

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

---

Направление подготовки/специальность: 14.03.01 Ядерная энергетика и теплофизика

Наименование образовательной программы: Термоядерные реакторы и плазменные установки

Уровень образования: высшее образование - бакалавриат

Форма обучения: Очная


**Рабочая программа дисциплины**  
**ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПЛАЗМЕННЫХ ПРОЦЕССОВ**

<b>Блок:</b>	<b>Блок 1 «Дисциплины (модули)»</b>
<b>Часть образовательной программы:</b>	<b>Часть, формируемая участниками образовательных отношений</b>
<b>№ дисциплины по учебному плану:</b>	<b>Б1.Ч.05</b>
<b>Трудоемкость в зачетных единицах:</b>	6 семестр - 2; 7 семестр - 4; всего - 6
<b>Часов (всего) по учебному плану:</b>	<b>216 часов</b>
<b>Лекции</b>	6 семестр - 14 часов; 7 семестр - 16 часов; всего - 30 часов
<b>Практические занятия</b>	6 семестр - 28 часа; 7 семестр - 48 часа; всего - 76 часа
<b>Лабораторные работы</b>	не предусмотрено учебным планом
<b>Консультации</b>	проводится в рамках часов аудиторных занятий
<b>Самостоятельная работа</b>	6 семестр - 29,7 часа; 7 семестр - 79,7 часа; всего - 109,4 часов
<b>в том числе на КП/КР</b>	не предусмотрено учебным планом
<b>Иная контактная работа</b>	проводится в рамках часов аудиторных занятий
<b>включая:</b> Коллоквиум Контрольная работа Тестирование Программирование (код)	
<b>Промежуточная аттестация:</b>	
<b>Зачет с оценкой</b>	6 семестр - 0,3 часа;
<b>Зачет с оценкой</b>	7 семестр - 0,3 часа; всего - 0,6 часа

**Москва 2023**

**ПРОГРАММУ СОСТАВИЛ:**


Преподаватель

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Лубенченко А.В.
	Идентификатор	R4e612482-LubenchenkoAV-ecf64b

А.В. Лубенченко


**СОГЛАСОВАНО:**

Руководитель образовательной программы

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Дедов А.В.
	Идентификатор	R72c90f41-DedovAV-d71cc7f4

А.В. Дедов

Заведующий выпускающей кафедрой

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Дедов А.В.
	Идентификатор	R72c90f41-DedovAV-d71cc7f4

А.В. Дедов

## 1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

**Цель освоения дисциплины:** изучение методов имитационного моделирования для последующего использования в ядерной энергетике и физике плазмы

### Задачи дисциплины

- ознакомление с основными понятиями и методами имитационного моделирования систем в ядерной энергетике и физике плазмы;
- приобретение навыков практического решения задач методами молекулярной динамики и монте-карловского моделирования;
- обучение использованию математического пакета MATLAB для решения задач физики плазмы;
- обучение программированию и отладке программ в системе MATLAB.

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-2 Способен к участию в лабораторном и численном эксперименте, обработке опытных данных	ИД-1 <sub>ПК-2</sub> Владеет основными понятиями и методами имитационного моделирования процессов в плазме и воздействия плазмы на материалы	<p>знать:</p> <ul style="list-style-type: none"><li>- математические основы, понятия, закономерности метода молекулярной динамики;</li><li>- возможности математического пакета MATLAB для решения задач ядерной энергетики и физики плазмы;</li><li>- объектно-ориентированное программирование в системе MATLAB;</li><li>- математические основы, понятия, закономерности метода Монте-Карло.</li></ul> <p>уметь:</p> <ul style="list-style-type: none"><li>- создавать и отлаживать программы имитационного моделирования используя систему MATLAB;</li><li>- выполнять компьютерный эксперимент с помощью программ имитационного моделирования и проводить обработку и анализ результатов компьютерного эксперимента;</li><li>- разрабатывать алгоритмы, основанные на методах Монте-Карло;</li><li>- разрабатывать алгоритмы, основанные на методах молекулярной динамики.</li></ul>

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ ВО

Дисциплина относится к основной профессиональной образовательной программе Термоядерные реакторы и плазменные установки (далее – ОПОП), направления подготовки 14.03.01 Ядерная энергетика и теплофизика, уровень образования: высшее образование - бакалавриат.

