

**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 неравновесных процессов**

академик РАН



УТВЕРЖДАЮ
Декан ФФ
А. Е. Бондарь
2020 г.

Рабочая программа дисциплины

**ГИДРОДИНАМИКА И ТЕПЛООБМЕН В СВЕРХТЕКУЧИХ И КРИОГЕННЫХ
ЖИДКОСТЯХ**

направление подготовки: **03.04.02 Физика**

Курс 2, Семестр 3

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
3	72	32	4		14	18	2			2
Всего 72 часа / 2 зачётных единицы, из них: - контактная работа 40 часов - в интерактивных формах 4 часов										
Компетенции ПК-1, ПК-2										

Разработчик:

д.ф.-м.н., профессор
Зав. КФНП ФФ НГУ
д.ф.-м.н., акад. РАН.

Руководитель программы
д.ф.-м.н.

И-ский

С.К.Немировский

С.В.Алексенко

С.В.Алексенко

Логашенко

И. Б. Логашенко

Новосибирск, 2020

Содержание	
Аннотация	3
1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесённых с планируемыми результатами освоения образовательной программы.	5
2. Место дисциплины в структуре образовательной программы.	6
3. Трудоёмкость дисциплины в зачётных единицах с указанием количества академических часов, выделенных на контактную работу обучающегося с преподавателем (по видам учебных занятий) и на самостоятельную работу.	6
4. Содержание дисциплины, структурированное по темам (разделам) с указанием отведённого на них количества академических часов и видов учебных занятий.	7
5. Перечень учебной литературы.	10
6. Перечень учебно-методических материалов по самостоятельной работе обучающихся.	10
7. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины.	11
8. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине.	11
9. Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине.	11
10. Оценочные средства для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине.	12

Аннотация

к рабочей программе дисциплины «Гидродинамика и теплообмен в сверхтекучих и криогенных жидкостях» Направление: 03.04.02 Физика Направленность (профиль): Общая и фундаментальная физика

Программа дисциплины «Гидродинамика и теплообмен в сверхтекучих и криогенных жидкостях» составлена в соответствии с требованиями СУОС к уровню магистратуры по направлению подготовки **03.04.02 Физика, направленность «Общая и фундаментальная физика»**, а также задачами, стоящими перед Новосибирским государственным университетом по реализации Программы развития НГУ. Дисциплина реализуется на физическом факультете Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего профессионального образования Новосибирский национальный исследовательский государственный университет (НГУ) кафедрой физики неравновесных процессов в качестве дисциплины по выбору Дисциплина изучается магистрантами 2 курса физического факультета в осеннем семестре.

Цель курса – обучение студентов основам физики и гидродинамики квантовых жидкостей, усвоение студентами основных понятий, связанных с теорией сверхтекучести и двухжидкостной гидродинамики, ознакомление с методами и подходами к описанию физических закономерностей, имеющих важное значение для науки и техники.

Дисциплина нацелена на формирование у выпускника профессиональных компетенций:

ПК-1 – способность самостоятельно ставить конкретные задачи научных исследований в области физики и решать их с помощью современной аппаратуры и информационных технологий с использованием новейшего российского и зарубежного опыта.

ПК-2 - способность свободно владеть разделами физики, необходимыми для решения научно-инновационных задач, и применять результаты научных исследований в инновационной деятельности.

В результате освоения дисциплины обучающийся должен:

- **Знать:**

- методы и способы постановки и решения задач гидродинамики и теплообмена в сверхтекучих и криогенных жидкостях, принципы действия, функциональные и метрологические возможности современной аппаратуры для физических исследований, возможности, методы и системы компьютерных технологий для физических теоретических и экспериментальных исследований;
- базовые разделы гидродинамики и теплообмена в сверхтекучих и криогенных жидкостях: основные понятия, модели, законы и теории; теоретические и методологические основы гидродинамики и теплообмена в сверхтекучих и криогенных жидкостях и способы их использования при решении научно-инновационных задач.

