

Министерство науки и высшего образования РФ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Национальный исследовательский университет «МЭИ»

Направление подготовки/специальность: 14.04.01 Ядерная энергетика и теплофизика

Наименование образовательной программы: Теплофизика и молекулярная физика

Уровень образования: высшее образование - магистратура

Форма обучения: Очная

Рабочая программа дисциплины
ВОЛНЫ И НЕУСТОЙЧИВОСТИ В СПЛОШНЫХ СРЕДАХ

Блок:	Блок 1 «Дисциплины (модули)»
Часть образовательной программы:	Часть, формируемая участниками образовательных отношений
№ дисциплины по учебному плану:	Б4.Ч.02
Трудоемкость в зачетных единицах:	3 семестр - 3;
Часов (всего) по учебному плану:	108 часов
Лекции	3 семестр - 16 часов;
Практические занятия	3 семестр - 32 часа;
Лабораторные работы	не предусмотрено учебным планом
Консультации	проводится в рамках часов аудиторных занятий
Самостоятельная работа	3 семестр - 59,7 часа;
в том числе на КП/КР	не предусмотрено учебным планом
Иная контактная работа	проводится в рамках часов аудиторных занятий
включая:	
Расчетно-графическая работа	
Промежуточная аттестация:	
Зачет	3 семестр - 0,3 часа;

Москва 2023

ПРОГРАММУ СОСТАВИЛ:

Преподаватель

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Герасимов Д.Н.
	Идентификатор	Ra5495398-GerasimovDN-6b58615

Д.Н. Герасимов

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель
образовательной программы

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Яньков Г.Г.
	Идентификатор	Rbb1f0c84-YankovGG-11a2e4dc

Г.Г. Яньков

Заведующий выпускающей
кафедрой

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Герасимов Д.Н.
	Идентификатор	Ra5495398-GerasimovDN-6b58615

Д.Н. Герасимов

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Цель освоения дисциплины: ознакомление с основами проблемами распространения волн в различных средах, необходимыми для практической деятельности инженеров теплофизиков, и методами экспериментального исследования систем, в которых распространение волн и генерация неустойчивостей играет важную роль

Задачи дисциплины

- освоение технологических процессов, в которых распространение волн и генерация неустойчивостей играет важную роль;
- приобретение навыков проведения численного эксперимента в области волновых систем.

Формируемые у обучающегося **компетенции** и запланированные **результаты обучения** по дисциплине, соотнесенные с **индикаторами достижения компетенций**:

Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции	Запланированные результаты обучения
ПК-1 Способен анализировать и моделировать физические процессы, используемые в атомной энергетике	ИД-1ПК-1 Имеет навыки математического описания и моделирования процессов в рабочих телах и элементах энергетических установок	знать: - Описание волн малой амплитуды в сплошных средах; - Методы получения дисперсионного уравнения для волн в газах; - Описание свободной конвекции в приближении Буссинеска. уметь: - Ставить граничные условия на поверхности раздела фаз и получать уравнения поверхностных волн.

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ ВО

Дисциплина относится к факультативным дисциплинам основной профессиональной образовательной программе Теплофизика и молекулярная физика (далее – ОПОП), направления подготовки 14.04.01 Ядерная энергетика и теплофизика, уровень образования: высшее образование - магистратура.

Базируется на уровне высшего образования (бакалавриат, специалитет).

Результаты обучения, полученные при освоении дисциплины, необходимы при выполнении выпускной квалификационной работы.

3. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

3.1 Структура дисциплины

Общая трудоемкость дисциплины составляет 3 зачетных единицы, 108 часов.

№ п/п	Разделы/темы дисциплины/формы промежуточной аттестации	Всего часов на раздел	Семестр	Распределение трудоемкости раздела (в часах) по видам учебной работы										Содержание самостоятельной работы/ методические указания	
				Контактная работа							СР				
				Лек	Лаб	Пр	Консультация		ИКР		ПА	Работа в семестре	Подготовка к аттестации /контроль		
КПР	ГК	ИККП	ТК												
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
1	Волны малой амплитуды в газе, твердом теле и плазме	26.7	3	4	-	8	-	-	-	-	-	14.7	-	<p><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u> Изучение дополнительного материала по разделу "Волны малой амплитуды в газе, твердом теле и плазме"</p> <p><u>Подготовка расчетных заданий:</u> Задания ориентированы на решения минизадч по разделу "Волны малой амплитуды в газе, твердом теле и плазме". Студенты необходимо повторить теоретический материал, разобрать примеры решения аналогичных задач. провести расчеты по варианту задания и сделать выводы. В качестве задания используются следующие упражнения:</p> <p><u>Изучение материалов литературных источников:</u></p> <p>[1], 5-60 [2], 1-92 [4], 1-92</p>	
1.1	Модели сплошных сред	13.7		2	-	4	-	-	-	-	-	7.7	-		
1.2	Волны малой амплитуды в газе, твердом теле и плазме	13		2	-	4	-	-	-	-	-	7	-		
2	Распространение слабых и сильных разрывов в газе	27		4	-	8	-	-	-	-	-	15	-		<p><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u> Изучение дополнительного материала по разделу "Распространение слабых и сильных разрывов в газе"</p> <p><u>Подготовка расчетных заданий:</u> Задания ориентированы на решения минизадч по разделу "Распространение слабых и сильных</p>
2.1	Распространение слабых и сильных разрывов в газе	27		4	-	8	-	-	-	-	-	15	-		

