

**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: Прикладная физика плазмы и управляемый термоядерный синтез

Уровень образования: высшее образование - магистратура

Форма обучения: Очная

**Рабочая программа дисциплины  
ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ЧАСТИЦ И ИЗЛУЧЕНИЙ С  
КОНСТРУКЦИОННЫМИ МАТЕРИАЛАМИ**

|  |  |
|--|--|
| <b>Блок:</b>   | Блок 1 «Дисциплины (модули)»                             |
| <b>Часть образовательной программы:</b>  | Часть, формируемая участниками образовательных отношений |
| <b>№ дисциплины по учебному плану:</b>   | Б1.Ч.04  |
| <b>Трудоемкость в зачетных единицах:</b>   | 2 семестр - 4;   |
| <b>Часов (всего) по учебному плану:</b>  | 144 часа   |
| <b>Лекции</b>  | 2 семестр - 16 часов;                                    |
| <b>Практические занятия</b>  | 2 семестр - 16 часов;                                    |
| <b>Лабораторные работы</b>   | 2 семестр - 16 часов;                                    |
| <b>Консультации</b>  | 2 семестр - 2 часа;                                      |
| <b>Самостоятельная работа</b>  | 2 семестр - 93,5 часа;                                   |
| <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><br>Домашнее задание<br>Контрольная работа<br>Лабораторная работа |  |
| <b>Промежуточная аттестация:</b>   |  |
| <b>Экзамен</b>   | 2 семестр - 0,5 часа;                                    |

**Москва 2023**

**ПРОГРАММУ СОСТАВИЛ:**

Преподаватель

|  |  |                               |
|--|--|-------------------------------|
|  | Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» |                               |
|  | Сведения о владельце ЦЭП МЭИ                       |                               |
|  | Владелец   | Афанасьев В.П.                |
|  | Идентификатор                                      | Rd662399b-AfanasyevVP-e234fce |

В.П. Афанасьев

**СОГЛАСОВАНО:**

Руководитель  
образовательной  
программы

|  |  |                                |
|--|--|--------------------------------|
|  | Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» |                                |
|  | Сведения о владельце ЦЭП МЭИ                       |                                |
|  | Владелец   | Лукашевский М.В.               |
|  | Идентификатор                                      | Re4b7e3cb-LukashevskyMV-6844ab |

М.В.  
Лукашевский

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 процессов, происходящих в конструкционных материалах подверженных воздействию частиц и излучений термоядерного происхождения

### Задачи дисциплины

- изучение современных теоретических и экспериментальных подходов, направленных на получение адекватных данных о процессах упругого и неупругого рассеяния, многократно меняющих энергетическое и пространственное состояние налетающей на конструкционный материал атомной частицы;
- получить информацию о материалах, используемых и проектируемых к использованию в экспериментальных термоядерных установках;
- научиться принимать и обосновывать конкретные технические решения при выборе конструкционных материалов экспериментальных термоядерных установок.

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 Готов анализировать и моделировать технологические процессы, используемые в атомной энергетике, термоядерных исследованиях, плазменных установках | ИД-1 <sub>ПК-1</sub> Владеет методами расчета процессов изотропизации и деградации энергии потока атомных частиц в конструкционных материалах, знает методики экспериментального исследования процессов взаимодействия частиц и излучений с конструкционными материалами, знаком с основными видами эрозии конструкционных материалов | знать:<br>- основные подходы, применяемые для расчета процесса деградации энергии потока атомных частиц;<br>- уравнения переноса атомных частиц в твердых телах и способы их приближенного решения;<br>- каскадную теорию распыления и ее основные применения.<br><br>уметь:<br>- рассчитывать энергетические спектры протонов и электронов, отраженных от многослойных поверхностей;<br>- определять послойный компонентный состав образцов методами электронной и ионной спектроскопии. |

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ ВО

Дисциплина относится к основной профессиональной образовательной программе Прикладная физика плазмы и управляемый термоядерный синтез (далее – ОПОП), направления подготовки 14.04.01 Ядерная энергетика и теплофизика, уровень образования: высшее образование - магистратура.