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 6 зачетных единиц, 216 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	MatLab: основы и применение	22	6	6	-	12	-	-	-	-	-	4	-	<p><b><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u></b> Изучение дополнительного материала по разделу "MatLab: основы и применение"</p> <p><b><u>Подготовка домашнего задания:</u></b> Подготовка домашнего задания направлена на отработку умений решения профессиональных задач. Домашнее задание выдается студентам по изученному в разделе "MatLab: основы и применение" материалу. Дополнительно студенту необходимо изучить литературу и разобрать примеры выполнения подобных заданий. Проверка домашнего задания проводится по представленным письменным работам.</p> <p><b><u>Подготовка к текущему контролю:</u></b> Повторение материала по разделу "MatLab: основы и применение"</p> <p><b><u>Подготовка к практическим занятиям:</u></b> Изучение материала по разделу "MatLab: основы и применение" подготовка к выполнению заданий на практических занятиях</p> <p><b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b> [6], 5-252</p>	
1.1	Система MatLab	3		1	-	2	-	-	-	-	-	-	-		
1.2	Программирование в MatLab	6		2	-	3	-	-	-	-	-	-	1		-
1.3	Решение практических задач в системе MatLab	5		1	-	3	-	-	-	-	-	-	1		-
1.4	Построение графиков в системе MatLab	4		1	-	2	-	-	-	-	-	-	1		-
1.5	Инструментарий MatLab	4		1	-	2	-	-	-	-	-	-	1		-
2	Имитационное моделирование	14		4	-	6	-	-	-	-	-	4	-	<p><b><u>Подготовка к практическим занятиям:</u></b> Изучение материала по разделу</p>	

2.1	Имитационное моделирование физических процессов	4	1	-	2	-	-	-	-	-	1	-	"Имитационное моделирование" подготовка к выполнению заданий на практических занятиях
2.2	Детерминистические методы	4	1	-	2	-	-	-	-	-	1	-	<b><u>Подготовка к текущему контролю:</u></b> Повторение материала по разделу
2.3	Стохастические методы	4	1	-	2	-	-	-	-	-	1	-	"Имитационное моделирование"
2.4	Программы имитационного моделирования	2	1	-	-	-	-	-	-	-	1	-	<b><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u></b> Изучение дополнительного материала по разделу "Имитационное моделирование" <b><u>Подготовка домашнего задания:</u></b> Подготовка домашнего задания направлена на отработку умений решения профессиональных задач. Домашнее задание выдается студентам по изученному в разделе "Имитационное моделирование" материалу. Дополнительно студенту необходимо изучить литературу и разобрать примеры выполнения подобных заданий. Проверка домашнего задания проводится по представленным письменным работам.
3	Молекулярная динамика	18	4	-	10	-	-	-	-	-	4	-	<b><u>Подготовка к практическим занятиям:</u></b> Изучение материала по разделу
3.1	Численное моделирование методом частиц	4	1	-	2	-	-	-	-	-	1	-	"Молекулярная динамика" подготовка к выполнению заданий на практических занятиях
3.2	Схемы интегрирования по времени уравнений Ньютона	5	1	-	3	-	-	-	-	-	1	-	<b><u>Подготовка к текущему контролю:</u></b> Повторение материала по разделу "Молекулярная динамика"
3.3	Начальные и граничные условия	4	1	-	2	-	-	-	-	-	1	-	<b><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u></b> Изучение дополнительного материала по разделу
3.4	Определение макро- и микроскопических характеристик среды на основе расчета траекторий частиц.	5	1	-	3	-	-	-	-	-	1	-	"Молекулярная динамика" <b><u>Подготовка домашнего задания:</u></b> Подготовка домашнего задания направлена на отработку умений решения профессиональных задач. Домашнее задание выдается студентам по изученному в разделе "Молекулярная динамика" материалу.

