

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«Национальный исследовательский Томский политехнический университет»
Физико-технический институт



УТВЕРЖДАЮ
Директор ФТИ


О.Ю. Долматов

«23» 06 2015 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ
«РЕАКТОРНОЕ ПРОИЗВОДСТВО ИЗОТОПОВ»
НА УЧЕБНЫЙ ГОД

Направление ООП 14.03.02 «Ядерная физика и технологии»

Профиль подготовки (специализация) Физика кинетических явлений

Квалификация (степень) академический бакалавр

Базовый учебный план приема 2015 г.

Курс IV семестр 8

Количество кредитов 6

Код дисциплины Б1.ВМ5.4.10

Виды учебной деятельности	Временной ресурс
Лекции, ч	44
Практические занятия, ч	16,5
Лабораторные занятия, ч	27,5
Аудиторные занятия, ч	88
Самостоятельная работа, ч	128
ИТОГО, ч	216

Вид промежуточной аттестации экзамен

Обеспечивающее подразделение кафедра «Техническая физика»

Заведующий кафедрой  И.В. Шаманин

Руководитель ООП  Д.С. Исаченко

Профессор  И.В. Шаманин

2015 г.

1. Цели освоения дисциплины

Формирование у студентов знаний, достаточных для решения инженерных задач использования изотопов в реакторных установках различного назначения, а также для решения инженерных задач производства изотопов различного назначения (медико-биологического и технологического) в реакторных установках, включая исследовательские.

2. Место дисциплины в структуре ООП

Дисциплина "Реакторное производство изотопов" (Б1.В.3.10) относится к дисциплинам профессионального цикла основной образовательной программы (ООП) по направлению 14.03.02 "Ядерная физика и технологии". Пререквизитами дисциплины являются математические и естественнонаучные дисциплины вариативной и базовой части учебного плана: Б1.Б10, Б1.Б11, Б1.В2, Б1.В8, Б1.В10, а кореквизитами являются профессиональные дисциплины ООП по направлению подготовки 14.03.02: Б1.В3.6, Б1.В13.1.

3. Результаты освоения дисциплины

В результате освоения дисциплины студенты приобретают знания, умения и опыт, соответствующие результатам основной образовательной программы: **Р1, Р3, Р7, Р9, Р10, Р12-Р15***.

В результате освоения дисциплины студент должен

знать:

- операции и процессы, связанные с топливом с момента его добычи до времени его повторного использования в реакторе;
- основные цепочки ядерных превращений в уран-плутониевом и торий-урановом топливных циклах;
- определения технико-экономических показателей топливного цикла: коэффициент воспроизводства КВ в замкнутом цикле, коэффициент конверсии КК в открытом цикле, избыточный коэффициент воспроизводства ИКВ и др.;
- топливные материалы топливных циклов нового поколения;
- конструкционные материалы ядерных реакторов, работающих в топливных циклах нового поколения;
- теоретические основы построения схем загрузки и движения топлива в перспективных ядерных топливных циклах;
- схемы перспективных ядерных топливных циклов с вовлечением плутония и высокообогащенного урана;
- типичные схемы движения топлива в ториевом цикле с вовлечением плутония и высокообогащенного урана;
- сравнительные характеристики параметров уран-плутониевого и перспективных топливных циклов;

- возможности организации перспективных топливных циклов на базе реакторов на тепловых и промежуточных нейтронах и реакторов-размножителей на быстрых нейтронах.

уметь:

- анализировать ядерно-физические характеристики ядерных топливных циклов, определяемые параметрами элементов ториевого и уранового циклов: коэффициентом воспроизводства, критической массой, начальной загрузкой, темпом накопления нового ядерного горючего;
- определять конкретные проектные решения для тепловых реакторов различного типа (легководных, тяжеловодных и газографитовых), позволяющие организовать топливные циклы нового поколения;
- проводить расчетную процедуру "гомогенезации" ядерно-физических параметров активной зоны и ячейки активной зоны для различных вариантов загрузки и движения топлива;
- проводить оценки параметров реактора в случаях использования различных видов топлива и организации различных схем загрузки и движения топлива.