Требования к входным знаниям и умениям:

- знать Материал дисциплин: «Приборы и техника эксперимента», «Методы диагностики плазмы», «Термоядерные экспериментальные реакторы»

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 4 зачетных единицы, 144 часа.

| № 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     | Расчет процесса изотропизации потока атомных частиц в малоугловом приближении | 18                    | 2       | 4  | -   | 4  | -            | - | -   | -  | -  | 10                | -                                 | <p><b><u>Подготовка к практическим занятиям:</u></b><br/>Изучение материала по разделу "Расчет процесса изотропизации потока атомных частиц в малоугловом приближении" подготовка к выполнению заданий на практических занятиях</p> <p><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 "Расчет процесса изотропизации потока атомных частиц в малоугловом приближении" 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 аудиторным занятиям:</u></b><br/>Проработка лекции</p> <p><b><u>Подготовка к текущему контролю:</u></b><br/>Повторение материала по разделу "Расчет процесса изотропизации потока атомных частиц в малоугловом приближении"</p> <p><b><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u></b> Изучение дополнительного материала по разделу</p> |
| 1.1   | Расчет процесса изотропизации потока атомных частиц в малоугловом приближении | 18                    |         | 4  | -   | 4  | -            | - | -   | -  | -  | -                 | 10                                |   |

|     |  |    |   |   |   |   |   |   |   |   |    |   |  |  |   |
|-----|--|----|---|---|---|---|---|---|---|---|----|---|--|--|---|
|     |  |    |   |   |   |   |   |   |   |   |    |   |  |  | "Расчет процесса изотропизации потока атомных частиц в малоугловом приближении"<br><b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b><br>[1], п. 3.1<br>[2], стр. 10<br>[8], введение   |
| 2   | Расчет процесса деградации энергии потока атомных частиц на основе теории Ландау | 22 | 4 | 4 | 4 | - | - | - | - | - | 10 | - |  |  | <b><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u></b> Изучение дополнительного материала по разделу "Расчет процесса деградации энергии потока атомных частиц на основе теории Ландау"   |
| 2.1 | Расчет процесса деградации энергии потока атомных частиц на основе теории Ландау | 22 | 4 | 4 | 4 | - | - | - | - | - | 10 | - |  |  | <b><u>Подготовка к практическим занятиям:</u></b> Изучение материала по разделу "Расчет процесса деградации энергии потока атомных частиц на основе теории Ландау" подготовка к выполнению заданий на практических занятиях<br><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 "Расчет процесса деградации энергии потока атомных частиц на основе теории Ландау" материалу. Дополнительно студенту необходимо изучить литературу и разобрать примеры выполнения подобных заданий. Проверка домашнего задания проводится по представленным письменным работам.<br><b><u>Подготовка к аудиторным занятиям:</u></b> Проработка лекции, выполнение и подготовка к защите лаб. работы<br><b><u>Подготовка к лабораторной работе:</u></b> Для выполнения заданий по лабораторной работе необходимо предварительно изучить тему и задачи выполнения лабораторной работы, а так же изучить вопросы вариантов |