- **Уметь:**

- самостоятельно ставить и решать конкретные физические задачи научных исследований в области гидродинамики и теплообмена в сверхтекучих и криогенных жидкостях с использованием современной аппаратуры и компьютерных технологий;
- решать типовые учебные задачи по основным разделам гидродинамики и теплообмена в сверхтекучих и криогенных жидкостях; применять полученную теоретическую базу для решения научно-инновационных задач, грамотно работать с научной литературой с использованием новых информационных технологий; применять полученные теоретические знания для самостоятельного освоения

специальных разделов гидродинамики и теплообмена в сверхтекучих и криогенных жидкостях, необходимых в профессиональной деятельности; определять необходимость привлечения дополнительных знаний из специальных разделов гидродинамики и теплообмена в сверхтекучих и криогенных жидкостях для решения научно-инновационных задач; применять знания физики нелинейных волновых процессов для анализа и обработки результатов физических экспериментов; проводить анализ научной и технической информации в области гидродинамики и теплообмена в сверхтекучих и криогенных жидкостях и смежных дисциплин;

• **Владеть:**

- навыками постановки и решения задач научных исследований в области гидродинамики и теплообмена в сверхтекучих и криогенных жидкостях с помощью современных методов и средств теоретических и экспериментальных исследований;

- навыками самостоятельной работы с учебной литературой по базовым разделам гидродинамики и теплообмена в сверхтекучих и криогенных жидкостях; основной терминологией и понятийным аппаратом базовых разделов гидродинамики и теплообмена в сверхтекучих и криогенных жидкостях; навыками решения базовых задач по гидродинамике и теплообмена в сверхтекучих и криогенных жидкостях; основными методами научных исследований; навыками использования теоретических основ базовых разделов гидродинамики и теплообмена в сверхтекучих и криогенных жидкостях при решении научно-инновационных задач; знаниями на уровне, позволяющем проводить эффективный анализ научной и технической информации в области гидродинамики и теплообмена в сверхтекучих и криогенных жидкостях и смежных дисциплин.

Курс рассчитан на один семестр (3-й). Преподавание дисциплины предусматривает следующие формы организации учебного процесса: лекции, практические занятия, консультации, самостоятельная работа студента, экзамен.

Программой дисциплины предусмотрены следующие виды контроля:

Текущий контроль: контроль посещения лекций и практических занятий, опрос по материалам лекций, задания для самостоятельного решения

Промежуточная аттестация: экзамен

Общая трудоемкость рабочей программы дисциплины составляет **72** академических часа / **2** зачетных единицы.

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

Целью данного курса является обучение студентов основам физики и гидродинамики квантовых жидкостей, усвоение студентами основных понятий, связанных с теорией сверхтекучести и двухжидкостной гидродинамики, ознакомление с методами и подходами к описанию физических закономерностей, имеющих важное значение для науки и техники.

В результате освоения дисциплины обучающийся должен:

• Знать:

- методы и способы постановки и решения задач гидродинамики и теплообмена в сверхтекучих и криогенных жидкостях, принципы действия, функциональные и метрологические возможности современной аппаратуры для физических исследований, возможности, методы и системы компьютерных технологий для физических теоретических и экспериментальных исследований (ПК 1.1);
- базовые разделы гидродинамики и теплообмена в сверхтекучих и криогенных жидкостях: основные понятия, модели, законы и теории; теоретические и методологические основы гидродинамики и теплообмена в сверхтекучих и криогенных жидкостях и способы их использования при решении научно-инновационных задач (ПК 2.1).

