

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«Новосибирский национальный исследовательский государственный университет»
(Новосибирский государственный университет, НГУ)

**Физический факультет
Кафедра физики сплошных сред**



**Рабочая программа дисциплины
ГИДРОДИНАМИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ФИЗИКИ ВЗРЫВА**

направление подготовки: **03.03.02 Физика**
направленность(профиль): **Общая и фундаментальная физика**

Форма обучения: **Очная**

Семестр	Общий объем	Виды учебных занятий (в часах)				Промежуточная аттестация (в часах)				
		Контактная работа обучающихся с преподавателем			Самостоятельная работа, не включая период сессии	Самостоятельная подготовка к промежуточной аттестации	Контактная работа обучающихся с преподавателем			
		Лекции	Практические занятия	Лабораторные занятия			Консультации	Зачет	Дифференцированный зачет	Экзамен
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
7	72	20	14		16	18	2			2
Всего 72 часа / 2 зачётные единицы, из них: - контактная работа 38 часов										
Компетенции ПК-1										

Ответственный за образовательную программу д.ф.-м.н., проф.

Цыбуля С. В.

Новосибирск, 2022

Содержание

1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесённых с планируемыми результатами освоения образовательной программы.	3
2. Место дисциплины в структуре образовательной программы.	3
3. Трудоёмкость дисциплины в зачётных единицах с указанием количества академических часов, выделенных на контактную работу обучающегося с преподавателем	4
4. Содержание дисциплины, структурированное по темам (разделам) с указанием отведённого на них количества академических часов и видов учебных занятий.	4
5. Перечень учебной литературы.	6
6. Перечень учебно-методических материалов по самостоятельной работе обучающихся.	7
7. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины.	7
8. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине.	7
9. Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине.	7
10. Оценочные средства для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине.	8

1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесённых с планируемыми результатами освоения образовательной программы.

Дисциплина «Гидродинамические аспекты физики взрыва» имеет своей целью формирование у студентов представления об основах теории физики взрыва в части, описываемой уравнениями общей гидродинамики. Основная цель лекционного курса и практических занятий является знакомство обучающихся с базовыми моделями описания течений, возникающих в жидких, газообразных и пузырьковых средах при взрывном нагружении. В курсе рассматриваются задачи динамики одиночной полости в жидкости, методы генерации ударных волн в жидкости, поверхностные эффекты при подводных взрывах и т.д., а также излагаются основы теории распространения ударных волн в пузырьковых средах, необходимые для освоения теоретических основ физических курсов, читаемых на кафедре физики сплошных сред

Дисциплина нацелена на формирование у выпускника следующей профессиональной компетенции:

Результаты освоения образовательной программы (компетенции)	Индикаторы	Результаты обучения по дисциплине
ПК-1 Способность использовать специализированные знания в области физики при построении теоретических моделей физических явлений и процессов в соответствии с профилем подготовки в зависимости от специфики объекта исследования	<p>ПК 1.1 Применяет специализированные знания в области физики при воспроизведении учебного материала с требуемой степенью научной точности и полноты.</p> <p>ПК 1.2 Использует специализированные знания при проведении научных изысканий в избранной области.</p> <p>ПК 1.3 Выбирает наиболее эффективные методы построения теоретических моделей физических явлений и процессов в соответствии с профилем подготовки в зависимости от специфики объекта исследования.</p>	<p>Знать основные уравнения теории физики взрыва в части, описываемой уравнениями общей гидродинамики, современные методы генерации ударных волн в жидкости.</p> <p>Уметь применять общую теорию распространения ударных волн к пузырьковым средам, решать задачи, связанные с динамикой одиночной полости в жидкости.</p> <p>Владеть методом подобия для решения общих задач кавитации, базовыми моделями описания течений, возникающих в жидких, газообразных и пузырьковых средах при взрывном нагружении.</p>

2. Место дисциплины в структуре образовательной программы.

Дисциплина «Гидродинамические аспекты физики взрыва» реализуется в осеннем семестре 4-го курса для бакалавров, обучающихся по направлению подготовки 03.03.02 Физика. Курс является одной из профессиональных дисциплин по выбору, реализуемых кафедрой физики сплошных сред. Общая трудоёмкость дисциплины составляет 2 зачётные единицы, 72 академических часа.

