

УТВЕРЖДАЮ
 Директор ИЯТШ
 _____ О.Ю. Долматов
 «__» _____ 2018 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ
 НА УЧЕБНЫЙ ГОД**

Методы разделения стабильных изотопов

Направление (специальность)	14.03.02 – Ядерные физика и технологии		
ООП			
Номер кластера			
Профиль (-и) подготовки (специализация, программа)	Физика кинетических явлений		
Квалификация	бакалавр		
Базовый учебный план приема (год)	2018		
Курс	4	семестр	7
Трудоемкость в кредитах (зачетных единицах)	3		
Виды учебной деятельности	Временной ресурс		
	по очной форме		
	обучения		
Лекции, ч	16		
Практические занятия, ч	–		
Лабораторные занятия, ч	32		
Контактная (аудиторная) работа (ВСЕГО), ч	48		
Самостоятельная работа, ч	60		
ИТОГО, ч	108		
Вид промежуточной аттестации	экзамен	Обеспечивающее подразделение	ОЯТЦ ИЯТШ
Руководитель ОЯТЦ ИЯТШ	А.Г. Горюнов		
Руководитель ООП	П.Н. Бычков		
Преподаватель	А.А. Орлов		

2018 г.

1. Цели освоения дисциплины

Целями освоения дисциплины является формирование у обучающихся определенного состава компетенций (результатов освоения) для подготовки к профессиональной деятельности (в соответствии с п. 3).

2. Место дисциплины в структуре ООП

Дисциплина «Методы разделения стабильных изотопов» В.М.4.2 относится к разделу (блоку) учебного плана ООП: Вариативная часть. Модуль специализации "Физика кинетических явлений"

Пререквизиты:

1. Современные технологии
2. Современные технологии ядерного топливного цикла
3. Методы обработки результатов ядерного физического эксперимента
4. Физические методы анализа веществ и материалов
5. Физические основы материаловедения
6. Техническая термодинамика
7. Гидродинамика и теплообмен
8. Квантовые законы атомной физики
9. Математическое моделирование физических процессов
10. Ядерная и радиационная безопасность
11. Дозиметрия и защита от ионизирующих излучений
12. Введение в ядерную физику
13. Лабораторный практикум

Корреквизиты:

1. Междисциплинарный проект
2. Теория каскадов для разделения двухкомпонентных изотопных смесей
3. Учебно-исследовательская работа студентов

Постреквизиты:

1. Кинетика физико-химических явлений и процессов
2. Ионнообменные технологии
3. Теория газовых центрифуг
4. Специальный лабораторный практикум

3. Планируемые результаты обучения по дисциплине

В соответствии с требованиями ООП освоение дисциплины направлено на формирование у студентов следующих компетенций (результатов освоения ООП), в т.ч. в соответствии с ФГОС 3++ ВО и профессиональными стандартами (табл.1):

Таблица 1

Составляющие результатов освоения ООП

Результаты освоения ООП	Компетенции по ФГОС, СУОС	Составляющие результатов освоения					
		Код	Владение опытом	Код	Умения	Код	Знания
P1	ПК–14 ПК–17 ОПК–1	B.1.1	обобщения, анализа, восприятия информации, постановки цели и выбора путей ее достижения;	У.1.1	самообучаться, повышать свою квалификацию и мастерство;	3.1.1	основных методов, способов и средств получения, хранения, переработки информации
		B.1.2	работы с компьютером как средством управления информацией	У.1.2	работать с информацией в глобальных компьютерных сетях		
P7		B.7.1	математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования	У.7.1	использовать основные законы естественнонаучных дисциплин в профессиональной деятельности	3.7.1	основных законов естественнонаучных дисциплин
P10		B.10.1	эксплуатации современного физического оборудования и приборов	У.10.1	использовать основные законы естественнонаучных дисциплин в профессиональной деятельности	3.10.1	основных законов естественнонаучных дисциплин

В результате освоения дисциплины студентом должны быть достигнуты следующие результаты (табл. 2):