														разрывов в газе". Студенты необходимо повторить теоретический материал, разобрать примеры решения аналогичных задач. провести расчеты по варианту задания и сделать выводы. В качестве задания используются следующие упражнения: <u>Изучение материалов литературных источников:</u> [3], 5-105
3	Конвекция в подогреваемом снизу слое жидкости	27	4	-	8	-	-	-	-	-	15	-	-	<u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u> Изучение дополнительного материала по разделу "Конвекция в подогреваемом снизу слое жидкости" <u>Подготовка расчетных заданий:</u> Задания ориентированы на решения минизаданий по разделу "Конвекция в подогреваемом снизу слое жидкости". Студенты необходимо повторить теоретический материал, разобрать примеры решения аналогичных задач. провести расчеты по варианту задания и сделать выводы. В качестве задания используются следующие упражнения: <u>Изучение материалов литературных источников:</u> [3], 10-25
3.1	Конвекция в подогреваемом снизу слое жидкости	27	4	-	8	-	-	-	-	-	15	-	-	<u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u> Изучение дополнительного материала по разделу "Конвекция в подогреваемом снизу слое жидкости" <u>Подготовка расчетных заданий:</u> Задания ориентированы на решения минизаданий по разделу "Конвекция в подогреваемом снизу слое жидкости". Студенты необходимо повторить теоретический материал, разобрать примеры решения аналогичных задач. провести расчеты по варианту задания и сделать выводы. В качестве задания используются следующие упражнения: <u>Изучение материалов литературных источников:</u> [3], 10-25
4	Нелинейные волны в сплошных средах	27	4	-	8	-	-	-	-	-	15	-	-	<u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u> Изучение дополнительного материала по разделу "Нелинейные волны в сплошных средах" <u>Подготовка расчетных заданий:</u> Задания ориентированы на решения минизаданий по разделу "Нелинейные волны в сплошных средах". Студенты необходимо повторить теоретический материал, разобрать примеры решения аналогичных задач. провести расчеты по варианту задания и сделать выводы. В качестве задания используются следующие упражнения:
4.1	Поверхностные гравитационно – капиллярные волны на поверхности слоя жидкости конечной и бесконечной глубины	13	2	-	4	-	-	-	-	-	7	-	-	<u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u> Изучение дополнительного материала по разделу "Нелинейные волны в сплошных средах" <u>Подготовка расчетных заданий:</u> Задания ориентированы на решения минизаданий по разделу "Нелинейные волны в сплошных средах". Студенты необходимо повторить теоретический материал, разобрать примеры решения аналогичных задач. провести расчеты по варианту задания и сделать выводы. В качестве задания используются следующие упражнения:
4.2	Нелинейные волны в сплошных средах	14	2	-	4	-	-	-	-	-	8	-	-	<u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u> Изучение дополнительного материала по разделу "Нелинейные волны в сплошных средах" <u>Подготовка расчетных заданий:</u> Задания ориентированы на решения минизаданий по разделу "Нелинейные волны в сплошных средах". Студенты необходимо повторить теоретический материал, разобрать примеры решения аналогичных задач. провести расчеты по варианту задания и сделать выводы. В качестве задания используются следующие упражнения:

													<i><u>Изучение материалов литературных источников:</u></i>
	Зачет	0.3	-	-	-	-	-	-	-	0.3	-	-	[1], 1-412
	Всего за семестр	108.0	16	-	32	-	-	-	-	0.3	59.7	-	
	Итого за семестр	108.0	16	-	32	-	-	-	-	0.3	59.7	-	