• Уметь:

- самостоятельно ставить и решать конкретные физические задачи научных исследований в области гидродинамики и теплообмена в сверхтекучих и криогенных жидкостях с использованием современной аппаратуры и компьютерных технологий (ПК-1.2);
- решать типовые учебные задачи по основным разделам гидродинамики и теплообмена в сверхтекучих и криогенных жидкостях; применять полученную теоретическую базу для решения научно-инновационных задач, грамотно работать с научной литературой с использованием новых информационных технологий; применять полученные теоретические знания для самостоятельного освоения специальных разделов гидродинамики и теплообмена в сверхтекучих и криогенных жидкостях, необходимых в профессиональной деятельности; определять необходимость привлечения дополнительных знаний из специальных разделов гидродинамики и теплообмена в сверхтекучих и криогенных жидкостях для решения научно-инновационных задач; применять знания физики нелинейных волновых процессов для анализа и обработки результатов физических экспериментов; проводить анализ научной и технической информации в области гидродинамики и теплообмена в сверхтекучих и криогенных жидкостях и смежных дисциплин (ПК 2.2);

• Владеть:

- навыками постановки и решения задач научных исследований в области гидродинамики и теплообмена в сверхтекучих и криогенных жидкостях с помощью современных методов и средств теоретических и экспериментальных исследований (ПК 1.3)
- навыками самостоятельной работы с учебной литературой по базовым разделам гидродинамики и теплообмена в сверхтекучих и криогенных жидкостях; основной терминологией и понятийным аппаратом базовых разделов гидродинамики и теплообмена в сверхтекучих и криогенных жидкостях; навыками решения базовых задач по гидродинамике и теплообмена в сверхтекучих и криогенных жидкостях; основными методами научных исследований; навыками использования теоретических основ базовых разделов гидродинамики и теплообмена в сверхтекучих и криогенных жидкостях при решении научно-инновационных задач; знаниями на уровне, позволяющем проводить эффективный анализ научной и технической информации в

области гидродинамики и теплообмена в сверхтекучих и криогенных жидкостях и смежных дисциплин. (ПК 2.3);

2. Место дисциплины в структуре образовательной программы.

Дисциплина реализуется в осеннем семестре 2-го курса для магистрантов, обучающихся по направлению подготовки 03.04.02 Физика. Курс является одной из профессиональных дисциплин по выбору, реализуемых кафедрой физики неравновесных процессов. Для его восприятия требуется предварительная подготовка студентов по таким физическим дисциплинам как электродинамика, а также по математике (основы математического анализа, дифференциальные уравнения). Он должен предшествовать выполнению квалификационной работы студента по данной специализации, так как дает ему необходимые знания, навыки и предоставляет инструменты для выполнения научных исследований в рамках подготовки его квалификационной работы.

3. Трудоёмкость дисциплины в зачётных единицах с указанием количества академических часов, выделенных на контактную работу обучающегося с преподавателем (по видам учебных занятий) и на самостоятельную работу.

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
3	72	32	4		18	18	2			2
Всего 72 часа / 2 зачётных единицы, из них: - контактная работа 40 часов - в интерактивных формах 4 часа										
Компетенции ПК-1, ПК-2										

Реализация дисциплины предусматривает практическую подготовку при проведении следующих видов занятий, предусматривающих участие обучающихся в выполнении отдельных элементов работ, связанных с будущей профессиональной деятельностью.

Преподавание дисциплины предусматривает следующие формы организации учебного процесса: лекции, практические занятия, консультации, самостоятельная работа студента и её контроль преподавателями с помощью заданий, экзаменов.

Программой дисциплины предусмотрены следующие виды контроля:

- текущий контроль успеваемости: контроль посещения лекций и практических занятий, опрос по материалам лекций, задания для самостоятельного решения

- промежуточная аттестация: экзамен.

Общая трудоёмкость рабочей программы дисциплины составляет 2 зачетные единицы.

- занятия лекционного типа – 32 часов;
- практические занятия – 4 часа;

- самостоятельная работа обучающегося в течение семестра, не включая период сессии – 14 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 40 часов.