иметь опыт:

- определения изменения критической массы при переходе от одного топливного цикла к другому;
- аналитического и численного решения задач нуклидной кинетики;
- проведения расчетной процедуры "гомогенезации" ядерно-физических параметров активной зоны и ячейки активной зоны для различных вариантов загрузки и движения топлива;
- проведения оценок параметров реактора в случаях использования различных видов топлива и организации различных схем загрузки и движения топлива.

Структура и содержание дисциплины

4.1. Содержание разделов дисциплины

Модуль 1. Состояние и перспективы развития ЯТЦ мировой и российской ядерной энергетики

Ядерный топливный цикл. Ядерные реакторы. Радиоактивные отходы (РАО). Облученное ядерное топливо (ОЯТ). Классификация основных ЯТЦ.

Модуль 2. Свойства радиоактивных нуклидов, использующихся в различных ЯТЦ

Делящиеся и воспроизводящие изотопы. Доля запаздывающих нейтронов. Микроскопические сечения ядерных реакций. Среднее число нейтронов на один акт поглощения или деления.

Модуль 3. Основные варианты ядерных топливных циклов

Торий-урановый, уран-плутониевый и смешанные ядерные топливные циклы. Структурные схемы перемещения топлива в различных ЯТЦ. Применение реакторов-размножителей на быстрых нейтронах в уран-плутониевом топливном цикле.

Модуль 4. Повторное использование плутония в реакторах на тепловых и быстрых нейтронах

Методы оценки производства плутония. Нарботка плутония на АЭС. Использование плутония в качестве топлива на АЭС. Радиационная и ядерная безопасность при работе со смешанным уран-плутониевым топливом.

Модуль 5. Баланс ядерных материалов и актиноидов в уран-плутониевом топливном цикле

Выгорание ядерного топлива. Схема ядерно-физических процессов в уран-плутониевом топливе. Основные цепочки ядерных превращений в уран-плутониевом топливе. Коэффициент воспроизводства. Зависимости концентрации изотопов плутония и урана от выгорания топлива.

Модуль 6. Медленная нуклидная кинетика

Уравнения нуклидной кинетики: выгорание, накопление и распад ядер. Изотопный состав ядерного топлива. Изотопный состав мишеней. Резонансный интеграл, блокировка резонансного интеграла. Оптимизация режима облучения мишеней, геометрических характеристик и материального состава мишеней.

Модуль 7. Баланс ядерных материалов и актиноидов в торий-урановом топливном цикле

Схема ядерно-физических процессов в торий-урановом топливе. Изотопный состав, баланс ядерных материалов и актиноидов при движении топлива. Содержание ядерных материалов и актиноидов в облученном топливе.

Модуль 8. Смешанный и перекрестный ЯТЦ

Состояние исследований по смешанной загрузке активных зон реакторных установок. Схема смешанной загрузки. Схема перемещения топлива. Параметры кампании и первых циклов выгорания. Изотопный состав, балансы масс основных ядерных материалов и актиноидов в сравнении со стандартной загрузкой.

Модуль 9. Изотопный состав облученного ядерного топлива (ОЯТ)

Параметры эксплуатации реактора, влияющие на состав ОЯТ. Изотопный состав продуктов деления. Выдержка ОЯТ.

Модуль 10. ОЯТ в различных вариантах ЯТЦ

Особенности переработки торийсодержащего ОЯТ. Долговременное хранение низко- и среднеактивных отходов. Хранение жидких высокоактивных отходов.