														Дополнительно студенту необходимо изучить литературу и разобрать примеры выполнения подобных заданий. Проверка домашнего задания проводится по представленным письменным работам. <b><u>Подготовка доклада, выступления:</u></b> Задание связано с углубленным изучением разделов дисциплины и самостоятельным поиском материалов для раскрытия темы доклада. Материалы выполненной работы представляются в электронном виде или в форме распечатанных презентационных слайдов. В качестве тем докладов студентам предлагаются следующие варианты: <b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b> [4], 5-156
	Зачет с оценкой	18.0		-	-	-	-	-	-	-	0.3	-	17.7	
	Всего за семестр	72.0		14	-	28	-	-	-	-	0.3	12	17.7	
	Итого за семестр	72.0		14	-	28	-	-	-	-	0.3	29.7		
4	Метод Монте-Карло	25	7	5	-	10	-	-	-	-	-	10	-	<b><u>Подготовка к практическим занятиям:</u></b> Изучение материала по разделу "Метод Монте-Карло" подготовка к выполнению заданий на практических занятиях
4.1	Математические основы метода Монте-Карло	5		1	-	2	-	-	-	-	-	2	-	
4.2	Генераторы случайных чисел	5		1	-	2	-	-	-	-	-	2	-	<b><u>Подготовка к текущему контролю:</u></b> Повторение материала по разделу "Метод Монте-Карло"
4.3	Моделирование непрерывных случайных величин	5		1	-	2	-	-	-	-	-	2	-	<b><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u></b> Изучение дополнительного материала по разделу "Метод Монте-Карло"
4.4	Расчёт интегралов методом Монте-Карло	5		1	-	2	-	-	-	-	-	2	-	
4.5	Монте-Карловское моделирование рассеяния частиц в веществе	5		1	-	2	-	-	-	-	-	2	-	<b><u>Подготовка домашнего задания:</u></b> Подготовка домашнего задания направлена на отработку умений решения профессиональных задач. Домашнее задание выдается студентам по изученному в разделе "Метод Монте-Карло" материалу. Дополнительно студенту необходимо изучить литературу и разобрать примеры

													выполнения подобных заданий. Проверка домашнего задания проводится по представленным письменным работам. <b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b> [3], 4-100 [5], 20-120
5	Объектно-ориентированное программирование имитационных моделей	52	6	-	22	-	-	-	-	-	24	-	<b><u>Подготовка к практическим занятиям:</u></b> Изучение материала по разделу "Объектно-ориентированное программирование имитационных моделей" подготовка к выполнению заданий на практических занятиях
5.1	Объектно-ориентированное программирование в системе MatLab	13	1	-	6	-	-	-	-	-	6	-	<b><u>Подготовка к текущему контролю:</u></b> Повторение материала по разделу "Объектно-ориентированное программирование имитационных моделей"
5.2	Создание графического интерфейса пользователя (GUI) в системе MatLab	12	1	-	5	-	-	-	-	-	6	-	<b><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u></b> Изучение дополнительного материала по разделу "Объектно-ориентированное программирование имитационных моделей"
5.3	Объектно-ориентированное программирование: молекулярная динамика	13	2	-	5	-	-	-	-	-	6	-	<b><u>Подготовка домашнего задания:</u></b> Подготовка домашнего задания направлена на отработку умений решения профессиональных задач. Домашнее задание выдается студентам по изученному в разделе "Объектно-ориентированное программирование имитационных моделей" материалу. Дополнительно студенту необходимо изучить литературу и разобрать примеры выполнения подобных заданий. Проверка домашнего задания проводится по представленным письменным работам.
5.4	Объектно-ориентированное программирование: метод Монте-Карло	14	2	-	6	-	-	-	-	-	6	-	<b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b> [1], 126-230
6	Компьютерный эксперимент	49	5	-	16	-	-	-	-	-	28	-	<b><u>Подготовка домашнего задания:</u></b> Подготовка домашнего задания направлена



6.1	Молекулярно динамическое моделирование заряженных частиц в осесимметричной ловушке	11		1	-	4	-	-	-	-	-	6	-	на отработку умений решения профессиональных задач. Домашнее задание выдается студентам по изученному в разделе "Компьютерный эксперимент" материалу. Дополнительно студенту необходимо изучить литературу и разобрать примеры выполнения подобных заданий. Проверка домашнего задания проводится по представленным письменным работам.
6.2	Молекулярно динамическое моделирование одномерной плазмы	11		1	-	4	-	-	-	-	-	6	-	<b><u>Самостоятельное изучение</u></b>
6.3	Сто миллионов траекторий МК	13		1	-	4	-	-	-	-	-	8	-	<b><u>теоретического материала:</u></b> Изучение дополнительного материала по разделу "Компьютерный эксперимент"
6.4	Отражение электронов от двухслойная оксид-металлическая мишени с неровной поверхностью	14		2	-	4	-	-	-	-	-	8	-	<b><u>Подготовка расчетных заданий:</u></b> Задания ориентированы на решения минизаданий по разделу "Компьютерный эксперимент". Студенты необходимо повторить теоретический материал, разобрать примеры решения аналогичных задач. провести расчеты по варианту задания и сделать выводы. <b><u>Подготовка к практическим занятиям:</u></b> Изучение материала по разделу "Компьютерный эксперимент" подготовка к выполнению заданий на практических занятиях <b><u>Подготовка к текущему контролю:</u></b> Повторение материала по разделу "Компьютерный эксперимент" <b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b>
	Зачет с оценкой	18.0		-	-	-	-	-	-	-	0.3	-	17.7	[2], 126-300
	Всего за семестр	144.0		16	-	48	-	-	-	-	0.3	62	17.7	
	Итого за семестр	144.0		16	-	48	-	-	-	-	0.3	79.7		
	ИТОГО	216.0	-	30	-	76	-	-	-	-	0.6	109.4		

