p> <p>Сформированные, но содержащие отдельные пробелы знания особенностей описания конвективных явлений в многокомпонентных смесях. В целом успешные, но содержащие отдельные пробелы умения расширять уравнения теории устойчивости бинарных смесей на трехкомпонентные и более сложные смеси. В целом успешно, но с отдельными пробелами владеет представлениями о</p> |

| Индикатор | Планируемые результаты обучения | Критерии оценивания результатов обучения |
|--|---|--|
| | | <p style="text-align: center;">Хорошо</p> <p>методах экспериментального измерения коэффициентов диффузии и термодиффузии в многокомпонентных смесях в условиях микрогравитации.</p> <p style="text-align: center;">Отлично</p> <p>Сформированные систематические знания особенностей описания конвективных явлений в многокомпонентных смесях. Сформированное умение расширять уравнения теории устойчивости бинарных смесей на трехкомпонентные и более сложные смеси. Успешное и систематическое теоретическое описание методов измерения коэффициентов диффузии и термодиффузии в многокомпонентных смесях в условиях микрогравитации.</p> |
| <p>ПК.1.2 Использует основные теоретические и экспериментальные подходы при решении поставленных задач в области физики</p> | <p>Знать фундаментальные уравнения теории конвективной и гидродинамической устойчивости. Уметь применять соответствующие уравнения и методы исследования при решении конкретных задач теории гидродинамической устойчивости. Владеть методами исследования задач теории конвективной и гидродинамической устойчивости и вытекающих из уравнений основных закономерностей поведения жидкостей.</p> | <p style="text-align: center;">Неудовлетворител</p> <p>Не знает фундаментальные уравнения теории конвективной и гидродинамической устойчивости. Не умеет применять соответствующие уравнения и методы исследования при решении конкретных задач теории гидродинамической устойчивости. Не владеет методами исследования задач теории конвективной и гидродинамической устойчивости и вытекающих из уравнений основных закономерностей поведения жидкостей.</p> <p style="text-align: center;">Удовлетворительн</p> <p>Общие, но не структурированные знания фундаментальных уравнений теории конвективной и гидродинамической устойчивости. Демонстрирует частично сформированное умение применять соответствующие уравнения и методы исследования при решении конкретных задач теории гидродинамической устойчивости. Имеет представление о методах исследования задач теории конвективной и гидродинамической устойчивости и вытекающих из уравнений основных закономерностей поведения жидкостей.</p> |

| Индикатор | Планируемые результаты обучения | Критерии оценивания результатов обучения |
|-----------|---------------------------------|--|
| | | <p style="text-align: center;">Хорошо</p> <p>Сформированные, но содержащие отдельные пробелы знания фундаментальных уравнений теории конвективной и гидродинамической устойчивости. В целом успешные, но содержащие отдельные пробелы умения применять соответствующие уравнения и методы исследования при решении конкретных задач теории гидродинамической устойчивости. В целом успешно, но с отдельными пробелами владеет методами исследования задач теории конвективной и гидродинамической устойчивости и вытекающих из уравнений основных закономерностей поведения жидкостей.</p> <p style="text-align: center;">Отлично</p> <p>Сформированные систематические знания фундаментальных уравнений теории конвективной и гидродинамической устойчивости. Сформированное умение применять соответствующие уравнения и методы исследования при решении конкретных задач теории гидродинамической устойчивости. Успешное и систематическое применение методов исследования задач теории конвективной и гидродинамической устойчивости и вытекающих из уравнений основных закономерностей поведения жидкостей.</p> |

Оценочные средства текущего контроля и промежуточной аттестации

Схема доставки : 7751

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 (индикатор) | Мероприятие текущего контроля | Контролируемые элементы результатов обучения |
|--|--|---|
| Входной контроль | Уравнения свободной тепловой конвекции Входное тестирование | Свободная тепловая конвекция несжимаемой жидкости |
| ПК.1.2 Использует основные теоретические и экспериментальные подходы при решении поставленных задач в области физики | Устойчивость равновесия в плоском горизонтальном слое Письменное контрольное мероприятие | Устойчивость равновесия неизотермической жидкости в магнитном поле, во вращающемся слое |
| ПК.1.2 Использует основные теоретические и экспериментальные подходы при решении поставленных задач в области физики | Устойчивость в плоском горизонтальном слое Письменное контрольное мероприятие | Конвективная устойчивость бинарных и многокомпонентных смесей. Термодиффузия |
| ПК.1.1 Определяет цели и задачи современных научных исследований в области физики | Адвективное течение в горизонтальном слое Итоговое контрольное мероприятие | Термокапиллярный эффект. Конвекция в пористой среде. Устойчивость конвективных течений. |

Спецификация мероприятий текущего контроля

Уравнения свободной тепловой конвекции

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

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

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

Проходной балл: **0**

| Показатели оценивания | Баллы |
|--|-------|
| Стационарное конвективное течение в вертикальном слое при подогреве сбоку | 5 |
| Приближение Буссинеска. Свойства спектра возмущений в горизонтальном слое при вертикальном направлении градиента температуры | 5 |

Устойчивость равновесия в плоском горизонтальном слое

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

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

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

Проходной балл: **13**

| Показатели оценивания | Баллы |
|--|-------|
| Монотонная и колебательная моды неустойчивости. | 7 |
| Конвективная устойчивость вращающейся жидкости | 7 |
| Условия механического равновесия неоднородно-нагретой вращающейся жидкости | 6 |
| Вывод уравнений свободной тепловой конвекции проводящей жидкости в магнитном поле. Условия равновесия | 6 |
| Учет сил инерции. | 4 |

Устойчивость в плоском горизонтальном слое

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 |
|--|-------|
| Устойчивость механического равновесия бинарной смеси в полости с непроницаемыми границами. Парадокс устойчивости. | 7 |
| Монотонная и колебательная неустойчивость многокомпонентных смесей при различных направлениях вертикального градиента температуры. | 7 |
| Уравнения свободной конвекции бинарной смеси. | 6 |
| Обобщение уравнений конвекции на случай смеси с произвольным числом компонент. | 6 |
| Нормальная и аномальная термодиффузия. Эффект Соре. | 4 |

Адвективное течение в горизонтальном слое

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

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

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

Проходной балл: **17**

| Показатели оценивания | Баллы |
|---|-------|
| Устойчивость конвективных течений. | 9 |
| Конвекция в пористой среде. Устойчивость равновесия пористой среды. | 9 |
| Устойчивость равновесия при параметрическом воздействии на систему. | 8 |

| | |
|-------------------------------|---|
| | |
| Термокапиллярный эффект. | 8 |
| Уравнения фильтрации жидкости | 6 |