|     |   |    |   |   |   |   |   |   |   |   |    |   |   |  |
|-----|---|----|---|---|---|---|---|---|---|---|----|---|---|--|
|     |   |    |   |   |   |   |   |   |   |   |    |   |   | <p>обработки результатов по изученному в разделе "Расчет процесса деградации энергии потока атомных частиц на основе теории Ландау" материалу.</p> <p><b><u>Подготовка к текущему контролю:</u></b><br/>Повторение материала по разделу "Расчет процесса деградации энергии потока атомных частиц на основе теории Ландау"</p> <p><b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b><br/>[2], стр. 18<br/>[3], гл. 2, стр. 20-24<br/>[7], стр. 24-44</p> |
| 3   | Каскадная теория распыления, расчет коэффициентов распыления по формуле П. Зигмунда | 20 | 4 | - | 4 | - | - | - | - | - | 12 | - | <p><b><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u></b> Изучение дополнительного материала по разделу "Каскадная теория распыления, расчет коэффициентов распыления по формуле П. Зигмунда"</p>   |  |
| 3.1 | Каскадная теория распыления, расчет коэффициентов распыления по формуле П. Зигмунда | 20 | 4 | - | 4 | - | - | - | - | - | 12 | - | <p><b><u>Подготовка к практическим занятиям:</u></b><br/>Изучение материала по разделу "Каскадная теория распыления, расчет коэффициентов распыления по формуле П. Зигмунда" подготовка к выполнению заданий на практических занятиях</p> <p><b><u>Подготовка к контрольной работе:</u></b><br/>Изучение материалов по разделу Каскадная теория распыления, расчет коэффициентов распыления по формуле П. Зигмунда и подготовка к контрольной работе</p> <p><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 "Каскадная теория распыления, расчет коэффициентов распыления по формуле П. Зигмунда" материалу. Дополнительно студенту необходимо изучить литературу и</p> |  |



|     |   |    |   |   |   |   |   |   |   |   |    |   |   |
|-----|---|----|---|---|---|---|---|---|---|---|----|---|---|
|     |   |    |   |   |   |   |   |   |   |   |    |   | <p>подготовка к защите лаб. работы<br/> <u><b>Подготовка к лабораторной работе:</b></u> Для выполнения заданий по лабораторной работе необходимо предварительно изучить тему и задачи выполнения лабораторной работы, а так же изучить вопросы вариантов обработки результатов по изученному в разделе "Измерение энергетических спектров отраженных электронов" материалу.<br/> <u><b>Подготовка к текущему контролю:</b></u> Повторение материала по разделу "Измерение энергетических спектров отраженных электронов"<br/> <u><b>Изучение материалов литературных источников:</b></u><br/> [1], Глава 2<br/> [2], стр. 48-65</p>   |
| 5   | Изучение вторично-ионного масс-спектрометра, исследование массового спектра стали | 22 | 2 | 6 | - | - | - | - | - | - | 14 | - | <p><u><b>Подготовка к текущему контролю:</b></u> Повторение материала по разделу "Изучение вторично-ионного масс-спектрометра, исследование массового спектра стали"<br/> <u><b>Подготовка к лабораторной работе:</b></u> Для выполнения заданий по лабораторной работе необходимо предварительно изучить тему и задачи выполнения лабораторной работы, а так же изучить вопросы вариантов обработки результатов по изученному в разделе "Изучение вторично-ионного масс-спектрометра, исследование массового спектра стали" материалу.<br/> <u><b>Самостоятельное изучение теоретического материала:</b></u> Изучение дополнительного материала по разделу "Изучение вторично-ионного масс-спектрометра, исследование массового спектра стали"<br/> <u><b>Подготовка к контрольной работе:</b></u> Изучение материалов по разделу Изучение</p> |
| 5.1 | Изучение вторично-ионного масс-спектрометра, исследование массового спектра стали | 22 | 2 | 6 | - | - | - | - | - | - | 14 | - |   |

|  |                  |       |    |    |    |   |   |   |   |     |    |      |  |   |
|--|------------------|-------|----|----|----|---|---|---|---|-----|----|------|--|---|
|  |                  |       |    |    |    |   |   |   |   |     |    |      |  | вторично-ионного масс-спектрометра, исследование массового спектра стали и подготовка к контрольной работе<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 "Изучение вторично-ионного масс-спектрометра, исследование массового спектра стали" материалу. Дополнительно студенту необходимо изучить литературу и разобрать примеры выполнения подобных заданий. Проверка домашнего задания проводится по представленным письменным работам.<br><b><u>Подготовка к аудиторным занятиям:</u></b><br>Проработка лекции, выполнение и подготовка к защите лаб. работы<br><b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b><br>[1], п. 1.4<br>[2], стр. 61-81 |
|  | Экзамен          | 36.0  | -  | -  | -  | - | 2 | - | - | 0.5 | -  | 33.5 |  |   |
|  | Всего за семестр | 144.0 | 16 | 16 | 16 | - | 2 | - | - | 0.5 | 60 | 33.5 |  |   |
|  | Итого за семестр | 144.0 | 16 | 16 | 16 |   | 2 |   | - | 0.5 |    | 93.5 |  |   |