4.2. Структура дисциплины по разделам, формам организации и контроля обучения

№	Название раздела/темы	Аудиторная работа (час)			СРС (час)	Итого	Формы текущего контроля и аттестации
		Лекции	Практ./семинар	Лаб. зан.			
1	Модуль 1. Состояние и перспективы развития ЯТЦ мировой и российской ядерной энергетики	2			6	8	Устный отчет
2	Модуль 2. Свойства радиоактивных нуклидов, использующихся в различных ЯТЦ	6	4	6	18	34	Отчет по лабораторной работе.
3	Модуль 3. Основные варианты ядерных топливных циклов	4			11	15	Коллоквиум
4	Модуль 4. Повторное использование плутония в реакторах на тепловых и быстрых нейтронах	4			11	15	Устный отчет
5	Модуль 5. Баланс	4		6	18	28	Отчет по

	ядерных материалов и актиноидов в уран-плутониевом топливном цикле						лабораторной работе.
6	Модуль 6. Медленная нуклидная кинетика (“наработка изотопов”)	8	8	8	22	46	Отчет по лабораторной работе.
7	Модуль 7. Баланс ядерных материалов и актиноидов в торий-урановом топливном цикле	4			6	10	Устный отчет
8	Модуль 8. Смешанный и перекрестный ЯТЦ	2			6	8	Коллоквиум
9	Модуль 9. Изотопный состав облученного ядерного топлива (ОЯТ)	6	4	8	22	40	Отчет по лабораторной работе.
10	Модуль 10. ОЯТ в различных вариантах ЯТЦ	4			8	12	Устный отчет

Тематика практических занятий

1. Взаимодействие нейтронов с ядрами делящихся и воспроизводящих нуклидов.
2. Изменение нуклидного состава топлива в уран-плутониевом ядерном топливном цикле.
3. Изменение нуклидного состава топлива в торий-урановом ядерном топливном цикле.
4. Влияние жесткости спектра потока нейтронов на изотопный состав топлива.
5. Взаимное влияние параметров эксплуатации ядерного реактора и изотопного состава топлива.
6. Определение потребностей АЭС в топливе.

4.3. Распределение компетенций по разделам дисциплины

Распределение по разделам дисциплины планируемых результатов обучения по основной образовательной программе, формируемых в рамках данной дисциплины и указанных в пункте 3.

№	Формируемые компетенции	Разделы дисциплины									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1.	3.1.1		x		x	x		x	x		x
2.	3.7.1.	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
3.	3.12.1.				x	x	x	x	x	x	x
4.	3.14.1.				x	x	x	x	x	x	x
5.	3.15.1.		x	x	x	x	x	x	x	x	x
6.	У.1.1.		x		x	x		x	x		x
7.	У.1.2.		x		x	x		x	x		x
8.	У.7.1.	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
9.	У.9.1.		x	x	x	x	x	x	x	x	x
10.	У.12.1.		x		x	x		x	x		x
11.	У.12.2.		x	x	x	x		x			
12.	В.1.1.		x	x	x	x		x	x		x
13.	В.1.2.		x	x	x	x		x	x		x
14.	В.3.1.		x	x	x	x		x			
15.	В.7.1.		x	x	x	x		x	x		x
16.	В.10.1.		x	x	x	x		x			
17.	В.12.3		x	x	x	x		x	x		
18.	В.13.1		x	x	x	x		x	x		x
19.	В.14.1		x	x	x	x		x			

5. Образовательные технологии

При освоении дисциплины используются следующие сочетания видов учебной работы с методами и формами активизации познавательной деятельности студентов для достижения запланированных результатов обучения и формирования компетенций.

Методы и формы активизации деятельности	Виды учебной деятельности		
	ЛК	ЛБ	СРС
Дискуссия	x		
IT-методы	x	x	x
Командная работа		x	x
Опережающая СРС	x	x	x
Индивидуальное обучение		x	x
Проблемное обучение		x	x
Обучение на основе опыта		x	x

Для достижения поставленных целей преподавания дисциплины реализуются следующие средства, способы и организационные мероприятия:

- изучение теоретического материала дисциплины на лекциях с использованием компьютерных технологий;
- самостоятельное изучение теоретического материала дисциплины с использованием *Internet*-ресурсов, информационных баз, методических разработок, специальной учебной и научной литературы;
- закрепление теоретического материала при проведении лабораторных работ с использованием учебного и научного оборудования и приборов, выполнения проблемно-ориентированных, поисковых, творческих заданий.