Таблица 2

Планируемые результаты обучения по дисциплине

№ п/п	Результат
РД1	Студент должен: знать основные способы и установки для экспериментального исследования физико-химических свойств разделительных систем и способы обработки полученной информации; терминологию, используемую для описания методов разделения изотопов; уметь находить и использовать научно-техническую информацию в исследуемой области из различных ресурсов, включая интернет; владеть опытом работы и использования в ходе проведения исследований научно-технической информации, Интернет-ресурсов, баз данных, поисковых систем и др. в области изотопного разделения, в том числе, на иностранном языке
РД3	Студент должен иметь опыт работы в коллективе в кооперации с коллегами
РД7	Студент должен: знать специальные разделы математики, физики и химии, лежащие в основе способов, применяемых для организации процессов изотопного разделения; уметь использовать основные законы естественнонаучных дисциплин при описании обменных процессов; владеть устойчивыми навыками проведения теоретических расчетов и моделирования процессов изотопного обмена с использованием компьютерной техники, обработки, систематизации и анализа полученных результатов
РД10	Студент должен владеть приемами и методами практического определения ряда свойств и термодинамических характеристик взаимодействующих фаз и опытом работы с научно-исследовательским оборудованием
РД12	Студент должен: владеть опытом подготовки данных и составления отчета по проделанной работе в соответствии с требованиями нормативной документации
РД13	Студент должен владеть опытом использования научно-технической информации отечественных и зарубежных авторов по тематике исследования, современных компьютерных технологий и базы данных в своей предметной области
РД14	Студент должен знать устройства основных элементов разделительного каскада; владеть приемами синтеза элементов и методиками расчета некоторых схем разделительных каскадов
РД15	Студент должен знать способы компоновки технологического оборудования каскадов

4. Структура и содержание дисциплины

Раздел 1. Основы теории процессов разделения изотопов

В разделе рассмотрены области применения стабильных изотопов, основные понятия и термины, используемые в процессе разделения изотопов, такие как разделительный элемент, ступень и каскад, общие уравнения каскада, материального баланса вещества и изотопа, теплового баланса.

Введено понятие идеальный каскад. Рассмотрена форма идеального каскада и суммарные потоки в каскаде, а также методика расчета коэффициентов разделения и констант равновесия в процессах изотопного обмена и оптимизации каскада, вопросы компьютерного моделирования нестационарных процессов в колоннах и каскадах.

Названия лабораторных работ:

1. Изучение процесса разделения изотопов водорода методом электролиза.
2. Определение чисел переноса ионов в разделительных процессах при электромиграции.
3. Определение коэффициентов разделения и констант равновесия в процессах изотопного обмена.
4. Материальные расчеты процесса ректификации.
5. Расчет теплового баланса ректификационной колонны.
6. Компьютерное моделирование нестационарных процессов в колоннах.

Темы лекций:

1. Области применения стабильных изотопов.
2. Основные понятия и термины, используемые в процессе разделения изотопов. Разделительный элемент, ступень и каскад.
3. Общие уравнения каскада. Материальный баланс.
4. Идеальный каскад. Форма идеального каскада. Суммарные потоки в каскаде. Оптимизация каскада.

Раздел 2. Методы разделения стабильных изотопов
--

В разделе рассмотрены принцип действия, основные характеристики, достоинства и недостатки электромагнитного метода, электролиза, электродиализа, электрохроматографии, изотопного обмена, низкотемпературной ректификации, лазерного разделения изотопов (атомарный и молекулярный вариант), плазменного метода (в том числе плазменной центрифуги), метода сопла, газовой диффузии, центробежного метода разделения, а также аппаратное оформление разделительных процессов этими методами. Представлена сравнительная эффективность методов разделения стабильных изотопов. Рассмотрены перспективы их совершенствования. Для обменных методов рассмотрен вопрос обращения потоков фаз и формула Релея.