Для успешного освоения курса «Гидродинамические аспекты физики взрыва» студенты должны обладать предварительными знаниями основ механики, термодинамики, физики

сплошных сред, теории детонации конденсированных взрывчатых веществ, математического и функционального анализа, дифференциальных уравнений, векторного и тензорного анализа.

3. Трудоемкость дисциплины в зачётных единицах с указанием количества академических часов, выделенных на контактную работу обучающегося с преподавателем

Семестр	Общий объем	Виды учебных занятий (в часах)				Промежуточная аттестация (в часах)				
		Контактная работа обучающихся с преподавателем			Самостоятельная работа, не включая период сессии	Самостоятельная подготовка к промежуточной аттестации	Контактная работа обучающихся с преподавателем			
		Лекции	Практические занятия	Лабораторные занятия			Консультации	Зачет	Дифференцированный зачет	Экзамен
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
7	72	20	14		16	18	2			2
Всего 72 часа / 2 зачётные единицы, из них: - контактная работа 38 часов										
Компетенции ПК-1										

Реализация дисциплины предусматривает практическую подготовку при проведении следующих видов занятий, предусматривающих участие обучающихся в выполнении отдельных элементов работ, связанных с будущей профессиональной деятельностью: лекции, самостоятельная работа студента, консультации, экзамен.

Программой дисциплины предусмотрены следующие виды контроля:

Текущий контроль успеваемости: контрольные вопросы на знание материала предыдущей лекции, самостоятельное выполнение месячных заданий.

Промежуточная аттестация: экзамен.

Общая трудоемкость рабочей программы дисциплины составляет 2 зачетные единицы.

- занятия лекционного типа – 20 часов;
- практические занятия- 14 часов
- самостоятельная работа в течение семестра, не включая период сессии – 16 часов;
- промежуточная аттестация (подготовка к сдаче экзамена, консультации и экзамен) – 22 часа;

Объём контактной работы обучающегося с преподавателем (занятия лекционного типа, практические занятия, групповые консультации, экзамен) составляет 38 часов.

4. Содержание дисциплины, структурированное по темам (разделам) с указанием отведённого на них количества академических часов и видов учебных занятий.

Дисциплина «Гидродинамические аспекты физики взрыва» представляет собой полугодовой курс, читаемый на 4-ом курсе физического факультета НГУ в осеннем семестре. Общая трудоемкость дисциплины составляет 2 зачётные единицы, 72 академических часа.

№ п/п	Раздел дисциплины	Неделя семестра	Виды учебной работы, включая самостоятельную работу студентов и трудоёмкость (в часах)				Промежуточная аттестация (в часах)
			Всего	Аудиторные часы		Сам. работа во время занятий (не включая период сессии)	
				Лекции	Практиче- ские занятия		
1.	Динамика одиночной полости в жидкости (математические модели, численные исследования, эксперимент).	1-3	8	4	6	4	
2.	Методы генерации ударных волн в жидкости	4-6	10	4		2	
3.	Поверхностные эффекты при подводных взрывах	7-9	8	4		4	
4.	Кавитационное разрушение жидкости при взрывном нагружении	10-13	12	4	4	4	
5.	Распространение ударных волн в пузырьковых средах	14-16	12	4	4	2	
6.	Групповая консультация		2				2
7.	Самостоятельная подготовка обучающегося к экзамену		18				18
8.	Экзамен		2				2
Всего			72	20	14	16	22

Программа и основное содержание лекций (20 часов)

Динамика одиночной полости в жидкости (математические модели, численные исследования, эксперимент) (4 часа)

Несжимаемая жидкость: задача Безанта, уравнение Рэлея, оценка основных параметров пульсации; схлопывание одиночного газового пузырька ударной волной, экспериментальная проверка поведения газа. Влияние сжимаемости и поверхностного натяжения, потери на акустическое излучение, максимальный радиус полости. Начальные условия, P-U – диаграммы. Уравнения состояния жидкости. Вязкость, эффекты сферической кумуляции пустой полости, тяжелая жидкость, относительное движение. Параметры пульсации (общие результаты).