6. Организация и учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студентов (СРС)

6.1 Текущая и опережающая СРС, направленная на углубление и закрепление знаний, а также развитие практических умений заключается в:

- работе студентов с лекционным материалом, поиск и анализ литературы и электронных источников информации по заданной проблеме,
- выполнении домашних заданий,
- переводе материалов из тематических информационных ресурсов с иностранных языков,
- изучении тем, вынесенных на самостоятельную проработку,
- изучении теоретического материала к лабораторным занятиям,
- изучении инструкций к приборам и подготовке к выполнению лабораторных работ,
- подготовке к коллоквиуму, зачету и входному контролю на лабораторных занятиях.

6.2 Творческая проблемно-ориентированная самостоятельная работа (ТСР), ориентированная на развитие интеллектуальных умений, комплекса универсальных (общекультурных) и профессиональных компетенций, повышение творческого потенциала студентов.

ТСР может включать следующие виды работ по основным проблемам курса:

- поиск, анализ, структурирование и презентация информации,
- выполнение расчетно-графических работ;
- исследовательская работа и участие в научных студенческих конференциях, семинарах и олимпиадах;
- анализ научных публикаций по заранее определенной преподавателем теме;
- анализ статистических и фактических материалов по заданной теме, проведение расчетов, составление схем и моделей на основе статистических материалов.

6.2.1. Перечень научных проблем и направлений научных исследований:

- 1) Константное обеспечение решения задач нуклидной кинетики
- 2) Оптимизация геометрии тепловыделяющих элементов и изотопных мишеней
- 3) Изотопы-жесткие гамма-излучатели в ОЯТ
- 4) Эффективные методы извлечения целевых изотопов из облученных мишеней
- 5) Тонкая структура резонансной области поглощения нейтронов различными нуклидами
- 6) Извлечение и очистка урана-233 из ОЯТ
- 7) Пороговые ядерные реакции на изотопах в ОЯТ
- 8) Изотопно-модифицированные материалы мишеней для наработки целевых изотопов
- 9) Тепловые методы контроля изотопов с большими удельными активностями
- 10) Реакции К-захвата в нуклидной кинетике

6.3 Контроль самостоятельной работы

Оценка результатов самостоятельной работы организуется как единство двух форм: самоконтроль и контроль со стороны преподавателей.

6.4 Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студентов

1. Шмелёв А.Н., Юрова Л.Н., Муругов В.М. Некоторые вопросы физики воспроизводства горючего в реакторах-размножителях на быстрых нейтронах. М.: Атомиздат, 1979. 80 с.
2. Муругов В.М., Троянов М.Ф., Шмелёв А.Н. Использование тория в ядерных реакторах. М.: Энергоатомиздат, 1983. 96 с.
3. Радиационный захват нейтронов: Справочник / Т.С. Беланова, А.В. Игнатюк, А.Б. Пашенко, В.И. Пляскин. - М.: Энергоатомиздат, 1987. 408 с.
4. Шаманин И.В., Кошелев Ф.П., Ухов А.А. Торий в ядерных реакторах: физика, технология, безопасность. Томск: изд.-во ТПУ, 2001. 125 с.
5. Торий в ядерном топливном цикле / В.И. Бойко, В.А. Власов, И.И. Жерин и др. – М.: Издательский дом “Руда и Металлы”, 2006. – 360 с.
6. Бойко В.И., Демянюк Д.Г., Кошелев Ф.П., Мещеряков В.Н., Шаманин И.В., Шидловский В.В. Перспективные ядерные топливные циклы и реакторы нового поколения: Учебное пособие. – Томск: Изд. ТПУ, 2005. – 490 с.
7. Лебедев В.М. Ядерный топливный цикл: Технология, безопасность, экономика. – М.: Энергоатомиздат, 2005. – 316 с.

8. Владимиров В.И. Практические задачи по эксплуатации ядерных реакторов / В. И. Владимиров. — 4-е изд., перераб. и доп. — М. : Энергоатомиздат, 1976, — 303 с.