Названия лабораторных работ:

7. Определение ВЭТТ в колонне при противоточном изотопном обмене.
8. Ректификационная колонна.
9. Расчет электродиализного аппарата для обессоливания воды.
10. Построение матрицы планирования оптимального эксперимента.
11. Расчет характеристик термодиффузионного разделения.
12. Расчет кинетики процессов экстрагирования.

Темы лекций:

5. Электромагнитный метод. Электролиз, электродиализ, электрохроматография.

6. Разделение изотопов методом изотопного обмена. Низкотемпературная ректификация. Аппаратурное оформление процессов. Обращение потоков фаз. Формула Релея.

7. Лазерное разделение изотопов (атомарный и молекулярный вариант). Плазменные методы разделения изотопов. Плазменная центрифуга.

8. Метод сопла. Газовая диффузия. Центробежный метод разделения. Сравнительная эффективность методов и перспективы их совершенствования.

5. Организация самостоятельной работы студентов

Самостоятельная работа студентов при изучении дисциплины предусмотрена в видах и формах, приведенных в табл. 3.

Таблица 3

Основные виды и формы самостоятельной работы

Виды самостоятельной работы	Объем времени, ч
<i>Работа с лекционным материалом, поиск и обзор литературы и электронных источников информации по индивидуально заданной проблеме курса</i>	10
<i>Изучение тем, вынесенных на самостоятельную проработку</i>	10
<i>Поиск, анализ, структурирование и презентация информации</i>	6
<i>Перевод текстов с иностранных языков</i>	4
<i>Подготовка к лабораторным работам</i>	10
<i>Исследовательская работа и участие в научных студенческих конференциях, семинарах и олимпиадах</i>	8
<i>Анализ научных публикаций по заранее определенной преподавателем теме</i>	4
<i>Подготовка к контрольной работе и коллоквиуму, экзамену</i>	8

6. Оценка качества освоения дисциплины

Оценка качества освоения дисциплины в ходе текущей и промежуточной аттестации обучающихся осуществляется в соответствии с «Положением о промежуточной аттестации студентов Томского политехнического университета».

Максимальное количество баллов по дисциплине в семестре – 100 баллов, в т.ч.:

- в рамках текущего контроля – 80 баллов,
- за промежуточную аттестацию (экзамен/зачет) – 20 баллов.

Оценка качества освоения дисциплины производится по результатам оценочных мероприятий.

Оценочные мероприятия текущего контроля по разделам и видам учебной деятельности приведены в Приложении «Календарный рейтинг-план изучения дисциплины».

7. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

7.1 Методическое обеспечение

Основная литература

1. *Разделение изотопов урана [Электронный ресурс]: учебное пособие для вузов / А.А. Орлов, А.В. Абрамов; Национальный исследовательский Томский политехнический университет (ТПУ). – 1 компьютерный файл (pdf; 1.9 МВ). – Томск: Изд-во ТПУ, 2010. – Заглавие с титульного экрана. – Электронная версия печатной публикации. – Доступ из корпоративной сети ТПУ. – Системные требования: Adobe Reader. <http://www.lib.tpu.ru/fulltext2/m/2011/m274.pdf>*
2. A. Yu. Smirnov, G. A. Sulaberidze. Comparison of methods of enriching intermediate components in cascades with the same number of separative elements. Atomic Energy, Vol. 117, No. 5, March, 2015 (Russian Original Vol. 117, No. 5, November, 2014). DOI 10.1007/s10512-015-9931-7.
3. *Физические основы разделения изотопов в газовой центрифуге: учебное пособие / В.Д. Борисевич [и др.]. – М.: Изд-во МЭИ, 2011. – 277 с.: ил. – Библиогр.: С. 266-270. – ISBN 978-5-383-00588-0.*
4. *Изотопы: свойства, получение, применение. В 2-х томах, Т.1. Под ред. В.Ю. Баранова. – М.: Физматлит. 2005. – 728 с.*
5. G. Sulaberidze, Shi Zeng, A. Smirnov, A. Bonarev, V. Borisevich, Dongjun Jiang. Efficiency criteria for optimization of separation cascades for uranium enrichment. Nuclear Engineering and Technology November 2017, <https://doi.org/10.1016/j.net.2017.10.008>.