Методы генерации ударных волн в жидкости (4 часа)

Взрыв заряда ВВ, расчет параметров волнового поля, ближняя и дальняя зоны (решения Ландау-Христиановича, модель Кирквуда-Бете). Уравнения состояния продуктов детонации. Лабораторные методы генерации: гидродинамические ударные трубы – взрывные, диафрагменные, баллистические, электродинамические. Приложение метода гидродинамических ударных труб к исследованию релаксационных процессов в химических растворах за фронтом сильных ударных волн. Взрывная гидроакустика (понятия, взрывные источники звука).

Поверхностные эффекты при подводных взрывах (4 часа)

Структура течения при малоуглубленных подводных взрывах: экспериментальный анализ механизма формирования струйного течения, его гидродинамическая модель. Спектр струй-

ных течений, аномалия со вторичным полем давления, аналогия с высокоскоростным внедрением. Параметры султанов, подобие. Классическая кумуляция и ее проблемы.

Кавитационное разрушение жидкости при взрывном нагружении (4 часа)

Состояние реальной жидкости: теоретические модели кавитационных зародышей, экспериментальные методы их регистрации. Начальная стадия развития пузырьковой кавитации, пороговые эффекты. Модели формирования плотных пузырьковых кластеров. Двухфазная математическая модель динамики кавитирующей жидкости (односкоростная, неравновесная по давлению): динамика зоны кавитации при подводном взрыве вблизи свободной поверхности. Структура волн разрежения, предельные амплитуды, время релаксации: подводный взрыв, отражение треугольной ударной волны, гидродинамическая трубка разрежения (двухволновая структура). Эффекты неограниченного роста кавитационных пузырьков, проблема фрагментации кавитирующих объемов, отколы. Инверсия двухфазности: переход кавитирующей жидкости в газокапельное состояние (экспериментальные методы). Гидродинамические аспекты кавитационной эрозии.

Распространение ударных волн в пузырьковых средах (4 часа)

Экспериментальные исследования трансформации и структуры ударных волн в жидкости с пузырьками газа: расслоение волны на предвестник и основное возмущение типа волнового пакета (короткие волны), его частотные параметры. Математические модели: последовательность плоских слоев газа, уравнения течения двухфазной среды. Приближение для случая несжимаемой жидкого компонента. Критерий подобия затухания ударных волн в пузырьковых завесах, механизм затухания (уравнение Клейна-Гордона). Усиление волн в инертных системах типа "жидкость - паровые пузырьки" (исчезновение защитных свойств пузырьковых экранов). Усиление волн в химически активных пузырьковых системах: эксперименты с цепочкой, теоретические оценки. Формирование уединенного волнового пакета с постоянными характеристиками (структура, амплитуда, скорость) при распространении ударных волн в активных средах (эксперимент). Звуковые волны, понятие "окна непрозрачности".

Программа практических занятий (14 часов)

1. Решение задачи о динамике одиночной полости в различных геометриях: плоская, цилиндрическая, сферическая и тороидальная. **(6 часов)**
2. "Песчаная модель": формулировка математической задачи, расчет волновой стадии и процесса разлета, эксперимент. **(4 часа)**
3. Математическое моделирование и численное исследование распространения волн в средах с выделением энергии. **(4 часа)**

Самостоятельная работа студентов (34 часа)

Перечень занятий на СРС	Объем, час
Изучение, повторение теоретического материала лекций в течении семестра	16
Подготовка к экзамену	18

5. Перечень учебной литературы.

5.1. Основная литература

1. Кедринский В.К. Гидродинамика взрыва: эксперимент и модели. ИГиЛ, Новосибирск, 2000, 435 с.

5.2. Дополнительная литература

1. Гуревич М.И. Теория струй идеальной жидкости. М., 1961.
2. Кузнецов В.М. Математические модели взрывного дела. Новосибирск: Наука, 1977.
3. Кедринский В.К. Модели М.А. Лаврентьева в задачах неустановившихся течений со свободными границами. В кн.: Проблемы математики и механики. Новосибирск: Наука, 1983.

6. Перечень учебно-методических материалов по самостоятельной работе обучающихся.

7. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины.

Для освоения дисциплины используются следующие ресурсы:

- электронная информационно-образовательная среда НГУ (ЭИОС);
- образовательные интернет-порталы;
- информационно-телекоммуникационная сеть Интернет.