7. Средства текущей и итоговой оценки качества освоения дисциплины (фонд оценочных средств)

Оценка текущей и итоговой успеваемости магистрантов осуществляется выставлением рейтинговых баллов по результатам:

- самостоятельного (под контролем учебного мастера) выполнения лабораторной работы,
- анализа контрольных работ и подготовленных магистрантами рефератов,
- устного опроса при сдаче выполненных индивидуальных заданий, защите отчетов по лабораторным работам и во время зачета в десятом семестре (для выявления знания и понимания теоретического материала дисциплины).

ВОПРОСЫ ВЫХОДНОГО КОНТРОЛЯ

1. Структура и сравнение основных цепочек ядерных превращений в ториевом и урановом топливных циклах.
2. Система уравнений нуклидной кинетики
3. Реакции радиационного захвата нейтронов: жесткость спектра нейтронов, резонансный интеграл, блокировка резонансного интеграла
4. Основные возможные цепочки образования урана-232 в ториевом цикле, продукты распада урана-232.
5. Коэффициент воспроизводства, избыточный коэффициент воспроизводства, удельное годовое производство избыточного ядерного топлива.
6. Функционал изменения критической массы при переходе с одного топливного цикла к другому.
7. Резонансное поглощение и деление сырьевых материалов в урановом и ториевом топливных циклах.
8. Влияние на параметры топливного цикла процесса накопления изотопов U-234, U-235, U-236, Pu-240, Pu-241 и Pu-242.
9. Влияние спектра нейтронов теплового реактора и типа замедлителя на коэффициент воспроизводства.
10. Влияние отношения (замедлитель/горючее) на коэффициент воспроизводства.
11. Снижение коэффициента воспроизводства за счет накопления продуктов деления с неравновесной концентрацией.
12. Баланс нейтронов для идеализированного ториевого цикла на тепловых нейтронах.
13. Баланс нейтронов для идеализированного уранового цикла на тепловых нейтронах.

14. Коэффициент размножения на быстрых нейтронах для воспроизводящего сырьевого материала.
15. Доля запаздывающих нейтронов для многокомпонентного композиционного топлива.
16. Гетерогенная загрузка активной зоны, запальные и бланкетные тепловыделяющие сборки.
17. Гетерогенные тепловыделяющие сборки, организация "вложенного" ядерного топливного цикла.
18. Схема выбора конструкционных материалов при проектировании перспективных ядерных топливных композиций.
19. Перспективные смешанные оксидные, карбидные и нитридные сырьевые и топливные композиции.
20. Перспективные смешанные металлические топливные композиции, бериллиевые и циркониевые сплавы, металлические стекла.
21. Открытый ядерный топливный цикл, исключаящий переработку отработанного топлива.
22. Сколько ядер U^{235} в секунду превращается в U^{236} в реакторе на тепловых нейтронах на каждый киловатт мощности?
23. Оценить, сколько нужно загрузить U^{235} в активную зону реактора на тепловых нейтронах, чтобы получить мощность 150 МВт при средней плотности потока нейтронов $10^{12}\text{ нейтр}/(\text{см}^2\cdot\text{с})$.
24. Определить мощность реактора на тепловых нейтронах при средней плотности потока нейтронов $5 \cdot 10^{13}\text{ нейтр}/(\text{см}^2\cdot\text{с})$, если загрузка U^{235} равна 30 кг .
25. Какое количество U^{235} разделится и превратится в U^{236} за 1 год работы реактора на тепловых нейтронах на мощности 150 МВт ?
26. Определить процентное содержание U^{235} в горючем в конце кампании реактора на тепловых нейтронах, имеющего энергоресурс $150000\text{ МВт}\cdot\text{ч}$ и первоначальную загрузку U^{235} 30 кг как составную часть природного урана.
27. Реактор с первоначальной загрузкой 3 т обогащенного урана до 2% U^{235} выработал $4,1 \cdot 10^5\text{ МВт}\cdot\text{ч}$. Определить глубину выгорания горючего.
28. Какой процент U^{238} может быть использован в уране при работе реакторов на тепловых нейтронах, имеющих коэффициент воспроизводства $k_g = 0,8$?
29. В реакторе-размножителе, имеющем $k_g = 1,5$, загруженное горючее m_0 выгорает за 5 лет. Чему равен годовой прирост топлива?
30. Реактор выработал $50000\text{ МВт}\cdot\text{ч}$. Сколько шлаков накопилось в активной зоне?

8. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

Основная литература:

1. Шмелёв А.Н., Юрова Л.Н., Муругов В.М. Некоторые вопросы физики воспроизводства горючего в реакторах-размножителях на быстрых нейтронах. М.: Атомиздат, 1979. 80 с.
2. Муругов В.М., Троянов М.Ф., Шмелёв А.Н. Использование тория в ядерных реакторах. М.: Энергоатомиздат, 1983. 96 с.
3. Радиационный захват нейтронов: Справочник / Т.С. Беланова, А.В. Игнатюк, А.Б. Пащенко, В.И. Пляскин. - М.: Энергоатомиздат, 1987. 408 с.
4. Шаманин И.В., Кошелев Ф.П., Ухов А.А. Торий в ядерных реакторах: физика, технология, безопасность. Томск: изд.-во ТПУ, 2001. 125 с.
5. Торий в ядерном топливном цикле / В.И. Бойко, В.А. Власов, И.И. Жерин и др. – М.: Издательский дом “Руда и Металлы”, 2006. – 360 с.
6. Бойко В.И., Демянюк Д.Г., Кошелев Ф.П., Мещеряков В.Н., Шаманин И.В., Шидловский В.В. Перспективные ядерные топливные циклы и реакторы нового поколения: Учебное пособие. – Томск: Изд. ТПУ, 2005. – 490 с.
7. Лебедев В.М. Ядерный топливный цикл: Технология, безопасность, экономика. – М.: Энергоатомиздат, 2005. – 316 с.
8. Владимиров В.И. Практические задачи по эксплуатации ядерных реакторов / В. И. Владимиров. — 4-е изд., перераб. и доп. — М. : Энергоатомиздат, 1976, – 303 с.

Дополнительная литература:

1. Шаманин И.В., Кошелев Ф.П., Ухов А.А. Торий в ядерных реакторах: физика, технология, безопасность. Томск: изд.-во ТПУ, 2001. 125 с.
2. Торий в ядерном топливном цикле / В.И. Бойко, В.А. Власов, И.И. Жерин и др. – М.: Издательский дом “Руда и Металлы”, 2006. – 360 с.
3. Бойко В.И., Демянюк Д.Г., Кошелев Ф.П., Мещеряков В.Н., Шаманин И.В., Шидловский В.В. Перспективные ядерные топливные циклы и реакторы нового поколения: Учебное пособие. – Томск: Изд. ТПУ, 2005. – 490 с.

Программное обеспечение и *Internet*-ресурсы: стандартное программное обеспечение компьютерного класса – Microsoft Office (Excel, Word, PowerPoint); редактор для программирования на языке СИ++; Mathcad; Matlab и т.д.

Интернет-ресурсы:

<http://www.rosatom.ru/>

<http://www.lib.tpu.ru/>


<http://window.edu.ru/>

9. Материально-техническое обеспечение модуля (дисциплины)

Дисциплина имеет материально-техническое обеспечение в виде: компьютерного класса кафедры ТФ ауд. 242 10 уч. корпуса; специализированных расчетных программных комплексов SCALE (4 и 5-я версии) и MSU; приборного обеспечения реакторной площадки УНЦ "Исследовательский ядерный реактор ИРТ-Т", включая оборудование лаборатории № 16 кафедры технической физики.

Программа составлена на основе Стандарта ООП ТПУ в соответствии с требованиями ФГОС и ООП по направлению 14.03.02 «Ядерная физика и технологии» и профилю подготовки «Физика кинетических явлений»

Программа одобрена на заседании кафедры ТЕХНИЧЕСКАЯ ФИЗИКА ФТИ ТПУ (протокол № 14 от «8» июня 2015 г.).

Профессор кафедры ТФ ФТИ  И.В. Шаманин

Рецензент  А.П. Вергун