

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
ТОПЛИВНЫЙ ЦИКЛ ТЕРМОЯДЕРНОГО РЕАКТОРА

Блок:	Блок 1 «Дисциплины (модули)»
Часть образовательной программы:	Часть, формируемая участниками образовательных отношений
№ дисциплины по учебному плану:	Б1.Ч.11.01.01
Трудоемкость в зачетных единицах:	3 семестр - 4;
Часов (всего) по учебному плану:	144 часа
Лекции	3 семестр - 32 часа;
Практические занятия	3 семестр - 16 часов;
Лабораторные работы	не предусмотрено учебным планом
Консультации	3 семестр - 2 часа;
Самостоятельная работа	3 семестр - 93,5 часа;
в том числе на КП/КР	не предусмотрено учебным планом
Иная контактная работа	проводится в рамках часов аудиторных занятий
включая:	
Проверочная работа	
Промежуточная аттестация:	
Экзамен	3 семестр - 0,5 часа;

Москва 2025

ПРОГРАММУ СОСТАВИЛ:

Преподаватель

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

М.В.
Лукашевский

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 физико-технических процессов, протекающих в системах термоядерного реактора, обеспечивающих многократную циркуляцию топлива, поддержание параметров плазмы и безопасную эксплуатацию установки.

Задачи дисциплины

- изучение факторов, определяющих состав топливного цикла и требования к системам;
- изучение физики процессов в технологических системах топливного цикла термоядерного реактора;
- приобретение навыков принятия и обоснования конкретных технических решений при последующем конструировании элементов плазменных и теплофизических 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-2 Способен применять расчетно-теоретические методы и экспериментальные навыки исследования процессов, используемых в атомной энергетике, термоядерных исследованиях, плазменных установках	ИД-5ПК-2 Знаком с технологическими процессами, протекающими в плазменных установках различных типов	знать: - основы архитектуры систем топливного цикла термоядерного реактора; - процессы в вакуумной камере термоядерного реактора. уметь: - планировать и проводить численные и экспериментальные исследования потоков изотопов водорода в технологических системах; - определять архитектуру систем топливного цикла термоядерного реактора и требования к ним.

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 дисциплины: «Иностранный язык», «Компьютерные технологии в ядерной энергетике и теплофизике», «Приборы и техника эксперимента», «Термоядерные экспериментальные реакторы», «Взаимодействие частиц и излучений с конструкционными материалами», «Теплообмен и гидродинамика в термоядерных установках»

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	Основы архитектуры систем топливного цикла термоядерного реактора	12	3	6	-	-	-	-	-	-	-	6	-	<p><u>Подготовка к текущему контролю:</u> Повторение материала по разделу "Основы архитектуры систем топливного цикла термоядерного реактора"</p> <p><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u> Изучение дополнительного материала по разделу "Основы архитектуры систем топливного цикла термоядерного реактора"</p> <p><u>Изучение материалов литературных источников:</u> [1], Глава 1 [2], Главы 1, 13, 15, 16 [3], Часть 1</p>	
1.1	Основы архитектуры систем топливного цикла термоядерного реактора	12		6	-	-	-	-	-	-	-	6	-		
2	Процессы в вакуумной камере термоядерного реактора	22		8	-	2	-	-	-	-	-	-	12		-
2.1	Процессы в вакуумной камере термоядерного реактора	22		8	-	2	-	-	-	-	-	-	12		-

													<u>Изучение материалов литературных источников:</u> [1], Глава 2 [2], Главы 10, 11, 12 [3], Часть 1	
3	Технологические решения для систем топливного цикла термоядерного реактора	22	8	-	2	-	-	-	-	-	-	12	-	<u>Подготовка к текущему контролю:</u> Повторение материала по разделу "Технологические решения для систем топливного цикла термоядерного реактора" <u>Подготовка к практическим занятиям:</u>
3.1	Технологические решения для систем топливного цикла термоядерного реактора	22	8	-	2	-	-	-	-	-	-	12	-	Изучение материала по разделу "Технологические решения для систем топливного цикла термоядерного реактора" подготовка к выполнению заданий на практических занятиях <u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u> Изучение дополнительного материала по разделу "Технологические решения для систем топливного цикла термоядерного реактора" <u>Изучение материалов литературных источников:</u> [1], Глава 1 [3], Часть 1
4	Численное моделирование элементов систем топливного цикла и экспериментальные методы исследования процессов в них	52	10	-	12	-	-	-	-	-	-	30	-	<u>Подготовка к текущему контролю:</u> Повторение материала по разделу "Численное моделирование элементов систем топливного цикла и экспериментальные методы исследования процессов в них" <u>Подготовка к практическим занятиям:</u>
4.1	Численное моделирование элементов систем топливного цикла и экспериментальные методы исследования процессов в них	52	10	-	12	-	-	-	-	-	-	30	-	Изучение материала по разделу "Численное моделирование элементов систем топливного цикла и экспериментальные методы исследования процессов в них" подготовка к выполнению заданий на практических занятиях <u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u> Изучение