7.1 Современные профессиональные базы данных

Не используются

7.2. Информационные справочные системы

Не используются.

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

Для обеспечения реализации дисциплины используется стандартный комплект программного обеспечения (ПО), включающий регулярно обновляемое лицензионное ПО Windows и MS Office.

Использование специализированного программного обеспечения для изучения дисциплины не требуется.

9. Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине.

Для реализации дисциплины используются специальные помещения:

1. Учебные аудитории для проведения занятий лекционного типа, практических занятий, курсового проектирования (выполнения курсовых работ), групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля, промежуточной и итоговой аттестации.

2. Помещения для самостоятельной работы обучающихся.

Учебные аудитории укомплектованы специализированной мебелью и техническими средствами обучения, служащими для представления учебной информации большой аудитории.

Помещения для самостоятельной работы обучающихся оснащены компьютерной техникой с возможностью подключения к сети "Интернет" и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду НГУ.

Для проведения занятий лекционного типа предлагаются следующие наборы демонстрационного оборудования и учебно-наглядных пособий:

- комплект лекций-презентаций по темам дисциплины.

Материально-техническое обеспечение образовательного процесса по дисциплине для обучающихся из числа лиц с ограниченными возможностями здоровья осуществляется согласно «Порядку организации и осуществления образовательной деятельности по

образовательным программам для инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья в Новосибирском государственном университете».

10. Оценочные средства для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине.

10.1 Порядок проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине

Текущий контроль

Текущий контроль осуществляется в ходе семестра: опрос в начале каждой лекции по материалам предыдущей лекции.

Промежуточная аттестация

Освоение компетенций оценивается согласно шкале оценки уровня сформированности компетенции.

Окончательная оценка работы студента в течение семестра происходит на экзамене. По итогам завершения курса проводится экзамен по билетам в устной форме. Вопросы билета подбираются таким образом, чтобы проверить уровень сформированности компетенции ПК-1.

Вывод об уровне сформированности компетенций принимается преподавателем. Каждый вопрос билета оценивается от 0 до 5 баллов. Положительная оценка ставится, когда все компетенции освоены не ниже порогового уровня. Оценки «отлично», «хорошо», «удовлетворительно» означают успешное прохождение промежуточной аттестации.

Соответствие индикаторов и результатов освоения дисциплины

Таблица 10.1

Индикатор	Результат обучения по дисциплине	Оценочные средства
ПК 1.1 Применяет специализированные знания в области физики при воспроизведении учебного материала с требуемой степенью научной точности и полноты.	Знать основные уравнения теории физики взрыва в части, описываемой уравнениями общей гидродинамики, современные методы генерации ударных волн в жидкости.	Проведение опроса, экзамен.
ПК 1.2 Использует специализированные знания при проведении научных изысканий в избранной области	Уметь применять общую теорию распространения ударных волн к пузырьковым средам, решать задачи, связанные с динамикой одиночной полости в жидкости.	Проведение опроса, экзамен.
ПК 1.3 Выбирает наиболее эффективные методы построения теоретических моделей физических явлений и процессов в соответствии с профилем подготовки в зависимости от специфики объекта исследования.	Владеть методом подобия для решения общих задач кавитации, базовыми моделями описания течений, возникающих в жидких, газообразных и пузырьковых средах при взрывном нагружении.	Проведение опроса, экзамен.

10.2 Описание критериев и шкал оценивания индикаторов достижения результатов обучения по дисциплине «Гидродинамические аспекты физики взрыва».

