

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

(должность)

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

(подпись)

Д.Н. Герасимов

(расшифровка подписи)

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель
образовательной программы

(должность, ученая степень, ученое звание)

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

(подпись)

Г.Г. Яньков

(расшифровка подписи)

Заведующий выпускающей
кафедры

(должность, ученая степень, ученое звание)

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

(подпись)

Д.Н. Герасимов

(расшифровка подписи)

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 среднего общего образования.

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"
3.1	Конвекция в подогреваемом снизу слое жидкости	27	4	-	8	-	-	-	-	-	15	-	<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"
4.1	Поверхностные гравитационно – капиллярные волны на поверхности слоя жидкости конечной и бесконечной глубины	13	2	-	4	-	-	-	-	-	7	-	<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	-	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. Математическое описание сплошной среды.;
2. Бифуркации в физических системах.;
3. Акустические волны.;
4. Колебания и волны в плазме.;
5. Ударные и детонационные волны.;
6. Конвекция Рэлея-Бенара.;
7. Поверхностные волны.;
8. Неустойчивость поверхностных волн..

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