**Примечание:** Лек – лекции; Лаб – лабораторные работы; Пр – практические занятия; КПП – 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. MatLab: основы и применение

#### 1.1. Система MatLab

Интерфейс MatLab. Система помощи в MatLab. Рабочие окна: командное окно, область данных, текущая папка. Режим командной строки. Набор команд, Основные операции в MatLab. Сценарии и функции. Документирование функций.

#### 1.2. Программирование в MatLab

Типы данных MatLab. Массивы. Индексация массивов. Операторы условного перехода. Циклы. Векторизация циклов в MatLab. m-сценарии и m-функции. Редактирование и отладка программ.

#### 1.3. Решение практических задач в системе MatLab

Задачи линейной алгебры. Решение нелинейных уравнений и систем уравнений. Нахождение экстремумов функции, интерполяция и регрессия. Решение обыкновенных дифференциальных уравнений.

#### 1.4. Построение графиков в системе MatLab

Графические объекты MatLab. Построение 2D-графиков. Построение 3D-графиков. Специальная графика.

#### 1.5. Инструментарий MatLab

Инструменты MatLab. Symbolic Math Toolbox. Curve Fitting Toolbox. Partial Differential Equation Toolbox.

### 2. Имитационное моделирование

#### 2.1. Имитационное моделирование физических процессов

Основные составляющие процесса моделирования. Физическая модель. Математическая модель. Компьютерная модель. Особенности имитационного моделирования.

#### 2.2. Детерминистические методы

Задача N-тел. Система уравнений Ньютона. Построение траекторий тел исходя из внутренних законов системы. Молекулярная динамика. Ограничения метода Молекулярной динамики.

#### 2.3. Стохастические методы

Задача N-тел. Кинетические уравнения. Построение траекторий тел исходя из вероятностей рассеяния. Метод Монте-Карло. Ограничения метода Монте-Карло.

#### 2.4. Программы имитационного моделирования

Пакеты молекулярной динамики Gromacs, NAMD, LAMMPS. Программы МК-моделирования электронного рассеяния: CASINO, EGSnrc, Geant4, MCNP5 и Penelope. Программы МК-моделирования ионного рассеяния и распыления: TRIM, TRIM-SP.

### 3. Молекулярная динамика

#### 3.1. Численное моделирование методом частиц

Вычислительные модели частиц. Модель частица-частица. Модель частица-сетка. Модель частица-частица — частица-сетка.

### 3.2. Схемы интегрирования по времени уравнений Ньютона

Схема с перешагиванием. Схема Верле. Скоростная модификация Верле. Схеме Рунге-Кутты второго и четвертого порядка.

### 3.3. Начальные и граничные условия

Начальные условия для координат и скоростей. Системы с постоянным числом частиц. Периодические граничные условия. Системы с постоянной температурой стенки. Системы, находящейся под постоянным давлением.

3.4. Определение макро- и микроскопических характеристик среды на основе расчета траекторий частиц.

Обезразмеривание уравнения Ньютона. Расчет кинетической и потенциальной энергий системы. Теплоемкость системы. Коэффициент самодиффузии.

## 4. Метод Монте-Карло

### 4.1. Математические основы метода Монте-Карло

Основные понятия теории вероятности. Предельные теоремы теории вероятности. Математическая статистика.

### 4.2. Генераторы случайных чисел

Алгоритмические генераторы случайных чисел. Линейные конгруэнтные генераторы. Вихрь Мерсенна (Mersenne twister). Функция rand MatLab.

### 4.3. Моделирование непрерывных случайных величин

Метод Неймана (метод отбора). Метод суперпозиций. Метод обратных функций.