Дополнительная литература:

1. *Ионообменная технология разделения и очистки веществ [Электронный ресурс]: учебное пособие / А.П. Вергун, В.Ф. Мышкин, А.В. Власов; Национальный исследовательский Томский политехнический университет (ТПУ). – 1 компьютерный файл (pdf; 2.4 МВ). – Томск: 2010. – Заглавие с титульного экрана. – Доступ из сети НТБ ТПУ. – Системные требования: Adobe Reader.*
2. *Гидрогазодинамика разделительных процессов [Электронный ресурс]: учебное пособие / Д. Г. Видяев; Национальный исследовательский Томский политехнический университет (ТПУ). – 1 компьютерный файл (pdf; 683 KB). – Томск: Изд-во ТПУ, 2010. – Заглавие с титульного экрана. – Доступ из корпоративной сети ТПУ. – Системные требования: Adobe Reader.*
3. Розен А.М. Теория разделения изотопов в колоннах. – М.: Атомиздат, 1960. – 436 с.
4. Андреев Б.М., Зельвенский Я.Д., Кательников С.Г. Разделение изотопов физико-химическими методами. – М.: Энергоатомиздат, 1982. – 208 с.
5. Бродский А.М. Химия изотопов. – М.: АН СССР, 1992. – 595 с.

7.2 Информационное обеспечение

Internet-ресурсы (в т.ч. в среде LMS MOODLE и др. образовательные и библиотечные ресурсы):

1. www.lib.tpu.ru/

2. www.lib.tsu.ru/
3. www.elibrary.ru/
4. www.scopus.com/
5. www.wokinfo.com/russian/
6. <http://www.rosatom.ru>
7. <http://window.edu.ru/>

Используемое лицензионное программное обеспечение (в соответствии с Перечнем лицензионного программного обеспечения ТПУ):

1. Microsoft Office (Excel, Word, PowerPoint);
2. Mathcad;
3. Mathlab.

8. Материально-техническое обеспечение дисциплины

Основное материально-техническое обеспечение дисциплины представлено в табл. 4.

Таблица 4

Материально-техническое обеспечение дисциплины

№ п/п	Наименование оборудованных учебных кабинетов, компьютерных классов, учебных лабораторий, объектов для проведения практических занятий с перечнем основного оборудования	Адрес (местоположение), с указанием корпуса и номера аудитории
1.	Компьютерный класс кафедры ТФ, 11 компьютеров	10 уч. корпус, ауд. 242
2	Учебные лаборатории	10 к.: ауд. 316, ауд.239, ауд. 244, ауд.246, ауд. 247, ауд.019, ауд. 001. 11 к.: ауд. 302, ауд. 303.
3.	Компьютерный класс, 31 компьютер	10 уч. корпус, ауд. 319
4.	Оборудование: Масс-спектрометр УМТ-3, 1 шт. Масс-спектрометр ЭМГ-20-9, 1 шт. Спектрометр MSDD1000, 1 шт. Перестраиваемый лазер LF-117, 1 шт. Плазмохимический стенд на базе ВЧГ-4/27, 1 шт.	10 уч. к., ауд. 001 10 уч. к., ауд. 239 10 уч. к., ауд. 316 10 уч. к., ауд. 316 10 уч. к., ауд. 001

9. Образовательные технологии

При изучении дисциплины используются следующие образовательные технологии:

Таблица 5

Методы и формы организации обучения

Формы организации	Лекц.	Лаб.	Пр. зан./	Тр.*,	СРС	К. пр.***
-------------------	-------	------	-----------	-------	-----	-----------

обучения		раб.	сем.,	Мк**		
Методы						
IT-методы		+	+			+
Работа в команде		+				
Case-study						
Игра						
Методы проблемного обучения			+		+	
Обучение на основе опыта	+		+			
Опережающая самостоятельная работа		+			+	
Проектный метод	+					
Поисковый метод					+	
Исследовательский метод		+				
Другие методы	**	***	*	+		*

* – Тренинг, ** – мастер-класс, *** – командный проект

IT-методы – использование Internet-ресурсов для расширения информационного поля и получения информации, в том числе и профессиональной.