**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. Расчет процесса изотропизации потока атомных частиц в малоугловом приближении

##### 1.1. Расчет процесса изотропизации потока атомных частиц в малоугловом приближении

Введение. Общность и различия в описании процессов переноса частиц и излучений в твердых телах. Проблема эрозии конструкционных материалов в условиях высоких потоков энергии и частиц – центральная проблема в развитии перспективных энергетических установок. Сечения процессов рассеяния. Уравнения переноса атомных частиц в твердых телах. Диффузионное и малоугловое приближения в теории упругого переноса атомных частиц. Изотропизация потоков атомных частиц в твердых телах, Решение Гаудсмита и Саундерсена. Функция распределения атомных частиц по длинам пробега, P1 аппроксимация.

#### 2. Расчет процесса деградации энергии потока атомных частиц на основе теории Ландау

##### 2.1. Расчет процесса деградации энергии потока атомных частиц на основе теории Ландау

Теория Ландау многократных неупругих потерь энергии. Уравнение Фоккера-Планка, приближение непрерывного замедления. Обобщение теории Ландау с учетом современных знаний о неупругих сечениях.

#### 3. Каскадная теория распыления, расчет коэффициентов распыления по формуле П. Зигмунда

##### 3.1. Каскадная теория распыления, расчет коэффициентов распыления по формуле П. Зигмунда

Отражение атомных частиц от твердых тел. Решение граничных задач об отражении атомных частиц от твердых тел методом инвариантного погружения. Решение граничных задач об отражении атомных частиц от многослойных поверхностей твердых тел. Отражение быстрых ионов, метод обратного резерфордского рассеяния. Отражение ионов средних энергий. Спектроскопия отражения медленных ионов. Распыление твердых тел ионами. Физическое распыление. Каскадная теория распыления. Порог распыления. Энергетические зависимости коэффициентов распыления. Прямое выбивание и «тепловые пики». Облучение конструкционных материалов высокими дозами ионов инертных газов, явление блистеринга.

#### 4. Измерение энергетических спектров отраженных электронов

##### 4.1. Измерение энергетических спектров отраженных электронов

Схемы постановки эксперимента по измерению энергетических спектров отраженных электронов. Основы метода восстановления послыйного компонентного состава образца по энергетическим спектрам отраженных электронов. Определение процентного содержания изотопов водорода в приповерхностных слоях конструкционных материалов термоядерных установок на основе Спектроскопии Пиков Упруго-Отраженных Электронов. Измерение профиля суммарного по изотопному составу водорода методами Спектроскопии Отраженных Электронов.

#### 5. Изучение вторично-ионного масс-спектрометра, исследование массового спектра стали

5.1. Изучение вторично-ионного масс-спектрометра, исследование массового спектра стали

Особенности распыления твердых тел легкими ионами, распыление многокомпонентных тел, распыление стратифицированных мишеней. Устройство вторично-ионного масс-спектрометра.

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

1. Расчет спектров протонов, отраженных от многослойных поверхностей. Определение средних потерь энергии протонов;
2. Угловые и энергетические спектры упруго-отраженных от многокомпонентных мишеней электронов;
3. Решение Гаудсмита и Саундерсена;
4. Численные решения для случая индикатрисы Хеньи–Гринстайна;
5. Диффузионное и малоугловое приближения в теории упругого переноса атомных частиц;
6. Расчет коэффициентов распыления твердых тел легкими ионами на основе теории В.В. Манухина;
7. Каскадная теория распыления, расчет коэффициентов распыления по формуле П. Зигмунда;
8. Расчет энергетических спектров частиц, прошедших в мишени путь  $x$  на основе обобщенной теории Ландау.