### 4.4. Расчёт интегралов методом Монте-Карло

Интегрирование функций ограниченных на интервале. Метод "стрельбы". Метод интегрирования на основе математического ожидания.

### 4.5. Монте-Карловское моделирование рассеяния частиц в веществе

Физическая модель взаимодействия частиц с веществом. МК моделирование упругого рассеяния частиц. МК моделирование упругого и неупругого рассеяния частиц. Моделирование рассеяния частиц в неоднородных средах. Статистическая обработка результатов моделирования. Весовые методы. Локальная оценка.

## 5. Объектно-ориентированное программирование имитационных моделей

### 5.1. Объектно-ориентированное программирование в системе MatLab

Определение классов и использование их атрибутов. Классы, свойства, методы. Типы классов. Value- и Handle-классы. События и реагирование на события. Объекты-контейнеры. Принципы и практика создания иерархии классов. Инструменты разработки программного обеспечения.

### 5.2. Создание графического интерфейса пользователя (GUI) в системе MatLab

Графические объекты MATLAB. Иерархия графического объекта. Разработка классов графика. Идентификация графического объекта. Интерактивное управление и обратные вызовы. Разработка приложений GUI с использованием графических объектов MATLAB. Разработка приложений GUI в App Designer. Создание веб-приложений.

#### 5.3. Объектно-ориентированное программирование: молекулярная динамика

Проектирование объектов молекулярной динамики. Класс "частица". Класс "траектория". Класс "микроскопические характеристики". Класс "макроскопические характеристики". Разработка приложения GUI молекулярной динамики.

#### 5.4. Объектно-ориентированное программирование: метод Монте-Карло

Проектирование объектов метода Монте-Карло. Класс "источник". Класс "материал". Класс "траектория". Класс "статистическая обработка". Разработка приложения GUI метода Монте-Карло.

### 6. Компьютерный эксперимент

#### 6.1. Молекулярно динамическое моделирование заряженных частиц в осесимметричной ловушке

Физическая и математическая модель заряженных частиц в осесимметричной ловушке. Построение дискретной модели: уравнение движение, внешние потенциальные поля. Численные алгоритмы: безразмерные единицы, выбор схемы интегрирования, проблема выбора шага по времени. Вычислительные эксперименты: кинетическая и потенциальная энергии, кулоновские кристаллы.

#### 6.2. Молекулярно динамическое моделирование одномерной плазмы

Физическая и математическая модель одномерной плазмы. Построение дискретной модели: уравнение движение, уравнение полей, раздача заряда и интерполяция силы. Численные алгоритмы: безразмерные единицы, раздача заряда, уравнение Пуассона. Вычислительные эксперименты: двухчастичный тест, дисперсия волн, холодная плазма, двухпоточковая неустойчивость.

#### 6.3. Сто миллионов траекторий МК

Оценка времени и точности расчета по программе МК моделирования. Эффективность алгоритмов МК. Повышение эффективности программы МК моделирования. Метод банка случайных чисел. Матричный метод МК.

#### 6.4. Отражение электронов от двухслойная оксид-металлическая мишени с неровной поверхностью

Физическая и математическая модель отражение электронов от двухслойной мишени. Построение дискретной модели: построение стохастической траектории частицы в двухслойной мишени. Численные алгоритмы: построение стохастической траектории частицы, статистическая обработка. Вычислительные эксперименты: двухслойная оксид-металлическая мишени, двухслойная мишень со стохастической поверхностью.

### **3.3. Темы практических занятий**

1. Объектно-ориентированное программирование в системе MATLAB: Определение классов и использование их атрибутов. Классы, свойства, методы. Типы классов. (2 часа);
2. Создание интерфейса в системе MATLAB. GUI-интерфейс. (4 часа);