Работа в команде – это работа или тренинг небольшой группы студентов, занятых выполнением определенной задачи. При этом, участники группы имеют личную заинтересованность в успехе всей группы. Один из участников группы выполняет роль лидера.

Методы проблемного обучения: исследовательский, эвристический и метод проблемного изложения. Под проблемным обучением обычно понимают стимулирование студентов к самостоятельному приобретению знаний для решения конкретной поставленной задачи.

Обучение на основе опыта – это модель эффективного использования имеющегося жизненного и профессионального опыта обучаемых в их дальнейшем образовании и развитии при помощи таких форм, как дискуссии, дебаты, обсуждение вопросов, требующих критического мышления, проблемное обучение, кейс-стади и т.д. Большую роль в успехе таких форм занятий играет мастерство преподавателя. **Опережающая самостоятельная работа** – самостоятельное освоение студентами материалов лабораторных, практических работ до его изложения преподавателем во время аудиторных занятий;

Проектный метод – развитие познавательных, творческих навыков студентов, умений самостоятельно конструировать свои знания, умений ориентироваться в информационном пространстве, развитие критического мышления.

Поисковый метод – один из активных методов обучения, заключающийся в том, что изложение учебного материала преподносится как проблема, требующая от обучаемых самостоятельного разрешения или «открытия», которое нужно сделать им самим. Поисковый метод обеспечивает вовлечение

учащихся в процесс самостоятельного приобретения знаний, сбора и исследования информации.

Исследовательский метод – познавательная деятельность, направленная на приобретение новых теоретических и фактических знаний за счет исследовательской деятельности, проводимой под руководством преподавателя во время практических и лабораторных занятий.

Тренинг – метод активного обучения, направленный на развитие знаний, умений и навыков и социальных установок и форма интерактивного обучения, целью которого является развитие компетентности межличностного и профессионального поведения в общении.

Мастер-класс – оригинальный метод обучения и занятие по совершенствованию практического мастерства, проводимое специалистом в определенной области творческой деятельности науки для лиц, достигших достаточного уровня профессионализма в этой сфере деятельности.

Командный проект содержит всю информацию, включая исходный текст, задачи, которые необходимо выполнить, инструкции, документацию, оценки качества и информацию о планировании.

10. Содержание самостоятельной работы по дисциплине

10.1. Виды и формы самостоятельной работы

Текущая самостоятельная работа включает следующие виды работ:

- работа с лекционным материалом, поиск и обзор литературы и электронных источников информации по индивидуально заданной проблеме курса;
- опережающая самостоятельная работа;
- изучение тем, вынесенных на самостоятельную проработку;
- подготовка к лабораторным работам;
- подготовка к зачету.

Творческая самостоятельная работа включает:

- поиск, анализ, структурирование и презентация информации,
- 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.

Перечень научных проблем и направлений научных исследований:

1. Моделирование и расчет параметров разделительных каскадов.
2. Изыскания в области перспективных систем разделения стабильных изотопов.
3. Моделирование гидравлических и разделительных процессов.
4. Области применения стабильных изотопов.

10.2. Содержание самостоятельной работы по дисциплине

ТСР может включать следующие виды работ по основным проблемам курса:

- поиск, анализ, структурирование информации по основным проблемам курса,

- выполнение расчетно-графических работ;
- исследовательская работа и участие в научных студенческих конференциях, семинарах и олимпиадах по основным проблемам курса;
- 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.

Самостоятельная работа включает подготовку к лекционным, практическим и лабораторным занятиям, к зачету и изучение отдельных тем, отнесенных к самостоятельному освоению студентами с использованием литературных источников, представленных в учебной программе дисциплины. В число часов для самостоятельной работы включено необходимое время для подготовки к текущему контролю, проводимому в течение семестра.

