

**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>  | <b>6 семестр - 2;<br/>7 семестр - 4;<br/>всего - 6</b>                           |
| <b>Часов (всего) по учебному плану:</b>   | <b>216 часов</b>   |
| <b>Лекции</b>   | <b>6 семестр - 14 часов;<br/>7 семестр - 16 часов;<br/>всего - 30 часов</b>      |
| <b>Практические занятия</b>   | <b>6 семестр - 28 часа;<br/>7 семестр - 48 часа;<br/>всего - 76 часа</b>         |
| <b>Лабораторные работы</b>  | <b>не предусмотрено учебным планом</b>   |
| <b>Консультации</b>   | <b>проводится в рамках часов аудиторных занятий</b>                              |
| <b>Самостоятельная работа</b>   | <b>6 семестр - 29,7 часа;<br/>7 семестр - 79,7 часа;<br/>всего - 109,4 часов</b> |
| <b>в том числе на КП/КР</b>   | <b>не предусмотрено учебным планом</b>   |
| <b>Иная контактная работа</b>   | <b>проводится в рамках часов аудиторных занятий</b>                              |
| <b>включая:</b><br><b>Коллоквиум</b><br><b>Контрольная работа</b><br><b>Тестирование</b><br><b>Программирование (код)</b> |  |
| <b>Промежуточная аттестация:</b>  |  |
| <b>Зачет с оценкой</b>  | <b>6 семестр - 0,3 часа;</b>   |
| <b>Зачет с оценкой</b>  | <b>7 семестр - 0,3 часа;<br/>всего - 0,6 часа</b>                                |

**Москва 2022**

## ПРОГРАММУ СОСТАВИЛ:

Преподаватель

(должность)

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

(подпись)

А.В. Лубенченко

(расшифровка подписи)

## СОГЛАСОВАНО:

Руководитель  
образовательной программы

(должность, ученая степень, ученое звание)

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

(подпись)

А.В. Дедов

(расшифровка  
подписи)

Заведующий выпускающей  
кафедры

(должность, ученая степень, ученое звание)

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

(подпись)

А.В. Дедов

(расшифровка  
подписи)

## 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-3 Способен к участию в лабораторном и численном эксперименте, обработке опытных данных | ИД-1 <sub>ПК-3</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>- возможности математического пакета MATLAB для решения задач ядерной энергетики и физики плазмы;</li><li>- математические основы, понятия, закономерности метода молекулярной динамики;</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>- разрабатывать алгоритмы, основанные на методах молекулярной динамики;</li><li>- разрабатывать алгоритмы, основанные на методах Монте-Карло;</li><li>- выполнять компьютерный эксперимент с помощью программ имитационного моделирования и проводить обработку и анализ результатов компьютерного эксперимента.</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><br/>[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><br>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"<br><b><u>Подготовка домашнего задания:</u></b><br>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><br>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><br>Повторение материала по разделу "Молекулярная динамика"<br><b><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u></b> Изучение дополнительного материала по разделу  |
| 3.3 | Начальные и граничные условия  | 4  | 1 | - | 2  | - | - | - | - | - | 1 | - | "Молекулярная динамика"   |
| 3.4 | Определение макро- и микроскопических характеристик среды на основе расчета траекторий частиц. | 5  | 1 | - | 3  | - | - | - | - | - | 1 | - | <b><u>Подготовка домашнего задания:</u></b><br>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.<br><b><u>Подготовка доклада, выступления:</u></b><br>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:<br><b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b><br>[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><br>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><br>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><br>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.<br><b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b><br>[3], 4-100<br>[5], 20-120  |
| 5   | Объектно-ориентированное программирование имитационных моделей       | 52 | 6 | - | 22 | - | - | - | - | - | 24 | - | <b><u>Подготовка к практическим занятиям:</u></b><br>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><br>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><br>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><br>[1], 126-230   |
| 6   | Компьютерный эксперимент   | 49 | 5 | - | 16 | - | - | - | - | - | 28 | - | <b><u>Подготовка домашнего задания:</u></b><br>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.<br><b><u>Подготовка к практическим занятиям:</u></b> Изучение материала по разделу "Компьютерный эксперимент" подготовка к выполнению заданий на практических занятиях<br><b><u>Подготовка к текущему контролю:</u></b> Повторение материала по разделу "Компьютерный эксперимент"<br><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. Интерфейс и возможности системы MATLAB. Настройка рабочей среды. Основные объекты и команды. (2 часа);
2. Работа с арифметическими операторами, математическими функциями. Встроенные и собственные функции. Базовые операции над массивами. (2 часа);