### **3.4. Темы лабораторных работ**

1. Исследование процессов распыления;
2. Измерение энергетических спектров отраженных электронов;
3. Изучение вторично-ионного масс-спектрометра.

### **3.5 Консультации**

#### *Групповые консультации по разделам дисциплины (ГК)*

1. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Расчет процесса изотропизации потока атомных частиц в малоугловом приближении"
2. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Расчет процесса деградации энергии потока атомных частиц на основе теории Ландау"
3. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Каскадная теория распыления, расчет коэффициентов распыления по формуле П. Зигмунда"
4. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Измерение энергетических спектров отраженных электронов"
5. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Изучение вторично-ионного масс-спектрометра, исследование массового спектра стали"

### **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 |  |
| <b>Знать:</b>  |                  |   |   |   |   |   |  |
| каскадную теорию распыления и ее основные применения   | ИД-1ПК-1         | +   |   |   |   |   | Домашнее задание/Домашнее задание 1. Расчет процесса изотропизации потока атомных частиц в малоугловом приближении               |
| уравнения переноса атомных частиц в твердых телах и способы их приближенного решения               | ИД-1ПК-1         |   |   | + |   |   | Контрольная работа/Контрольная работа 1. Каскадная теория распыления, расчет коэффициентов распыления по формуле П. Зигмунда     |
| основные подходы, применяемые для расчета процесса деградации энергии потока атомных частиц        | ИД-1ПК-1         |   | + |   |   |   | Домашнее задание/Домашнее задание 2. Расчет процесса деградации энергии потока атомных частиц на основе теории Ландау            |
| <b>Уметь:</b>  |                  |   |   |   |   |   |  |
| определять послойный компонентный состав образцов методами электронной и ионной спектроскопии      | ИД-1ПК-1         |   |   | + | + | + | Домашнее задание/Домашнее задание 3. Расчет энергетических спектров протонов, отраженных от многослойных поверхностей            |
| рассчитывать энергетические спектры протонов и электронов, отраженных от многослойных поверхностей | ИД-1ПК-1         |   |   |   | + |   | Лабораторная работа/Защита лабораторных работ. Изучение вторично-ионного масс-спектрометра, исследование массового спектра стали |

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

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

###### **2 семестр**

Форма реализации: Билеты (письменный опрос)

1. Контрольная работа 1. Каскадная теория распыления, расчет коэффициентов распыления по формуле П. Зигмунда (Контрольная работа)

Форма реализации: Письменная работа

1. Домашнее задание 1. Расчет процесса изотропизации потока атомных частиц в малоугловом приближении (Домашнее задание)
2. Домашнее задание 2. Расчет процесса деградации энергии потока атомных частиц на основе теории Ландау (Домашнее задание)
3. Домашнее задание 3. Расчет энергетических спектров протонов, отраженных от многослойных поверхностей (Домашнее задание)

Форма реализации: Устная форма

1. Защита лабораторных работ. Изучение вторично-ионного масс-спектрометра, исследование массового спектра стали (Лабораторная работа)

Балльно-рейтинговая структура дисциплины является приложением А.

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

###### *Экзамен (Семестр №2)*

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

В диплом выставляется оценка за 2 семестр.

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

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

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

1. Афанасьев, В. П. Электронная и ионная спектроскопия твердых тел : учебное пособие по курсам "Физика элементарных процессов в плазме", "Взаимодействие частиц и излучений с конструкционными материалами" по направлениям "Теплоэнергетика", "Техническая физика" и "Энергомашиностроение" / В. П. Афанасьев, Моск. энерг. ин-т (МЭИ ТУ) . – М. : Изд-во МЭИ, 2005 . – 56 с. - ISBN 5-7046-1250-4 .;
2. Взаимодействие частиц и излучений с конструкционными материалами термоядерной энергетики. Лабораторный практикум : учебное пособие по курсу "Взаимодействие частиц и излучений с конструкционными материалами термоядерной энергетики" по направлению "Техническая физика" / В. П. Афанасьев, А. А. Батраков, Д. С. Ефременко, А. В. Лубенченко, Моск. энерг. ин-т (МЭИ ТУ) ; Ред. Д. А. Иванов . – М. : Издательский дом МЭИ, 2011 . – 84 с. - ISBN 978-5-383-00616-0 .  
[http://elibr.mpei.ru/elibr/view.php?id=2816;](http://elibr.mpei.ru/elibr/view.php?id=2816)