Примечание: Лек – лекции; Лаб – лабораторные работы; Пр – практические занятия; КПр – аудиторные консультации по курсовым проектам/работам; ИККП – индивидуальные консультации по курсовым проектам/работам; ГК- групповые консультации по разделам дисциплины; СР – самостоятельная работа студента; ИКР – иная контактная работа; ТК – текущий контроль; ПА – промежуточная аттестация

3.2 Краткое содержание разделов

1. Волны малой амплитуды в газе, твердом теле и плазме

1.1. Модели сплошных сред

Дискретные и сплошные среды. Стационарные и эволюционные модели в физике и технике. Алгебраические модели. Модели, сводящиеся к обыкновенным дифференциальным уравнениям. Модели, сводящиеся к дифференциальным уравнениям в частных производных. Модели, сводящиеся к интегральным уравнениям. Системы с сосредоточенными параметрами. Стационарные состояния и особые точки дифференциальных уравнений. Бифуркации решений. Нелинейные эффекты. Понятие об устойчивости стационарного состояния. Линеаризация. Методы анализа эволюции малых возмущений. Периодические процессы в системах с сосредоточенными параметрами. Уравнение Ван-дер-Поля и предельные циклы. Системы с распределенными параметрами. Стационарные состояния. Понятие об устойчивости стационарного состояния. Методы исследования устойчивости стационарных состояний. Линеаризация и анализа эволюции малых возмущений. Устойчивость стационарных состояний относительно малых возмущений. Области устойчивости и нейтральная кривая. Критерии возникновения неустойчивостей на основе анализа корней дисперсионного уравнения. Метод локального дисперсионного уравнения. Периодические процессы в сплошных средах..

1.2. Волны малой амплитуды в газе, твердом теле и плазме

Различные формы записи уравнений движения и энергии. Стационарные состояния. Уравнения неразрывности, движения и энергии для малых возмущений. Линеаризация уравнений. Распространение малых возмущений в совершенном газе в безграничной среде. Дисперсионное уравнение. Типы волны в газе. Акустические волны в движущейся среде. Эффект Доплера. Волны Римана. Уравнения сплошной среды для вязкого и теплопроводного газа. Особенности распространения малых возмущений в вязком и теплопроводном газе. Дисперсионное уравнение для связанных энтропийных и акустических мод в вязком и теплопроводном газе. Дисперсионное уравнение. Влияние внешних сил и источников тепловыделения на распространение акустических колебаний в газе. Механизм генерации акустических колебаний Рэлея. Колебания и волны в твердом теле и низкотемпературной плазме. Уравнение динамики смещений в твердом теле. Феноменологическое уравнение состояния твердого тела. Вывод соотношений между тензорами напряжений и деформаций. Распространение звука в твердом теле. Продольная акустическая волна. Поперечные акустические волны. Определение местонахождения источника акустических возмущений. Основные свойства плазмы. Колебания и волны в низкотемпературной плазме. Ионизационные волны. Основные неустойчивости в низкотемпературной плазме: акустическая, перегревная, ионизационная, ионизационно-перегревная. Плазменная турбулентность. Турбулентные коэффициенты переноса..

2. Распространение слабых и сильных разрывов в газе

2.1. Распространение слабых и сильных разрывов в газе

Понятие о слабых и сильных разрывах. Скорости распространения слабых разрывов. Сильные разрывы. Соотношения на поверхности разрыва. Ударные и детонационные волны. Ионизирующие ударные волны в плазме. Соотношения на фронте ударной волны. Структура ударных и детонационных волн. Устойчивость ударных и детонационных волн. Волны горения и ионизации. Паводковые ударные волны в жидкости и скорости их распространения..

3. Конвекция в подогреваемом снизу слое жидкости

3.1. Конвекция в подогреваемом снизу слое жидкости

Конвекция Рэлея – Бенара в слое. Уравнения несжимаемой жидкости в модели Буссинеска. Стационарные состояния с слое жидкости с одностороннем нагреве. Линеаризация. Дисперсионное и характеристическое уравнения. Условия возникновения тепловой конвекции в жидкости для свободной и твердой поверхностей. Валы. Ячейки Бенара. Особенности теплопереноса при наличии конвекции в жидкости. 4. Поверхностные гравитационно – капиллярные волны на поверхности слоя жидкости. Гравитационно – капиллярные волны на поверхности слоя жидкости конечной и бесконечной глубины. Линейная задача. Нелинейные волны и методы разложения решения в ряд по малым параметрам задачи. Кноидальные волны и волны Стокса. Уравнение Кортевега – де Вриза. Солитон и его свойства. Взаимодействия солитонов. Взаимодействие волн и кинетическое уравнение В.Е. Захарова. Турбулентность поверхностных волн. Спектры турбулентности..