3. Сечения рассеяния электронов в твердом теле. (2 часа);
4. Защита расчетного задания. (2 часа);
5. Статистическая обработка в методе МК. Тест 4 «Метод Монте-Карло». (2 часа);
6. Объектно-ориентированное программирование в системе MATLAB: Value- и Handle-классы. События и реагирование на события. (2 часа);
7. Контрольная работа №3 «Решение уравнений и минимизация в системе MATLAB». (2 часа);
8. Моделирование рассеяния ионов в твердом теле методом МК. (4 часа);
9. Toolbox в системе MATLAB. (2 часа);
10. Решение задачи регрессии с помощью Curve Fitting (CF) Toolbox (2 часа);
11. Методы ускорения МК моделирования. Параллельные вычисления. (2 часа);
12. Метод Монте-Карло (МК). Расчёт интегралов методом МК. Метод обратных функций. (2 часа);
13. Построение стохастической траектории движение частицы.(2 часа);
14. Объектно-ориентированное программирование в системе MATLAB: Принципы и практика создания иерархии классов. Тест 3 «Объектно-ориентированное программирование в системе MATLAB». (4 часа);
15. Программирование: написание сценариев, написание функций. Использование отладчика. (2 час);
16. Решение задач линейной алгебры в системе MATLAB. (2 часа);
17. Основы молекулярной динамики. Численное моделирование методом частиц. (2 часа);
18. Работа с арифметическими операторами, математическими функциями. Встроенные и собственные функции. Базовые операции над массивами. (2 часа);
19. Построение 2D- и 3D-графиков. Тест 1 «Система MATLAB» (2 часа);
20. Интегрирование и дифференцирование в системе MATLAB.(2 часа);
21. Контрольная работа №1 «Решение системы обыкновенных дифференциальных уравнений». (2 часа);
22. Схемы интегрирования по времени уравнений Ньютона. Согласованность и точность разностной аппроксимации. Устойчивость и эффективность разностной схемы. Выбор временного шага.(2 часа);
23. Моделирование методом молекулярной динамики траекторий движения частиц. Тест 2 «Молекулярная динамика». (4 часа);
24. Одномерная модель плазмы. (2 часа);
25. Контрольная работа №2 «Моделирование методом молекулярной динамики траекторий движения частиц». (4 часа);
26. . Вычислительные методы в физике. Физическая модель, математическая модель, компьютерная модель. (4 часа);
27. Потенциалы рассеяния и сечения рассеяния ионов в твердом теле. (2 часа);
28. Контрольная работа 3. Моделирование траекторий движения частиц методом Монте-Карло в системе MATLAB. (2 часа);
29. Весовые методы. Локальная оценка метода МК. (2 часа);
30. Интерфейс и возможности системы MATLAB. Настройка рабочей среды. Основные объекты и команды. (2 часа);
31. Моделирование рассеяния электронов в твердом теле методом МК. (2 часа);
32. Решение уравнений математической физики с помощью PartialDifferentialEquations (PDE) Toolbox. (2 часа).

### **3.4. Темы лабораторных работ не предусмотрено**

### **3.5 Консультации**

### **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	5	6	
<b>Знать:</b>								
математические основы, понятия, закономерности метода Монте-Карло	ИД-1ПК-2				+			Тестирование/Метод Монте-Карло
объектно-ориентированное программирование в системе MATLAB	ИД-1ПК-2					+		Тестирование/Программирование в системе MATLAB
возможности математического пакета MATLAB для решения задач ядерной энергетики и физики плазмы	ИД-1ПК-2	+						Контрольная работа/Решение обыкновенных дифференциальных уравнений в MatLab Коллоквиум/Система компьютерной математики MATLAB
математические основы, понятия, закономерности метода молекулярной динамики	ИД-1ПК-2		+					Тестирование/Имитационное моделирование физических процессов
<b>Уметь:</b>								
разрабатывать алгоритмы, основанные на методах молекулярной динамики	ИД-1ПК-2			+				Контрольная работа/Моделирование траекторий движения частиц методом молекулярной динамики в системе MATLAB
разрабатывать алгоритмы, основанные на методах Монте-Карло	ИД-1ПК-2				+			Контрольная работа/Моделирование траекторий движения частиц методом Монте-Карло в системе MATLAB
выполнять компьютерный эксперимент с помощью программ имитационного моделирования и проводить обработку и анализ результатов компьютерного эксперимента	ИД-1ПК-2						+	Программирование (код)/Защита расчетного задания
создавать и отлаживать программы имитационного моделирования используя систему MATLAB	ИД-1ПК-2					+		Программирование (код)/Защита расчетного задания



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

### **4.1. Текущий контроль успеваемости**

#### **6 семестр**

Форма реализации: Билеты (письменный опрос)

1. Система компьютерной математики MATLAB (Коллоквиум)

Форма реализации: Компьютерное задание

1. Имитационное моделирование физических процессов (Тестирование)
2. Моделирование траекторий движения частиц методом молекулярной динамики в системе MATLAB (Контрольная работа)
3. Решение обыкновенных дифференциальных уравнений в MatLab (Контрольная работа)

#### **7 семестр**

Форма реализации: Компьютерное задание

1. Защита расчетного задания (Программирование (код))
2. Метод Монте-Карло (Тестирование)
3. Моделирование траекторий движения частиц методом Монте-Карло в системе MATLAB (Контрольная работа)
4. Программирование в системе MATLAB (Тестирование)

Балльно-рейтинговая структура дисциплины является приложением А.

