

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

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

Кафедра теоретической физики

Авторы-составители: **Демин Виталий Анатольевич
Иванцов Андрей Олегович
Самойлова Анна Евгеньевна**

Рабочая программа дисциплины

**СЛАБОНЕЛИНЕЙНЫЙ АНАЛИЗ В ТЕОРИИ ГИДРОДИНАМИЧЕСКОЙ
УСТОЙЧИВОСТИ**

Код УМК 90411

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

Пермь, 2021

1. Наименование дисциплины

Слабонелинейный анализ в теории 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 **Слабонелинейный анализ в теории гидродинамической устойчивости** у обучающегося должны быть сформированы следующие компетенции:

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

ПК.2 Способен принимать участие в разработке новых задач, методов и подходов в научно-инновационных исследованиях и инженерно-технологической деятельности

Индикаторы

ПК.2.2 Разрабатывает физические и математические модели, проводит компьютерное моделирование физических и технологических процессов

ПК.3 Способен организовывать и планировать физические исследования и опытно-конструкторские разработки

Индикаторы

ПК.3.2 Проводит составление и оформление научно-технической документации, научных отчетов, обзоров, докладов и статей

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	1
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 (1 триместр)

5. Аннотированное описание содержания разделов и тем дисциплины

Слабонелинейный анализ в теории гидродинамической устойчивости (первый триместр)

Введение. Основные понятия

Входной контроль

Равновесие. Основное состояние

Даются определения основного состояния, равновесия механической системы, бифуркации. Приводятся примеры устойчивых и неустойчивых систем. Делается классификация бифуркаций.

Устойчивость гидродинамических систем. Линейная теория устойчивости

Приводятся примеры потери устойчивости положений равновесия и течений в гидродинамических системах. Формулируются основные положения теории линейной устойчивости.

Основы слабонелинейного анализа устойчивости

Метод многих масштабов

Формулируются основные идеи метода многих масштабов и оговариваются ситуации когда он может быть применен. Проводится разложение системы нелинейных дифференциальных уравнений по формальному малому параметру. Обсуждается вопрос о условии разрешимости систем в высших порядках.

Слабонелинейный анализ уравнения нелинейной диффузии

Проводится слабонелинейный анализ простого уравнения описывающего нелинейную диффузию в одномерном случае. Выписываются системы в различных порядках, выводятся условия разрешимости. Определяется амплитуда надкритических режимов.

Слабонелинейная теория стационарной конвекции Релея-Бернара

Выписываются уравнения стационарной конвекции Релея-Бернара и проводится слабо-нелинейный анализ их устойчивости. Находится решение систем в первом и втором порядках. Выводится аналитическая формула для амплитуды конвективных валов в надкритической области.

Устойчивость адвективного течения в слое

Уравнения конвекции в слое. Линейная теория устойчивости

Проводится постановка задачи о адвективном течении в горизонтальном слое. Находится аналитическое решение, соответствующее плоскопараллельному течению. Формулируется задача об устойчивости данного течения по отношению к спиральным возмущениям. Описываются результаты решения системы уравнений линейной устойчивости.

Применение метода многих масштабов. Вывод уравнений во втором и третьем порядке

Выписывается разложение по малому параметру. Выводятся системы уравнений во втором и третьем порядках. Из условия разрешимости системы третьего порядка получается уравнение для амплитудной функции.

Уравнение для амплитудной функции и анализ его свойств

Анализ уравнения для амплитудной функции. Определения условий при которых возможно подкритическое развитие неустойчивости.

Уравнения Гинзбурга-Ландау

Типы неустойчивости, описываемые уравнением Гинзбурга-Ландау

Вывод уравнения Гинзбурга-Ландау, описание физического смысла входящих в него слагаемых. Описание основных свойств малоамплитудных волн, генерируемых неустойчивостями: нелинейный сдвиг фаз, дисперсия, инкремент возмущений, колебания

Возмущения с конечной длиной волны

Свойства коротковолновой колебательной неустойчивости, описываемой уравнением Гинзбурга-Ландау. Типы нейтральных кривых. Аналогия с нелинейным уравнением Шредингера.

Длинноволновые возмущения

Свойства длинноволнового колебательной неустойчивости, описываемой уравнением Гинзбурга-Ландау.

Надкритические режимы. Отбор структур

Анализ уравнения Гинзбурга-Ландау в двумерном случае. Обсуждение возможности образования надкритических структур различной симметрии. Определение параметров и условий при которых наблюдаются структуры заданного типа.

Устойчивость тонких пленок

Уравнения термоконцентрационной конвекции в тонкой пленке

Вывод уравнение термоконцентрационной конвекции в приближении тонких пленок. Задача о линейной устойчивости в тонких пленках.

Деформируемая граница раздела

Учет деформируемости свободной поверхности тонкой пленки. Линейная устойчивость тонких пленок. Нейтральные кривые различных мод неустойчивости. Карта устойчивости.