Работа с обучающимися в интерактивных формах составляет 4 часа (практические занятия).

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

Дисциплина представляет собой полугодовой курс, читаемый на 2-м курсе магистратуры физического факультета НГУ в 3-м семестре. Общая трудоемкость дисциплины составляет 2 зачётные единицы, 72 академических часа.

№ п/п	Раздел дисциплины	Неделя семестра	Всего	Виды учебной работы, включая самостоятельную работу студентов и трудоемкость (в часах)			Промежуточная аттестация (в период сессии) (в часах)
				Аудиторные часы		Сам. работа в течение семестра (не включая период сессии)	
				Лекции (кол-во часов)	Практические занятия (кол-во часов)		
1	2	3	4	5	6	7	8
1	Открытие сверхтекучести, необычные гидродинамические свойства (термомеханический и механокалорический эффекты, фонтанный эффект, отсутствие вязкости отсутствие вращения, гигантская теплопроводность и т.д.).	1	2	2			
2	Двухжидкостная гидродинамика Ландау. Вывод уравнений двухскоростной гидродинамики (диссипативный и не диссипативные случаи) (очень полезно как пример многофазной жидкости). Простейшие решения двухскоростной гидродинамики. Противоток, внутренние конвекция, разрешение гидродинамических парадоксов).	2	5	2	2	1	
3	Акустика гелия. Первый и второй звуки. Нелинейные свойства второго звука (зависимость нелинейности от температуры, задний ударный фронт, самофокусировка).	3	3	2		1	
4	Нелинейное взаимодействие	4	3	2		1	

	звуков, задачи устойчивости. Инварианты Римана.						
5	Стохастические волновые процессы Связанная акустическая турбулентность. Диаграммная техника Уайлда, метод кинетических уравнений	5	3	2		1	
6	Парадокс вращения. Квантовые вихри. Динамика квантовых вихрей, реконнекции (перезамыкания).	6	3	2		1	
7	Энергия и импульс квантовых вихрей. Вихревые кольца, волны Кельвина, солитон Хасимоты.	7	3	2		1	
8	Rotating case, Tkachenko lattice, Tkachenko waves	8	3	2		1	
9	Применение теории квантовых вихрей. Критические скорости. Взаимодействие с ионами. Проблемы визуализации вихревых нитей.	9	3	2		1	
10	Стохастические квантовые вихри, квантовая турбулентность. Теория Фейнмана Вайнена.	10	3	2		1	
11	Современные аспекты квантовой турбулентности, сичленные результаты	11	3	2		1	
12	Связь с классической турбулентностью, проблемы энергетического спектра	12	3	2		1	
13	Проблемы затухания турбулентности. Гауссова теория вихревого клубка	13	3	2		1	
14	Нестационарный теплообмен в сверхтекучем гелии. Динамика интенсивных тепловых импульсов. Усредненная гидродинамика сверхтекучего гелия в присутствии вихревых нитей. Различные режимы нестационарного теплообмена. Времена вскипания, зависимость от тепловой нагрузки.	14	3	2		1	
15	Конденсат Бозе-Эйнштейна. Динамика бозе-конденсата, Уравнение Гросса-Питаевского. (Нелинейный	15	4	2	2		

	Шредингер с диссипативной частью). Структура и динамика вихрей. Связь с квантовыми вихрями в сверхтекучем гелии.						
16	Преобразование Маделунга, гидродинамическая интерпретация Уравнения Гросса-Питаевского. Квантовые вихри в бозе-конденсата.	16	3	2		1	
17	Групповая консультация	18	2				2
	Самостоятельная подготовка обучающегося к экзамену		18				18
	Экзамен		2				2
Итого			72	32	4	14	22

Программа и основное содержание лекций (32 часа)

1. Открытие сверхтекучести (2 часа)

Необычные гидродинамические свойства (термомеханический и механокалорический эффекты, фонтанный эффект, отсутствие вязкости отсутствие вращения, гигантская теплопроводность и т.д.).