4. Нелинейные волны в сплошных средах

4.1. Поверхностные гравитационно – капиллярные волны на поверхности слоя жидкости конечной и бесконечной глубины

Гравитационно – капиллярные волны на поверхности слоя жидкости конечной и бесконечной глубины. Линейная задача. Нелинейные волны и методы разложения решения в ряд по малым параметрам задачи. Кноидальные волны и волны Стокса. Уравнение Кортевега – де Вриза. Солитон и его свойства. Взаимодействия солитонов. Взаимодействие волн и кинетическое уравнение В.Е. Захарова. Турбулентность поверхностных волн. Спектры турбулентности..

4.2. Нелинейные волны в сплошных средах

Особенности распространения нелинейных волн. Уравнение Кортевега – де Вриза. Солитоны и их свойства. Уравнение Кадомцева – Петвиашвили и двумерные солитоны. Уравнение синус Гордона. Уравнение Ландау для амплитуды. Волны огибающих. Нелинейное уравнение Шредингера для амплитуды огибающей волны. Волны в полупроводниках. Эффект Ганна. Некоторые общие методы решения нелинейных уравнений в частных производных..

3.3. Темы практических занятий

1. Неустойчивость поверхностных волн.;
2. Поверхностные волны.;
3. Конвекция Рэлея-Бенара.;
4. Ударные и детонационные волны.;
5. Колебания и волны в плазме.;
6. Акустические волны.;
7. Бифуркации в физических системах.;
8. Математическое описание сплошной среды..

3.4. Темы лабораторных работ не предусмотрено

3.5 Консультации

Текущий контроль (ТК)

1. Консультации направлены на получение индивидуального задания для выполнения контрольных мероприятий по разделу "Волны малой амплитуды в газе, твердом теле и плазме"
2. Консультации направлены на получение индивидуального задания для выполнения контрольных мероприятий по разделу "Распространение слабых и сильных разрывов в газе"
3. Консультации направлены на получение индивидуального задания для выполнения контрольных мероприятий по разделу "Конвекция в подогреваемом снизу слое жидкости"
4. Консультации направлены на получение индивидуального задания для выполнения контрольных мероприятий по разделу "Нелинейные волны в сплошных средах"

3.6 Тематика курсовых проектов/курсовых работ

Курсовой проект/ работа не предусмотрены

3.7. Соответствие разделов дисциплины и формируемых в них компетенций

Запланированные результаты обучения по дисциплине (в соответствии с разделом 1)	Коды индикаторов	Номер раздела дисциплины (в соответствии с п.3.1)				Оценочное средство (тип и наименование)
		1	2	3	4	
Знать:						
Описание свободной конвекции в приближении Буссинеска	ИД-1ПК-1			+		Расчетно-графическая работа/Конвекция Рэлея-Бенара
Методы получения дисперсионного уравнения для волн в газах	ИД-1ПК-1	+				Расчетно-графическая работа/Акустические волны
Описание волн малой амплитуды в сплошных средах	ИД-1ПК-1		+			Расчетно-графическая работа/Распространение волны ионизации
Уметь:						
Ставить граничные условия на поверхности раздела фаз и получать уравнения поверхностных волн	ИД-1ПК-1				+	Расчетно-графическая работа/Поверхностные волны

4. КОМПЕТЕНТНОСТНО-ОРИЕНТИРОВАННЫЕ ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ КОНТРОЛЯ ОСВОЕНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (ТЕКУЩИЙ КОНТРОЛЬ УСПЕВАЕМОСТИ, ПРОМЕЖУТОЧНАЯ АТТЕСТАЦИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ)

4.1. Текущий контроль успеваемости

3 семестр

Форма реализации: Письменная работа

1. Акустические волны (Расчетно-графическая работа)
2. Конвекция Рэлея-Бенара (Расчетно-графическая работа)
3. Поверхностные волны (Расчетно-графическая работа)
4. Распространение волны ионизации (Расчетно-графическая работа)

Балльно-рейтинговая структура дисциплины является приложением А.

4.2 Промежуточная аттестация по дисциплине

Зачет (Семестр №3)

По итогам КМ.

В диплом выставляется оценка за 3 семестр.

Примечание: Оценочные материалы по дисциплине приведены в фонде оценочных материалов ОПОП.

5. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

5.1 Печатные и электронные издания:

1. Артемов, В. И. Неустойчивости и турбулентность в низкотемпературной плазме / В. И. Артемов, Ю. С. Левитан, О. А. Синкевич. – М. : Изд-во МЭИ, 1994. – 412 с. - ISBN 5-7046-0037-9 : 800.00 .;
2. Синкевич, О. А. Акустические волны в плазме и твердом теле : учебное пособие по курсам "Физика твердого тела", "Физика плазмы", "Волны и неустойчивости в сплошных средах" по направлению "Техническая физика" / О. А. Синкевич ; Ред. В. В. Глазков ; Моск. энерг. ин-т (МЭИ ТУ) . – М. : Издательский дом МЭИ, 2007. – 92 с. - ISBN 978-5-383-00005-2 .;
3. Синкевич, О. А. Волны и неустойчивости в сплошных средах : учебное пособие по курсам "Волны и неустойчивости в сплошных средах", "Физика плазмы" по направлению "Техническая физика" / О. А. Синкевич, Нац. исслед. ун-т "МЭИ" . – М. : Изд-во МЭИ, 2016. – 264 с. - ISBN 978-5-7046-1772-3 .;
4. Синкевич О.А.- "Акустические волны в плазме и твердом теле", Издательство: "МЭИ", Москва, 2020
<https://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785383014288.html>.

5.2 Лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение:

1. Office / Российский пакет офисных программ;
2. Windows / Операционная система семейства Linux.

5.3 Интернет-ресурсы, включая профессиональные базы данных и информационно-справочные системы:

1. ЭБС Лань - <https://e.lanbook.com/>

2. ЭБС "Университетская библиотека онлайн" -

http://biblioclub.ru/index.php?page=main_ub_red

3. База данных Web of Science - <http://webofscience.com/>

4. База данных Scopus - <http://www.scopus.com>

6. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Тип помещения	Номер аудитории, наименование	Оснащение
Учебные аудитории для проведения лекционных занятий и текущего контроля	Т-417, Учебная аудитория	стол преподавателя, стол учебный, стул, шкаф, компьютерная сеть с выходом в Интернет, мультимедийный проектор, доска маркерная, компьютер персональный
Учебные аудитории для проведения практических занятий, КР и КП	Т-417, Учебная аудитория	стол преподавателя, стол учебный, стул, шкаф, компьютерная сеть с выходом в Интернет, мультимедийный проектор, доска маркерная, компьютер персональный
Учебные аудитории для проведения промежуточной аттестации	Т-417, Учебная аудитория	стол преподавателя, стол учебный, стул, шкаф, компьютерная сеть с выходом в Интернет, мультимедийный проектор, доска маркерная, компьютер персональный
Помещения для самостоятельной работы	Т-412, Учебная лаборатория вычислительной техники	стол преподавателя, стол учебный, стул, компьютерная сеть с выходом в Интернет, доска маркерная, компьютер персональный
Помещения для консультирования	Т-205, Учебная аудитория	стол преподавателя, стол учебный, стул, шкаф, доска маркерная
Помещения для хранения оборудования и учебного инвентаря	Т-213, Подсобное помещение	

БАЛЛЬНО-РЕЙТИНГОВАЯ СТРУКТУРА ДИСЦИПЛИНЫ

Волны и неустойчивости в сплошных средах

(название дисциплины)

3 семестр

Перечень контрольных мероприятий текущего контроля успеваемости по дисциплине:

- КМ-1 Акустические волны (Расчетно-графическая работа)
- КМ-2 Распространение волны ионизации (Расчетно-графическая работа)
- КМ-3 Конвекция Рэля-Бенара (Расчетно-графическая работа)
- КМ-4 Поверхностные волны (Расчетно-графическая работа)

Вид промежуточной аттестации – Зачет.

Номер раздела	Раздел дисциплины	Индекс КМ:	КМ-1	КМ-2	КМ-3	КМ-4
		Неделя КМ:	12	13	14	15
1	Волны малой амплитуды в газе, твердом теле и плазме					
1.1	Модели сплошных сред		+			
1.2	Волны малой амплитуды в газе, твердом теле и плазме		+			
2	Распространение слабых и сильных разрывов в газе					
2.1	Распространение слабых и сильных разрывов в газе			+		
3	Конвекция в подогреваемом снизу слое жидкости					
3.1	Конвекция в подогреваемом снизу слое жидкости				+	
4	Нелинейные волны в сплошных средах					
4.1	Поверхностные гравитационно – капиллярные волны на поверхности слоя жидкости конечной и бесконечной глубины					+
4.2	Нелинейные волны в сплошных средах					+
Вес КМ, %:			25	25	25	25