3. Хеерман, Д. В. Методы компьютерного эксперимента в теоретической физике : пер. с англ. / Д. В. Хеерман . – М. : Наука, 1990 . – 176 с. – (Компьютеры в физике) . - ISBN 5-02-014347-2 .;
4. Учебное пособие по курсу "Взаимодействие частиц и излучений с конструкционными материалами": Статистическое моделирование процессов взаимодействия атомных частиц с поверхностью твердого тела / В. П. Афанасьев, Моск. энерг. ин-т (МЭИ), и др. ; Ред. И. Н. Крупенникова . – 1992 . – 47 с. : 1.00 .;
5. Афанасьев, В. П. Учебное пособие по курсам "Физика плазмы и управляемый термоядерный синтез", "Экспериментальные термоядерные установки": Элементарные процессы и кинетика высокотемпературной неравновесной плазмы / В. П. Афанасьев ; Ред. И. Н. Крупенникова ; Моск. энерг. ин-т (МЭИ) . – М . – 1988 . – 84 с.;
6. Машкова, Е. С. Применение рассеяния ионов для анализа твердых тел / Е. С. Машкова, В. А. Молчанов . – М. : Энергоатомиздат, 1995 . – 174 с. - ISBN 5-283-03979-X : 7000.00 .;
7. Афанасьев, В. П. Сечения упругого и неупругого рассеяния электронов и легких ионов килоэлектронвольтных энергий в твердых телах : учебное пособие по курсам "Физика элементарных процессов в плазме", "Взаимодействие частиц и излучений с конструкционными материалами" по направлению "Ядерная энергетика и теплофизика" / В. П. Афанасьев, С. Д. Федорович, Нац. исслед. ун-т "МЭИ" (НИУ"МЭИ") . – М. : Изд-во МЭИ, 2017 . – 59 с. - ISBN 978-5-7046-1894-2 .  
<http://elib.mpei.ru/elib/view.php?id=9991>;
8. А. Н. Теренин- "Введение в спектроскопию", Издательство: "КУБУЧ", Ленинград, 1933 - (313 с.)  
<https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=113349>.

## **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).

## **5.3 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 Web of Science - <http://webofscience.com/>
5. База данных Scopus - <http://www.scopus.com>
6. Национальная электронная библиотека - <https://rusneb.ru/>
7. ЭБС "Консультант студента" - <http://www.studentlibrary.ru/>
8. Электронная библиотека МЭИ (ЭБ МЭИ) - <http://elib.mpei.ru/login.php>
9. Портал открытых данных Российской Федерации - <https://data.gov.ru>
10. База открытых данных Министерства труда и социальной защиты РФ - <https://rosmintrud.ru/opendata>
11. База открытых данных профессиональных стандартов Министерства труда и социальной защиты РФ - <http://profstandart.rosmintrud.ru/obshchiy-informatsionnyy-blok/natsionalnyy-reestr-professionalnykh-standartov/>
12. База открытых данных Министерства экономического развития РФ - <http://www.economy.gov.ru>
13. База открытых данных Росфинмониторинга - <http://www.fedsfm.ru/opendata>

14. Электронная открытая база данных "Polpred.com Обзор СМИ" -

<https://www.polpred.com>

15. Информационно-справочная система «Кодекс/Техэксперт» - [Http://proinfosoft.ru](http://proinfosoft.ru);