2. Двухжидкостная гидродинамика Ландау. (2 часа)

Вывод уравнений двухскоростной гидродинамики (диссипативный и не диссипативные случаи) (очень полезно как пример многофазной жидкости). Простейшие решения двухскоростной гидродинамики. Противоток, внутренние конвекция, разрешение гидродинамических парадоксов).

3. Акустика гелия. (2 часа)

Первый и второй звуки. Нелинейные свойства второго звука (зависимость нелинейности от температуры, задний ударный фронт, самофокусировка).

4. Нелинейное взаимодействие звуков (2 часа)

Задачи устойчивости. Инварианты Римана.

5. Стохастические волновые процессы. (2 часа)

Связанная акустическая турбулентность. Диаграммная техника Уайлда, метод кинетических уравнений.

6. Парадокс вращения. (2 часа)

Квантовые вихри. Динамика квантовых вихрей, реконнекции (перезамыкания).

7. Энергия и импульс квантовых вихрей. (2 часа)

Вихревые кольца, волны Кельвина, солитон Хасимоты.

8. Rotating case, Tkachenko lattice, Tkachenko waves (2 часа)

9. Применение теории квантовых вихрей. (2 часа)

Критические скорости. Взаимодействие с ионами. Проблемы визуализации вихревых нитей.

10. Стохастические квантовые вихри, квантовая турбулентность. (2 часа)

Теория Фейнмана Вайнена.

11. Современные аспекты квантовой турбулентности, сичленные результаты (2 часа)

12. Связь с классической турбулентностью, проблемы энергетического спектра (2 часа)

13. Проблемы затухания турбулентности. (2 часа)

Гауссова теория вихревого клубка

14. Нестационарный теплообмен в сверхтекучем гелии. (2 часа)

Динамика интенсивных тепловых импульсов. Усредненная гидродинамика сверхтекучего гелия в присутствии вихревых нитей. Различные режимы нестационарного теплообмена. Времена вскипания, зависимость от тепловой нагрузки.

15. Конденсат Бозе-Эйнштейна. (2 часа)

Динамика бозе-конденсата, Уравнение Гросса-Питаевского. (Нелинейный Шредингер с диссипативной частью). Структура и динамика вихрей. Связь с квантовыми вихрями в сверхтекучем гелии.

16. Преобразование Маделунга, гидродинамическая интерпретация. (2 часа)

Уравнения Гросса-Питаевского. Квантовые вихри в бозе-конденсата.

Программа практических занятий (4 часа)

Занятие 1. Применение теории квантовых вихрей. Критические скорости. Взаимодействие с ионами. Проблемы визуализации вихревых нитей. **(2 часа)**

Занятие 2. Нестационарный теплообмен в сверхтекучем гелии. Динамика интенсивных тепловых импульсов. Усредненная гидродинамика сверхтекучего гелия в присутствии вихревых нитей. Различные режимы нестационарного теплообмена. Времена вскипания, зависимость от тепловой нагрузки. **(2 часа)**

Самостоятельная работа студентов (32 часа)

Перечень занятий на СРС	Объем, час
Подготовка к практическим занятиям.	2
Изучение теоретического материала, не освещаемого на лекциях	12
Подготовка к экзамену	18

5. Перечень учебной литературы.

5.1. Основная литература

1. Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М. Гидродинамика. — Издание 6-е. — М.: Физматлит, 2015. — 728 с. — (Теоретическая физика, т. VI).

5.2. Дополнительная литература

1. Тилли Д.Р. Тилли Дж. Сверхтекучесть и Сверхпроводимость. М.: Мир, 1976, 304с.
2. Халатников И.М. Теория Сверхтекучести. М: Наука, 1971, 320 с.
3. Паттерман С. Гидродинамика сверхтекучей турбулентности. М.: Мир, 1978, 520 с.
4. С.К. Немировский, Нелинейная акустика сверхтекучего гелия. Успехи Физических наук, 160, вып. 6, стр. 51-95.