### **4.2 Промежуточная аттестация по дисциплине**

*Зачет с оценкой (Семестр №6)*

Оценка определяется в соответствии с Положением о балльно-рейтинговой системе для студентов НИУ «МЭИ» на основании семестровой и аттестационной составляющих.

*Зачет с оценкой (Семестр №7)*

Оценка определяется в соответствии с Положением о балльно-рейтинговой системе для студентов НИУ «МЭИ» на основании семестровой и аттестационной составляющих.

В диплом выставляется оценка за 7 семестр.

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

## **5. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

### **5.1 Печатные и электронные издания:**

1. Потемкин, В. Г. Введение в MATLAB / В. Г. Потемкин . – М. : Диалог-МИФИ, 2000 . – 247 с. - ISBN 5-86404-140-8 : 39.50 .;
2. Аккерман, А. Ф. Решение методом Монте-Карло задач переноса быстрых электронов в веществе / А. Ф. Аккерман, Ю. М. Никитушев, В. А. Ботвин, АН Казахской ССР. Институт физики высоких энергий . – : Наука, 1972 . – 163 с.;
3. Соболев, И. М. Численные методы Монте-Карло / И. М. Соболев . – М. : Наука, 1973 . – 312 с.;

4. Метод молекулярной динамики в физической химии / Науч.-исслед. физико-химический ин-т им. Л.Я. Карпова Рос. акад. наук . – М. : Наука, 1996 . – 334 с. - ISBN 5-02-001907-0 : 20000.00 .;
5. Н. М. Соболевский- "Метод Монте-Карло в задачах о взаимодействии частиц с веществом", Издательство: "Физматлит", Москва, 2017 - (204 с.)  
<https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=485499>;
6. Амос Г.- "MATLAB. Теория и практика", (5-е изд.), Издательство: "ДМК Пресс", Москва, 2016 - (416 с.)  
[http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1\\_id=82814](http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_id=82814).

### 5.2 Лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение:

1. СДО "Прометей";
2. Office / Российский пакет офисных программ;
3. Windows / Операционная система семейства Linux;
4. Видеоконференции (Майнд, Сберджаз, ВК и др);
5. Python.

### 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](http://biblioclub.ru/index.php?page=main_ub_red)
3. Научная электронная библиотека - <https://elibrary.ru/>
4. База данных ВИНТИ online - <http://www.viniti.ru/>
5. База данных журналов издательства Elsevier - <https://www.sciencedirect.com/>
6. Электронные ресурсы издательства Springer - <https://link.springer.com/>
7. База данных Web of Science - <http://webofscience.com/>
8. База данных Scopus - <http://www.scopus.com>
9. Национальная электронная библиотека - <https://rusneb.ru/>
10. Журналы American Physical Society - <https://journals.aps.org/about>
11. Журналы издательства Cambridge University Press - <https://www.cambridge.org/core>
12. Электронная библиотека МЭИ (ЭБ МЭИ) - <http://elib.mpei.ru/login.php>
13. Портал открытых данных Российской Федерации - <https://data.gov.ru>

### 6. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Тип помещения	Номер аудитории, наименование	Оснащение
Учебные аудитории для проведения лекционных занятий и текущего контроля	А-110, Вычислительная лаборатория	стол преподавателя, стол компьютерный, стул, доска интерактивная, компьютерная сеть с выходом в Интернет, мультимедийный проектор, указка лазерная, многофункциональный центр, сервер, компьютер персональный, принтер, наборы демонстрационного оборудования
Учебные аудитории для проведения практических занятий, КР и КП	А-110, Вычислительная лаборатория	стол преподавателя, стол компьютерный, стул, доска интерактивная, компьютерная сеть с выходом в Интернет, мультимедийный проектор, указка лазерная, многофункциональный центр, сервер, компьютер персональный, принтер, наборы демонстрационного оборудования