Амплитудные уравнения

Применение метода многих масштабов. Получение систем в высших порядках малости. Вывод амплитудных уравнений в задаче о тонкой пленке, отличных от уравнения Гинзбурга-Ландау

Надкритические режимы

Анализ надкритических режимов конвекции в тонкой пленке. Отбор структур надкритических режимов конвекции. Примеры сравнения результатов слабонелинейного анализа и экспериментальных данных.

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. Уравнения математической физики. Нелинейные интегрируемые уравнения : учебное пособие для бакалавриата и магистратуры / А. В. Жибер, Р. Д. Муртазина, И. Т. Хабибуллин, А. Б. Шабат. — 2-е изд., испр. и доп. — Москва : Издательство Юрайт, 2019. — 375 с. — (Университеты России). — ISBN 978-5-534-03041-9. — Текст : электронный // ЭБС Юрайт [сайт]. <https://www.urait.ru/bcode/437563>
2. 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 с. — Библиогр.: с. 213-215

Дополнительная:

1. Методы качественной теории в нелинейной динамике. Ч.1 / Л. П. Шильников, А. Л. Шильников, Д. В. Тураев, Чуа Леон ; перевод С. С. Пашкина [и др.]. — Москва, Ижевск : Институт компьютерных исследований, 2019. — 416 с. — ISBN 978-5-4344-0744-1. — Текст : электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS : [сайт]. <http://www.iprbookshop.ru/91959>
2. Найфэ А. Введение в методы возмущений: [учебник] / А. Найфэ ; пер.: И. Е. Зино, Э. А. Тропп ; ред. Р. Г. Баранцев. — Москва: Мир, 1984. — 535 с.
3. Полянин А. Д., Зайцев В. Ф., Журов А. И. Методы решения нелинейных уравнений математической физики и механики: учебное пособие для студентов вузов / А. Д. Полянин, В. Ф. Зайцев, А. И. Журов. — Москва: Физматлит, 2005, ISBN 5-9221-0539-6. — 256 с. — Библиогр.: с. 245-254
4. Ландау Л. Д. Теоретическая физика. учебное пособие для студентов физических специальностей университетов : в 10 т. Т. 6. Гидродинамика / Л. Д. Ландау, Е. М. Лифшиц ; ред. Л. П. Питаевский. — 5-е изд., стер. — Москва: ФИЗМАТЛИТ, 2001, ISBN 5-9221-0121-8. — 736 с.
5. Методы качественной теории в нелинейной динамике. Ч.2 / Л. П. Шильников, А. Л. Шильников, Д. В. Тураев, Чуа Леон ; перевод В. А. Осотова ; под редакцией Д. В. Тураева, А. Л. Шильникова. — Москва, Ижевск : Регулярная и хаотическая динамика, Институт компьютерных исследований, 2019. — 548 с. — ISBN 978-5-4344-0745-8. — Текст : электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS : [сайт]. <http://www.iprbookshop.ru/91960>
6. Андреев В. К. Задачи по гидродинамике: учебное пособие для вузов / В. К. Андреев. — Красноярск, 2001, ISBN 5-7638-0324-8. — 72 с. — Библиогр.: с. 70

9. Перечень ресурсов сети Интернет, необходимых для освоения дисциплины

<http://library.psu.ru/node/738> Электронные ресурсы научной библиотеки ПГНИУ

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

Образовательный процесс по дисциплине **Слабонелинейный анализ в теории 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»;
- свободный пакет аналитических вычислений Maxima.

Дополнительный перечень используемых информационных технологий и программного обеспечения определяется читающими курс преподавателями.

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
Слабонелинейный анализ в теории гидродинамической устойчивости**

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

ПК.3

Способен организовывать и планировать физические исследования и опытно-конструкторские разработки

Индикатор	Планируемые результаты обучения	Критерии оценивания результатов обучения
<p>ПК.3.2 Проводит составление и оформление научно-технической документации, научных отчетов, обзоров, докладов и статей</p>	<p>ЗНАТЬ: теорию слабонелинейного анализа гидродинамических систем. УМЕТЬ: получать системы уравнений для поправок в различных порядках малости. ВЛАДЕТЬ: методом многих масштабов.</p>	<p align="center">Неудовлетворител</p> <p>Не знает теорию слабонелинейного анализа гидродинамических систем, не умеет получать системы уравнений для поправок в различных порядках малости, не владеет методом многих масштабов.</p> <p align="center">Удовлетворительн</p> <p>Общие, но не структурированные знания теории слабонелинейного анализа гидродинамических систем, демонстрирует частично сформированное умение получать системы уравнений для поправок в различных порядках малости, Имеет представление о методе многих масштабов.</p> <p align="center">Хорошо</p> <p>Сформированные, но содержащие отдельные пробелы знания теории слабонелинейного анализа гидродинамических систем, в целом успешные, но содержащие отдельные пробелы умения получать системы уравнений для поправок в различных порядках малости, в целом успешно, но с отдельными пробелами владеет методом многих масштабов.</p> <p align="center">Отлично</p> <p>Сформированные систематические знания теории слабонелинейного анализа гидродинамических систем, сформированное умение получать системы уравнений для поправок в различных порядках малости, успешное и систематическое применение метода многих масштабов.</p>