3. Программирование: написание сценариев, написание функций. Использование отладчика. (2 час);
4. Построение 2D- и 3D-графиков. Тест 1 «Система MATLAB» (2 часа);
5. Решение задач линейной алгебры в системе MATLAB. (2 часа);
6. Интегрирование и дифференцирование в системе MATLAB.(2 часа);
7. Схемы интегрирования по времени уравнений Ньютона. Согласованность и точность разностной аппроксимации. Устойчивость и эффективность разностной схемы. Выбор временного шага.(2 часа);
8. Контрольная работа №1 «Решение системы обыкновенных дифференциальных уравнений». (2 часа);
9. Основы молекулярной динамики. Численное моделирование методом частиц. (2 часа);
10. Моделирование методом молекулярной динамики траекторий движения частиц. Тест 2 «Молекулярная динамика». (4 часа);
11. Одномерная модель плазмы. (2 часа);
12. Контрольная работа №2 «Моделирование методом молекулярной динамики траекторий движения частиц». (4 часа);
13. . Вычислительные методы в физике. Физическая модель, математическая модель, компьютерная модель. (4 часа);
14. Потенциалы рассеяния и сечения рассеяния ионов в твердом теле. (2 часа);
15. Контрольная работа 3. Моделирование траекторий движения частиц методом Монте-Карло в системе MATLAB. (2 часа);
16. Моделирование рассеяния электронов в твердом теле методом МК. (2 часа);
17. Сечения рассеяния электронов в твердом теле. (2 часа);
18. Весовые методы. Локальная оценка метода МК. (2 часа);
19. Методы ускорения МК моделирования. Параллельные вычисления. (2 часа);
20. Статистическая обработка в методе МК. Тест 4 «Метод Монте-Карло». (2 часа);
21. Построение стохастической траектории движение частицы.(2 часа);
22. Метод Монте-Карло (МК). Расчёт интегралов методом МК. Метод обратных функций. (2 часа);
23. Контрольная работа №3 «Решение уравнений и минимизация в системе MATLAB». (2 часа);
24. Решение задачи регрессии с помощью Curve Fitting (CF) Toolbox (2 часа);
25. Решение уравнений математической физики с помощью PartialDifferentialEquations (PDE) Toolbox. (2 часа);
26. Toolbox в системе MATLAB. (2 часа);
27. Создание интерфейса в системе MATLAB. GUI-интерфейс. (4 часа);
28. Объектно-ориентированное программирование в системе MATLAB: Принципы и практика создания иерархии классов. Тест 3 «Объектно-ориентированное программирование в системе MATLAB». (4 часа);
29. Объектно-ориентированное программирование в системе MATLAB: Value- и Handle-классы. События и реагирование на события. (2 часа);
30. Объектно-ориентированное программирование в системе MATLAB: Определение классов и использование их атрибутов. Классы, свойства, методы. Типы классов. (2 часа);
31. Моделирование рассеяния ионов в твердом теле методом МК. (4 часа);
32. Защита расчетного задания. (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<br>(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-3         |   |   |   | + |   |   | Тестирование/Метод Монте-Карло   |
| объектно-ориентированное программирование в системе MATLAB  | ИД-1пк-3         |   |   |   |   | + |   | Тестирование/Программирование в системе MATLAB   |
| математические основы, понятия, закономерности метода молекулярной динамики   | ИД-1пк-3         |   | + |   |   |   |   | Тестирование/Имитационное моделирование физических процессов   |
| возможности математического пакета MATLAB для решения задач ядерной энергетики и физики плазмы  | ИД-1пк-3         | +   |   |   |   |   |   | Контрольная работа/Решение обыкновенных дифференциальных уравнений в MatLab<br>Коллоквиум/Система компьютерной математики MATLAB |
| <b>Уметь:</b>   |                  |   |   |   |   |   |   |  |
| выполнять компьютерный эксперимент с помощью программ имитационного моделирования и проводить обработку и анализ результатов компьютерного эксперимента | ИД-1пк-3         |   |   |   |   |   | + | Программирование (код)/Защита расчетного задания   |
| разрабатывать алгоритмы, основанные на методах Монте-Карло  | ИД-1пк-3         |   |   |   | + |   |   | Контрольная работа/Моделирование траекторий движения частиц методом Монте-Карло в системе MATLAB                                 |
| разрабатывать алгоритмы, основанные на методах молекулярной динамики  | ИД-1пк-3         |   |   | + |   |   |   | Контрольная работа/Моделирование траекторий движения частиц методом молекулярной динамики в системе MATLAB                       |
| создавать и отлаживать программы имитационного моделирования используя систему MATLAB   | ИД-1пк-3         |   |   |   |   | + |   | 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. Matlab;
5. Acrobat;
6. Майнд Видеоконференции.

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

## 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 |

|  |  |   |
|--|--|---|
|  |  | 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 |