													дополнительного материала по разделу "Численное моделирование элементов систем топливного цикла и экспериментальные методы исследования процессов в них" <u>Изучение материалов литературных источников:</u> [1], глава 3 [3], Часть 2
	Экзамен	36.0	-	-	-	-	2	-	-	0.5	-	33.5	
	Всего за семестр	144.0	32	-	16	-	2	-	-	0.5	60	33.5	
	Итого за семестр	144.0	32	-	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. Основы архитектуры систем топливного цикла термоядерного реактора

1.1. Основы архитектуры систем топливного цикла термоядерного реактора

Общая характеристика предмета. Основные проблемы и подходы к их решению. Фундаментальные и прикладные аспекты. Безопасность термоядерного реактора. Элементы систем топливного цикла, физические процессы. Балансовые уравнения. Методы моделирования.

2. Процессы в вакуумной камере термоядерного реактора

2.1. Процессы в вакуумной камере термоядерного реактора

Динамика частиц топлива в плазме термоядерного реактора. Взаимодействие изотопов водорода с поверхностью твердых тел. Методы моделирования.

3. Технологические решения для систем топливного цикла термоядерного реактора

3.1. Технологические решения для систем топливного цикла термоядерного реактора

Технологии обращения с изотопами водорода. Кандидатные технологии для систем топливного цикла термоядерного реактора. Методика определения уровня технологической зрелости. Формирование замкнутого газового контура из систем, их интеграция.

4. Численное моделирование элементов систем топливного цикла и экспериментальные методы исследования процессов в них

4.1. Численное моделирование элементов систем топливного цикла и экспериментальные методы исследования процессов в них

Основные теоретические модели и подходы, используемые в численном моделировании экспериментов. Концепция комплексного расчетно-теоретического и экспериментального исследования многофакторных и многомасштабных явлений и процессов.

3.3. Темы практических занятий

1. Концептуальное проектирование установок для отработки основных физических механизмов в системах топливного цикла;
2. Расчет источников топливных частиц в плазме и в инжекционных системах;
3. . Определение диапазона потоков компонентов топлива термоядерного реактора для обеспечения параметров плазмы.

3.4. Темы лабораторных работ

не предусмотрено

3.5 Консультации

Групповые консультации по разделам дисциплины (ГК)

1. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Основы архитектуры систем топливного цикла термоядерного реактора"
2. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Процессы в вакуумной камере термоядерного реактора"
3. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Технологические решения для систем топливного цикла термоядерного реактора"

4. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Численное моделирование элементов систем топливного цикла и экспериментальные методы исследования процессов в них"

3.6 Тематика курсовых проектов/курсовых работ

Курсовой проект/ работа не предусмотрены

3.7. Соответствие разделов дисциплины и формируемых в них компетенций

Запланированные результаты обучения по дисциплине (в соответствии с разделом 1)	Коды индикаторов	Номер раздела дисциплины (в соответствии с п.3.1)				Оценочное средство (тип и наименование)
		1	2	3	4	
Знать:						
процессы в вакуумной камере термоядерного реактора	ИД-5ПК-2		+			Проверочная работа/Потоки частиц в вакуумной камере
основы архитектуры систем топливного цикла термоядерного реактора	ИД-5ПК-2	+				Проверочная работа/Принципы организации топливного цикла термоядерного реактора и специальные вопросы физических процессов в нем
Уметь:						
определять архитектуру систем топливного цикла термоядерного реактора и требования к ним	ИД-5ПК-2			+		Проверочная работа/Концептуальное проектирование стендов/установок для отработки основных физических механизмов в системах топливного цикла
планировать и проводить численные и экспериментальные исследования потоков изотопов водорода в технологических системах	ИД-5ПК-2				+	Проверочная работа/Расчет источников топливных частиц в плазме и в инжекционных системах, диапазона потоков компонентов топлива термоядерного реактора для обеспечения параметров плазмы