Учебные аудитории для проведения промежуточной аттестации	А-110, Вычислительная лаборатория	стол преподавателя, стол компьютерный, стул, доска интерактивная, компьютерная сеть с выходом в Интернет, мультимедийный проектор, указка лазерная, многофункциональный центр, сервер, компьютер персональный, принтер, наборы демонстрационного оборудования
Помещения для самостоятельной работы	А-110, Вычислительная лаборатория	стол преподавателя, стол компьютерный, стул, доска интерактивная, компьютерная сеть с выходом в Интернет, мультимедийный проектор, указка лазерная, многофункциональный центр, сервер, компьютер персональный, принтер, наборы демонстрационного оборудования
Помещения для консультирования	А-208, Преподавательская	кресло рабочее, рабочее место сотрудника, стол, шкаф для документов, компьютерная сеть с выходом в Интернет, колонки, компьютер персональный, принтер
Помещения для хранения оборудования и учебного инвентаря	А-025, Кладовка лабораторного оборудования	стеллаж, оборудование специализированное

**БАЛЛЬНО-РЕЙТИНГОВАЯ СТРУКТУРА ДИСЦИПЛИНЫ****Имитационное моделирование плазменных процессов**

(название дисциплины)

**6 семестр****Перечень контрольных мероприятий текущего контроля успеваемости по дисциплине:**

- КМ-1 Система компьютерной математики MATLAB (Коллоквиум)  
 КМ-2 Решение обыкновенных дифференциальных уравнений в MatLab (Контрольная работа)  
 КМ-3 Имитационное моделирование физических процессов (Тестирование)  
 КМ-4 Моделирование траекторий движения частиц методом молекулярной динамики в системе MATLAB (Контрольная работа)

**Вид промежуточной аттестации – Зачет с оценкой.**

Номер раздела	Раздел дисциплины	Индекс КМ:	КМ-1	КМ-2	КМ-3	КМ-4
		Неделя КМ:	4	8	12	16
1	MatLab: основы и применение					
1.1	Система MatLab		+	+		
1.2	Программирование в MatLab		+	+		
1.3	Решение практических задач в системе MatLab		+	+		
1.4	Построение графиков в системе MatLab		+	+		
1.5	Инструментарий MatLab		+	+		
2	Имитационное моделирование					
2.1	Имитационное моделирование физических процессов				+	
2.2	Детерминистические методы				+	
2.3	Стохастические методы				+	
2.4	Программы имитационного моделирования				+	
3	Молекулярная динамика					
3.1	Численное моделирование методом частиц					+
3.2	Схемы интегрирования по времени уравнений Ньютона					+

3.3	Начальные и граничные условия				+
3.4	Определение макро- и микроскопических характеристик среды на основе расчета траекторий частиц.				+
Вес КМ, %:		15	30	20	35

### 7 семестр

**Перечень контрольных мероприятий текущего контроля успеваемости по дисциплине:**

- КМ-1 Моделирование траекторий движения частиц методом Монте-Карло в системе MATLAB (Контрольная работа)
- КМ-2 Программирование в системе MATLAB (Тестирование)
- КМ-3 Метод Монте-Карло (Тестирование)
- КМ-4 Защита расчетного задания (Программирование (код))

**Вид промежуточной аттестации – Зачет с оценкой.**

Номер раздела	Раздел дисциплины	Индекс КМ:	КМ-1	КМ-2	КМ-3	КМ-4
		Неделя КМ:	4	8	12	16
1	Метод Монте-Карло					
1.1	Математические основы метода Монте-Карло		+		+	
1.2	Генераторы случайных чисел		+		+	
1.3	Моделирование непрерывных случайных величин		+		+	
1.4	Расчёт интегралов методом Монте-Карло		+		+	
1.5	Монте-Карловское моделирование рассеяния частиц в веществе		+		+	
2	Объектно-ориентированное программирование имитационных моделей					
2.1	Объектно-ориентированное программирование в системе MatLab			+		
2.2	Создание графического интерфейса пользователя (GUI) в системе MatLab			+		
2.3	Объектно-ориентированное программирование: молекулярная динамика					+
2.4	Объектно-ориентированное программирование: метод Монте-Карло					+
3	Компьютерный эксперимент					
3.1	Молекулярно динамическое моделирование заряженных частиц в осесимметричной ловушке					+
3.2	Молекулярно динамическое моделирование одномерной плазмы					+
3.3	Сто миллионов траекторий МК					+

3.4	Отражение электронов от двухслойная оксид-металлическая мишени с неровной поверхностью				+
Вес КМ, %:		15	30	15	40