<http://docs.cntd.ru/>

## 6. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

| Тип помещения   | Номер аудитории, наименование                             | Оснащение   |
|---|---|---|
| Учебные аудитории для проведения лекционных занятий и текущего контроля | Н-207, Учебно-научная лаборатория для анализа поверхности | рабочее место сотрудника, стол, стул, доска интерактивная, компьютерная сеть с выходом в Интернет, мультимедийный проектор, указка лазерная, оборудование учебное, компьютер персональный, принтер, инвентарь специализированный                              |
| Учебные аудитории для проведения практических занятий, КР и КП          | Н-207, Учебно-научная лаборатория для анализа поверхности | рабочее место сотрудника, стол, стул, доска интерактивная, компьютерная сеть с выходом в Интернет, мультимедийный проектор, указка лазерная, оборудование учебное, компьютер персональный, принтер, инвентарь специализированный                              |
| Учебные аудитории для проведения лабораторных занятий                   | Н-207, Учебно-научная лаборатория для анализа поверхности | рабочее место сотрудника, стол, стул, доска интерактивная, компьютерная сеть с выходом в Интернет, мультимедийный проектор, указка лазерная, оборудование учебное, компьютер персональный, принтер, инвентарь специализированный                              |
| Учебные аудитории для проведения промежуточной аттестации               | А-309, Аудитория для проведения практических занятий      | стол преподавателя, стол, стул, доска меловая   |
| 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

### Взаимодействие частиц и излучений с конструкционными материалами

(название дисциплины)

#### 2 семестр

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

- КМ-1 Домашнее задание 1. Расчет процесса изотропизации потока атомных частиц в малоугловом приближении (Домашнее задание)
- КМ-2 Домашнее задание 2. Расчет процесса деградации энергии потока атомных частиц на основе теории Ландау (Домашнее задание)
- КМ-3 Контрольная работа 1. Каскадная теория распыления, расчет коэффициентов распыления по формуле П. Зигмунда (Контрольная работа)
- КМ-4 Домашнее задание 3. Расчет энергетических спектров протонов, отраженных от многослойных поверхностей (Домашнее задание)
- КМ-5 Защита лабораторных работ. Изучение вторично-ионного масс-спектрометра, исследование массового спектра стали (Лабораторная работа)

#### Вид промежуточной аттестации – Экзамен.

| Номер раздела | Раздел дисциплины   | Индекс КМ: | КМ-1 | КМ-2 | КМ-3 | КМ-4 | КМ-5 |
|---------------|---|------------|------|------|------|------|------|
|               |   | Неделя КМ: | 4    | 8    | 12   | 15   | 16   |
| 1             | Расчет процесса изотропизации потока атомных частиц в малоугловом приближении       |            |      |      |      |      |      |
| 1.1           | Расчет процесса изотропизации потока атомных частиц в малоугловом приближении       |            | +    |      |      |      |      |
| 2             | Расчет процесса деградации энергии потока атомных частиц на основе теории Ландау    |            |      |      |      |      |      |
| 2.1           | Расчет процесса деградации энергии потока атомных частиц на основе теории Ландау    |            |      | +    |      |      |      |
| 3             | Каскадная теория распыления, расчет коэффициентов распыления по формуле П. Зигмунда |            |      |      |      |      |      |
| 3.1           | Каскадная теория распыления, расчет коэффициентов распыления по формуле П. Зигмунда |            |      |      | +    | +    |      |
| 4             | Измерение энергетических спектров отраженных электронов                             |            |      |      |      |      |      |
| 4.1           | Измерение энергетических спектров отраженных электронов                             |            |      |      |      | +    | +    |
| 5             | Изучение вторично-ионного масс-спектрометра, исследование массового спектра стали   |            |      |      |      |      |      |
| 5.1           | Изучение вторично-ионного масс-спектрометра, исследование массового спектра стали   |            |      |      |      | +    |      |
| Вес КМ, %:    |   |            | 20   | 20   | 20   | 20   | 20   |