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

Самостоятельная работа студентов поддерживается следующими учебными пособиями:

1. Тилли Д.Р. Тилли Дж. Сверхтекучесть и Сверхпроводимость. М.: Мир, 1976, 304с.
2. Халатников И.М. Теория Сверхтекучести. М: Наука, 1971, 320 с.

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.

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 путем контроля посещения лекций и практических занятий, а также опросом по материалам лекций, и проверкой решения задач из задания для самостоятельного решения.

Промежуточная аттестация

Освоение компетенций оценивается согласно шкале оценки уровня сформированности компетенции. Положительная оценка по дисциплине выставляется в том случае, если заявленные компетенции ПК-1 и ПК-2 сформированы не ниже порогового уровня в части, относящейся к формированию способности использовать специализированные знания в области кристаллографии и рентгеноструктурного анализа в профессиональной деятельности.

Окончательная оценка работы студента в течение семестра происходит на экзамене. Экзамен проводится в конце семестра в экзаменационную сессию по билетам в устной форме. Вопросы билета подбираются таким образом, чтобы проверить уровень сформированности компетенций ПК-1 и ПК-2.

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.

Описание критериев и шкал оценивания индикаторов достижения результатов обучения по дисциплине «Гидродинамика и теплообмен в сверхтекучих и криогенных жидкостях».

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 ПК 2.1	Уровень знаний ниже минимальных требований. Имеют место грубые ошибки.	Минимально допустимый уровень знаний. 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 ПК 2.2	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 ПК 2.3	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.

Типовые контрольные задания и материалы, необходимые для оценки результатов обучения

Экзаменационные вопросы

1. Открытие сверхтекучести, необычные гидродинамические свойства (термомеханический и механокалорический эффекты, фонтанный эффект, отсутствие вязкости отсутствие вращения, гигантская теплопроводность и т.д.).
2. Двухжидкостная гидродинамика Ландау. Вывод уравнений двухскоростной гидродинамики (диссипативный и не диссипативные случаи) (очень полезно как пример многофазной жидкости).
3. Простейшие решения двухскоростной гидродинамики. Противоток, внутренние конвекция, разрешение гидродинамических парадоксов).
4. Акустика гелия. Первый и второй звуки. Способы возбуждения звуков. Соотношения между амплитудами колеблющихся величин.
5. Нелинейные свойства второго звука (зависимость нелинейности от температуры, задний ударный фронт, самофокусировка).
6. Нелинейное взаимодействие звуков, задачи устойчивости. Распадная и Черенковская неустойчивости.
7. Инварианты Римана. Распад волны энтропии.
8. Стохастические волновые процессы, связанная акустическая турбулентность. Диаграммная техника Уайлда, метод кинетических уравнений.
9. Решение кинетических уравнений методом Захарова. Спектры турбулентности первого и второго звуков.

10. Парадокс вращения. Квантовые вихри.
 11. Динамика квантовых вихрей, реконнекции (перезамыкания).
 12. Вихревые кольца, волны Кельвина, солитон Хасимоты
 13. Энергия и импульс квантовых вихрей.
 14. Вращающийся случай, решетки Ткаченко.
 15. Применение теории квантовых вихрей. Критические скорости. Взаимодействие с ионами. Проблемы визуализации вихревых нитей
 16. Стохастические квантовые вихри, квантовая турбулентность. Теория Фейнмана Вайнена.
 17. Связь с классической турбулентностью. проблемы энергетического спектра
 18. Проблемы затухания турбулентности. Гауссова теория вихревого клубка
 19. Нестационарный теплообмен в сверхтекучем гелии. Динамика интенсивных тепловых импульсов.
 20. Усредненная гидродинамика сверхтекучего гелия в присутствии вихревых нитей. Различные режимы нестационарного теплообмена. Времена вскипания, зависимость от тепловой нагрузки.
 21. Конденсат Бозе-Эйнштейна. Динамика бозе-конденсата, Уравнение Гросса-Питаевского. (Нелинейный Шредингер с диссипативной частью).
 22. Уравнения Гросса-Питаевского. Квантовые вихри в бозе-конденсата. Структура и динамика вихрей. Связь с квантовыми вихрями в сверхтекучем гелии.
 23. Преобразование Маделунга, гидродинамическая интерпретация динамики Бозе-конденсата
-