Таблица 10.2

Критерии оценивания результатов обучения	Планируемые результаты обучения (показатели достижения заданного уровня освоения компетенций)	Уровень освоения компетенции			
		Не сформирован (0 баллов)	Пороговый уровень (3 балла)	Базовый уровень (4 балла)	Продвинутый уровень (5 баллов)
1	2	3	4	5	6
Полнота знаний	ПК 1.1	Уровень знаний ниже минимальных требований. Имеют место грубые ошибки.	Демонстрирует общие знания базовых понятий по темам/разделам дисциплины. Допускается значительное количество негрубых ошибок.	Уровень знаний соответствует программе подготовки по темам/разделам дисциплины. Допускается несколько негрубых/несущественных ошибок. Не отвечает на дополнительные вопросы.	Уровень знаний соответствует программе подготовки по темам/разделам дисциплины. Свободно и аргументированно отвечает на дополнительные вопросы.
Наличие умений	ПК 1.2	Отсутствие минимальных умений. Не умеет решать стандартные задачи. Имеют место грубые ошибки.	Продемонстрированы частично основные умения. Решены типовые задачи. Допущены негрубые ошибки.	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задания с негрубыми ошибками или с недочетами.	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задания в полном объеме без недочетов и ошибок.
Наличие навыков (владение опытом)	ПК 1.3	Отсутствие владения материалом по темам/разделам дисциплины. Нет навыков в решении стандартных задач. Наличие грубых ошибок.	Имеется минимальный набор навыков при решении стандартных задач с некоторыми недочетами.	Имеется базовый набор навыков при решении стандартных задач с некоторыми недочетами.	Имеется базовый набор навыков при решении стандартных задач без ошибок и недочетов. Продемонстрированы знания по решению нестандартных задач.

10.3 Список вопросов, выносимых на экзамен

1. Несжимаемая жидкость: задача Безанта.
2. Несжимаемая жидкость: уравнение Рэлея.
3. Влияние сжимаемости и поверхностного натяжения, потери на акустическое излучение, максимальный радиус полости.
4. Начальные условия, P-U – диаграммы.
5. Уравнения состояния жидкости.
6. Вязкость, эффекты сферической кумуляции пустой полости, тяжелая жидкость, относительное движение.
7. Параметры пульсации полости.
8. Расчет параметров волнового поля, ближняя и дальняя зоны (решения Ландау-Христиановича, модель Кирквуда-Бете).

9. Лабораторные методы генерации УВ.
10. Приложение метода гидродинамических ударных труб к исследованию релаксационных процессов в химических растворах за фронтом сильных ударных волн.
11. Структура течения при малоуглубленных подводных взрывах.
12. Параметры султанов, подобие.

-
1. Звуковые волны, понятие "окна непрозрачности".
 2. Математическое моделирование и численное исследование распространения волн в средах с выделением энергии.
 3. Критерий подобия затухания ударных волн в пузырьковых завесах, механизм затухания (уравнение Клейна-Гордона).
 4. Трансформации структуры ударных волн в жидкости с пузырьками газа.
 5. Гидродинамические аспекты кавитационной эрозии.
 6. "Песчаная модель": формулировка математической задачи, расчет волновой стадии и процесса разлета, эксперимент.
 7. Гидродинамическая трубка разрежения (двухволновая структура).
 8. Структура волн разрежения, предельные амплитуды, время релаксации.
 9. Двухфазная математическая модель динамики кавитирующей жидкости.
 10. Модели формирования плотных пузырьковых кластеров.
 11. Начальная стадия развития пузырьковой кавитации, пороговые эффекты.
 12. Теоретические модели кавитационных зародышей.

Пример билета:

1. Расчет параметров волнового поля, ближняя и дальняя зоны (решения Ландау-Христиановича, модель Кирквуда-Бете).
2. Гидродинамические аспекты кавитационной эрозии.

Форма билета к экзамену представлена на рисунке

МИНОБРНАУКИ РОССИИ	
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Новосибирский национальный исследовательский государственный университет» (Новосибирский государственный университет, НГУ)	
Физический факультет	
БИЛЕТ № _____	
1.	
2.	
Составитель _____ /Ф.И.О. преподавателя/ (подпись)	
« ____ » _____ 20 ____ г.	

Оценочные материалы по промежуточной аттестации, предназначенные для проверки соответствия уровня подготовки по дисциплине требованиям СУОС, хранятся на кафедре-разработчике РПД в печатном и электронном виде.

**Лист актуализации рабочей программы
по дисциплине «Гидродинамические аспекты физики взрыва»
по направлению подготовки 03.03.02 Физика
Профиль «Общая и фундаментальная физика»**

№	Характеристика внесенных изменений (с указанием пунктов документа)	Дата и № протокола Учёного совета ФФ НГУ	Подпись ответственного