Темы индивидуальных заданий:

1. Подбор соединений для разделения стабильных изотопов
3. Получение стабильных изотопов в России и за рубежом
4. Классификация изотопных эффектов
5. Методы получения стабильных изотопов
6. Основные понятия и классификация изотопов
7. Ядерные свойства изотопов
8. Свойства стабильных изотопов и области их применения
9. Масс-спектрометрические методы анализа стабильных изотопов
10. Спектральные методы анализа стабильных изотопов
11. История и состояние промышленного разделения изотопов в Российской Федерации.
12. Электрохимические методы разделения изотопов.
13. Электромагнитный метод
14. Газовая диффузия
15. Газовые центрифуги для разделения изотопов
16. Ректификация
17. Химический изотопный обмен
18. Лазерное разделение изотопов
19. Использование плазмы для разделения изотопов
20. Состояние теории каскадного разделения изотопов для двух и многокомпонентных смесей.

Темы, выносимые на самостоятельную проработку:

1. Электролиз.
2. Электродиализ.
3. Электрохроматография.
4. Методы химического изотопного обмена.
5. Разделение изотопов плазменным методом.
6. Компоновка разделительных каскадов.

Основная литература

1. *Разделение изотопов урана [Электронный ресурс]: учебное пособие для вузов / А.А. Орлов, А.В. Абрамов; Национальный исследовательский Томский политехнический университет (ТПУ). – 1 компьютерный файл (pdf; 1.9 МВ). – Томск: Изд-во ТПУ, 2010. – Заглавие с титульного экрана. – Электронная*

версия печатной публикации. – Доступ из корпоративной сети ТПУ. –
Системные требования: Adobe Reader.
<http://www.lib.tpu.ru/fulltext2/m/2011/m274.pdf>

2. A. Yu. Smirnov, G. A. Sulaberidze. Comparison of methods of enriching intermediate components in cascades with the same number of separative elements. Atomic Energy, Vol. 117, No. 5, March, 2015 (Russian Original Vol. 117, No. 5, November, 2014). DOI 10.1007/s10512-015-9931-7.

3. Физические основы разделения изотопов в газовой центрифуге: учебное пособие / В.Д. Борисевич [и др.]. – М.: Изд-во МЭИ, 2011. – 277 с.: ил. – Библиогр.: С. 266-270. – ISBN 978-5-383-00588-0.

4. Изотопы: свойства, получение, применение. В 2-х томах, Т.1. Под ред. В.Ю. Баранова. – М.: Физматлит. 2005. – 728 с.

5. G. Sulaberidze, Shi Zeng, A. Smirnov, A. Bonarev, V. Borisevich, Dongjun Jiang. Efficiency criteria for optimization of separation cascades for uranium enrichment. Nuclear Engineering and Technology November 2017, <https://doi.org/10.1016/j.net.2017.10.008>.

11. Оценочные мероприятия

11.1 По дисциплине

Оценочные мероприятия (оставить необходимое)	Кол- во*	Баллы	Результаты обучения по дисциплине, РД
Посещение занятий	20	20	РД1, РД3, РД7, РД10, РД12, РД14, РД15
Реферат	1	15	РД1, РД12, РД13
Защита отчета по лабораторной работе	12	12	РД1, РД3, РД7, РД10, РД12, РД14
Контрольная работа	3	15	РД1, РД14, РД15
Защита ИДЗ			
Коллоквиум			
Другое (указать) Выступление с презентацией	1	18	РД1, РД7, РД12, РД13
Экзамен	1	20	РД1, РД3, РД7, РД10, РД12, РД14, РД15
ИТОГО		100	

Календарный рейтинг-план освоения дисциплины представлен в приложении.

Программа одобрена на научно-методическом заседании отделения Ядерно-топливного цикла (протокол № 3 от «31» мая 2018 г.)

Автор(ы):

Профессор ОЯТЦ ИЯТШ _____/А.А. Орлов/

Рецензент(ы):

Профессор ОЯТЦ ИЯТШ _____/А.П. Вергун/

Доцент ОЯТЦ ИЯТШ

_____/Д.Г. Видяев/