Примеры задач для самостоятельного решения

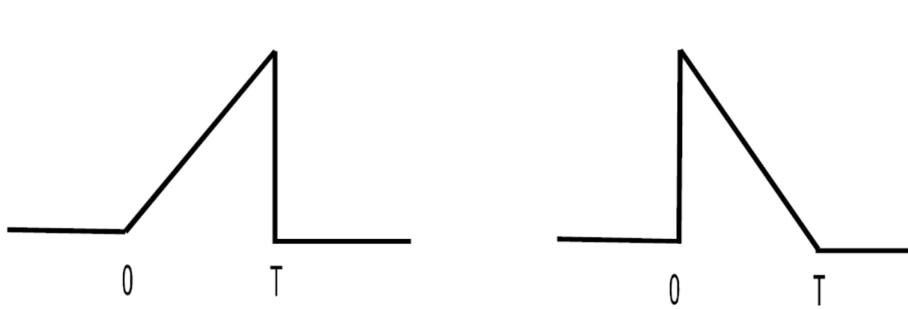
1. С помощью уравнения, описывающего эффект фонтанирования, вычислите перепад давления в сантиметрах He II, эквивалентный разности температур 10^{-3} К при 1,3 К. (При 1,3 К удельная энтропия He II и плотность He II равны соответственно 0,085 Дж/К-г и 0,145 г/см³.)

2. Описать формирование противотока - найти поле скоростей $v_n(x), v_s(x)$ и температуры $T(x)$ вблизи стенки при подачи стационарного теплового потока Q . Определить толщину переходного слоя при температуре $T=1.8\text{K}$. Скачок считать малым (задача линейная). Сдвиговая вязкость гелия $\eta=12.8 \cdot 10^{-6}$ П $\chi=10^4$ эрг/град см с. Остальными коэффициентами пренебречь.

3. В полупространстве ($x>0$) заполненном сверхтекучими гелием на стенке ($x=0$) подается тепловая нагрузка зависящая от времени $Q(t)$ (см. рисунок). Описать пространственно-временное поведение импульса второго звука. Рассмотреть случаи, когда коэффициент нелинейности второго звука $\alpha_2(T)$ (i) положительный, (ii) отрицательный, (iii) равен нулю.



4. В полупространстве ($x>0$) заполненном сверхтекучими гелием на стенке ($x=0$) подается импульс температуры (см. левый рисунок, высота ΔT), и одновременно импульс давления (см. правый рисунок, высота Δp). Описать пространственно-временное поведение импульсов первого и второго звуков.



5. Описать динамику вихревого кольца в сверхтекучем гелии при температуре 1.6 K (учитывая взаимное трение $\alpha=0.1$, α' пренебречь). Найти время коллапса.

6. Описать динамику волн Кельвина в сверхтекучем гелии при температуре 1.6 K с учетом взаимного трения. Найти закон дисперсии.

7. Два коаксиальных вихревых кольца (первоначально одинакового размера) двигаются на некотором отдалении друг от друга. Описать качественно их движение.

Форма экзаменационного билета представлена на рисунке

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

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 фонда оценочных средств
по дисциплине «Гидродинамика и теплообмен в сверхтекучих и криогенных жидкостях»
по направлению подготовки 03.04.02 Физика
Профиль «Общая и фундаментальная физика»**

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