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

4.1. Текущий контроль успеваемости

3 семестр

Форма реализации: Устная форма

1. Концептуальное проектирование стендов/установок для отработки основных физических механизмов в системах топливного цикла (Проверочная работа)
2. Потoki частиц в вакуумной камере (Проверочная работа)
3. Принципы организации топливного цикла термоядерного реактора и специальные вопросы физических процессов в нем (Проверочная работа)
4. Расчет источников топливных частиц в плазме и в инжекционных системах, диапазона потоков компонентов топлива термоядерного реактора для обеспечения параметров плазмы (Проверочная работа)

Балльно-рейтинговая структура дисциплины является приложением А.

4.2 Промежуточная аттестация по дисциплине

Экзамен (Семестр №3)

В диплом выставляется оценка за 3 семестр.

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

5. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

5.1 Печатные и электронные издания:

1. Мирнов, С. В. Физические процессы в плазме токамака / С. В. Мирнов. – М. : Энергоатомиздат, 1983. – 185 с.;
2. Роуз, Д. Дж. Физика плазмы и управляемые термоядерные реакции / Д. Дж. Роуз, М. Кларк. – М. : Госатомиздат, 1963. – 487 с.;
3. Tanabe T.- "Interactions of hydrogen with fusion reactor materials", Издательство: "НИЯУ МИФИ", Москва, 2019 - (152 с.)
<https://e.lanbook.com/book/175433>.

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

3. База данных журналов издательства Elsevier - <https://www.sciencedirect.com/>
4. Электронные ресурсы издательства Springer - <https://link.springer.com/>
5. База данных Web of Science - <http://webofscience.com/>
6. База данных Scopus - <http://www.scopus.com>
7. Национальная электронная библиотека - <https://rusneb.ru/>
8. Журналы American Physical Society - <https://journals.aps.org/about>
9. Журналы Institute of Physics (IOP), Великобритания - <https://iopscience.iop.org/>
10. Журналы издательства Oxford University Press - <https://academic.oup.com/journals/>
11. База данных диссертаций ProQuest Dissertations and Theses Global - <https://search.proquest.com/pqdtglobal/index>
12. Журнал Science - <https://www.sciencemag.org/>
13. Электронная библиотека МЭИ (ЭБ МЭИ) - <http://elib.mpei.ru/login.php>
14. Открытая университетская информационная система «РОССИЯ» - <https://uisrussia.msu.ru>
15. АНО «Россия – страна возможностей» - <https://rsv.ru/education/>

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	А-025, Кладовка	стеллаж, оборудование специализированное

хранения оборудования и учебного инвентаря	лабораторного оборудования	
--	-------------------------------	--

БАЛЛЬНО-РЕЙТИНГОВАЯ СТРУКТУРА ДИСЦИПЛИНЫ

Топливный цикл термоядерного реактора

(название дисциплины)

3 семестр

Перечень контрольных мероприятий текущего контроля успеваемости по дисциплине:

- КМ-1 Принципы организации топливного цикла термоядерного реактора и специальные вопросы физических процессов в нем (Проверочная работа)
- КМ-2 Потоки частиц в вакуумной камере (Проверочная работа)
- КМ-3 Концептуальное проектирование стендов/установок для отработки основных физических механизмов в системах топливного цикла (Проверочная работа)
- КМ-4 Расчет источников топливных частиц в плазме и в инжекционных системах, диапазона потоков компонентов топлива термоядерного реактора для обеспечения параметров плазмы (Проверочная работа)

Вид промежуточной аттестации – Экзамен.

Номер раздела	Раздел дисциплины	Индекс КМ:	КМ-1	КМ-2	КМ-3	КМ-4
		Неделя КМ:	4	8	12	16
1	Основы архитектуры систем топливного цикла термоядерного реактора					
1.1	Основы архитектуры систем топливного цикла термоядерного реактора		+			
2	Процессы в вакуумной камере термоядерного реактора					
2.1	Процессы в вакуумной камере термоядерного реактора			+		
3	Технологические решения для систем топливного цикла термоядерного реактора					
3.1	Технологические решения для систем топливного цикла термоядерного реактора				+	
4	Численное моделирование элементов систем топливного цикла и экспериментальные методы исследования процессов в них					
4.1	Численное моделирование элементов систем топливного цикла и экспериментальные методы исследования процессов в них					+
Вес КМ, %:			16	16	28	40