ПК.2

Способен принимать участие в разработке новых задач, методов и подходов в научно-инновационных исследованиях и инженерно-технологической деятельности

Индикатор	Планируемые результаты обучения	Критерии оценивания результатов обучения
<p>ПК.2.2 Разрабатывает физические и математические модели, проводит компьютерное моделирование физических и технологических процессов</p>	<p>ЗНАТЬ: свойства уравнения Гинзбурга-Ландау, особенности описания термоконтрационной конвекции в тонких пленках. УМЕТЬ: строить амплитудные уравнения, определять амплитуду надкритических режимов конвекции. ВЛАДЕТЬ: методами описания возмущений с различными длинами волн, отбора структур надкритических режимов, систем с деформируемой границей</p>	<p>Неудовлетворител Не знает свойства уравнения Гинзбурга-Ландау, особенности описания термоконтрационной конвекции в тонких пленках. Не умеет строить амплитудные уравнения, определять амплитуду надкритических режимов конвекции. Не владеет методами описания возмущений с различными длинами волн, отбора структур надкритических режимов, систем с деформируемой границей</p> <p>Удовлетворительн Общие, но не структурированные знания свойств уравнения Гинзбурга-Ландау, особенностей описания термоконтрационной конвекции в тонких пленках. Частично сформированное умение строить амплитудные уравнения, определять амплитуду надкритических режимов конвекции. Ограниченное владение общими методами описания возмущений с различными длинами волн, отбора структур надкритических режимов, систем с деформируемой границей</p> <p>Хорошо Сформированные, но содержащие отдельные пробелы знания свойств уравнения Гинзбурга-Ландау, особенностей описания термоконтрационной конвекции в тонких пленках. В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы умение строить амплитудные уравнения, определять амплитуду надкритических режимов конвекции. В целом успешно, но с отдельными пробелами владеет методами описания возмущений с различными длинами волн, отбора структур надкритических режимов, систем с деформируемой границей</p> <p>Отлично Сформированные систематические знания свойств уравнения Гинзбурга-Ландау,</p>

Индикатор	Планируемые результаты обучения	Критерии оценивания результатов обучения
		<p style="text-align: center;">Отлично</p> <p>особенности описания термоконцентрационной конвекции в тонких пленках. Сформированное умение строить амплитудные уравнения, определять амплитуду надкритических режимов конвекции. Успешное и систематическое применение методов описания возмущений с различными длинами волн, отбора структур надкритических режимов, систем с деформируемой границей</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 43 до 60

«неудовлетворительно» / «незачтено» менее 43 балла

Компетенция (индикатор)	Мероприятие текущего контроля	Контролируемые элементы результатов обучения
Входной контроль	Входной контроль Входное тестирование	Уравнения гидродинамики. Приближение Буссинеска
ПК.3.2 Проводит составление и оформление научно-технической документации, научных отчетов, обзоров, докладов и статей	Уравнение для амплитудной функции и анализ его свойств Письменное контрольное мероприятие	владение методом многих масштабов, знание приемов нахождения систем дифференциальных уравнений для поправок различных порядков малости
ПК.2.2 Разрабатывает физические и математические модели, проводит компьютерное моделирование физических и технологических процессов	Надкритические режимы. Отбор структур Письменное контрольное мероприятие	знание свойств уравнения Гинзбурга-Ландау, умение анализировать уравнения для амплитудных функций
ПК.2.2 Разрабатывает физические и математические модели, проводит компьютерное моделирование физических и технологических процессов	Надкритические режимы Итоговое контрольное мероприятие	знание общих принципов теории слабонелинейного анализа гидродинамических систем.

Спецификация мероприятий текущего контроля

Входной контроль

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
Уравнения тепловой конвекции в приближении Буссинеска	5
Уравнения Навье-Стокса	5

Уравнение для амплитудной функции и анализ его свойств

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
Анализ уравнения для амплитудной функции	7
Применение метода многих масштабов	6
Задача о линейной устойчивости	6
Вывод уравнения для амплитудной функции	6
Аналитическое решение для плоскопараллельного течения	5

Надкритические режимы. Отбор структур

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
Анализ уравнения Гинзбурга-Ландау в двумерном случае. Надкритические режимы	7
Свойства малоамплитудных волн	6
Длинноволновые возмущения	6
Коротковолновая колебательная неустойчивость	6
Уравнение Гинзбурга-Ландау, физический смысл входящих в него слагаемых.	5

Надкритические режимы

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
Вывод условия мягкого ветвления решений	9
Умение проводить анализ отбора структур надкритических режимов	9
Получение условия разрешимости	8
Получение системы во втором порядке	8
Уравнение термоконцентрационной конвекции в приближении тонких пленок	6