

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова
Химический факультет

УТВЕРЖДАЮ

И.о. декана химического факультета,
Чл.-корр. РАН, профессор



/С.Н. Калмыков/

«30» августа 2019 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)
РАДИОХИМИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ЯДЕРНОГО ТОПЛИВНОГО ЦИКЛА**

Уровень высшего образования:
Магистратура

Направление подготовки (специальность):
04.04.01 Химия

Направленность (профиль) ОПОП:
Радиохимия

Форма обучения:
очная

Рабочая программа рассмотрена и одобрена
Учебно-методической комиссией факультета
(протокол №3 от 13.05.2019)

Москва 2019

Рабочая программа дисциплины (модуля) разработана в соответствии с самостоятельно установленным МГУ образовательным стандартом (ОС МГУ) для реализуемых основных профессиональных образовательных программ высшего образования по направлению подготовки 04.04.01 «Химия» (программа магистратуры) в редакции приказа МГУ от 30 августа 2019 г., №1033.

Год (годы) приема на обучение 2019/2020, 2020/2021

1. Место дисциплины (модуля) в структуре ООП: вариативная часть ООП, блок В-ПД
2. Планируемые результаты обучения по практике, соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями выпускников). Соответствие результатов обучения по данному элементу ОПОП результатам освоения ОПОП (в форме компетенция – индикатор достижения - ЗУВ) указано в Общей характеристике ОПОП.

Формируемые компетенции	Индикаторы достижения	Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю)
СПК-1.М: Способен использовать знания о явлении радиоактивности, ядерных реакциях, воздействии ионизирующих излучений на вещество, свойствах радиоактивных соединений для квалифицированной постановки и решения радиохимических задач	СПК-1.М.3 Оценивает результаты физических и химических процессов с участием радиоактивных веществ	Знать: радиохимические аспекты отдельных стадий ядерного топливного цикла. Уметь: критически анализировать, обобщать и применять научную информацию об особенностях химических процессов на отдельных стадиях ядерного топливного цикла, с целью определения наиболее оптимальных условий технологических процессов. Владеть: знаниями о радиохимических аспектах отдельных стадий ядерного топливного цикла, в том числе, о международном опыте в данной области.

3. Объем дисциплины (модуля) составляет **2** зачетных единицы, всего **72** часа, из которых **40** часов составляет контактная работа студента с преподавателем (**19** часов - занятия лекционного типа, **19** часов - занятия семинарского типа, **2** часа – проведение промежуточной аттестации), **32** часа составляет самостоятельная работа учащегося.

4. Входные требования для освоения модуля, предварительные условия.

Для полноценного усвоения данного образовательного модуля **необходимо:**

- **знать** основные естественнонаучные дисциплины в рамках образовательной программы бакалавра; изучение дисциплин данного модуля опирается, главным образом, на теоретических знаниях и практических навыках в области неорганической, аналитической, органической и физической химии;
- **уметь** пользоваться химической литературой и современными интернет-ресурсами;
- **владеть** базовыми навыками работы с компьютерными программами.

5. Аннотация содержания дисциплины (модуля)

Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины (модуля), форма промежуточной аттестации по дисциплине (модулю)	Всего (з.е. / часы)	В том числе								
		Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы из них						Самостоятельная работа обучающегося, часы из них		
		Занятия лекционного типа	Занятия семинарского типа, в т.ч., лабораторные и практические работы	Групповые консультации	Индивидуальные консультации	Учебные занятия, направленные на проведение текущего контроля успеваемости коллоквиумы, практические контрольные занятия* и	Всего	Выполнение домашних заданий	Подготовка к контрольным работам	Всего
Раздел 1. Общее описание ядерных топливных циклов	8	2	2				4	2	2	4
Раздел 2. Добыча и переработка урановой руды	8	2	2				4	2	2	4
Раздел 3. Производство ядерных топлив	8	2	2				4	2	2	4
Раздел 4. Атомный реактор и АЭС	8	2	2				4	2	2	4
Раздел 5. Обращение с ОЯТ	11	2	4			(*)	6	4	2	6

Раздел 6. Обращение с РАО	12	4	4				8	2	2	4
Раздел. 7. Пирохимическая переработка ОЯТ	13	5	3			(*)	8	4	2	6
Промежуточная аттестация - зачет						2	2			
Итого	72	19	19			2	40			32

* Текущий контроль проводится в рамках семинарских занятий

Содержание разделов дисциплины

Раздел 1. Общее описание ядерных топливных циклов

1. Введение в ЯТЦ.
2. Этапы ЯТЦ. Открытый и замкнутый ЯТЦ.
3. Уран-плутониевый цикл. Ториевый цикл.
4. Экономические показатели и статистика разных стран.

Раздел 2. Добыча и переработка урановой руды

1. Минералы, содержащие уран, имеющие промышленное значение.
2. Способы добычи урана.
3. Выбор реагентов для подземного и кучного выщелачивания.
4. Переработка урановой руды.
5. Технология конверсии в UF₆.

Раздел 3. Производство ядерных топлив

1. Виды ядерных топлив.
2. Производство оксидных топлив.
3. Производство карбидного и нитридного топлива.

Раздел 4. Атомный реактор и АЭС

1. Устройство и принцип действия атомного реактора.

2. Типы атомных реакторов.
3. Атомная электростанция.
4. Ядерная и радиационная безопасность в атомной энергетике

Раздел 5. Обращение с ОЯТ

1. Изменение радиоактивности и радиотоксичности ОЯТ со временем.
2. Экономические предпосылки к переработке ОЯТ.
3. Водные методы переработки ОЯТ.
4. Неводные методы переработки ОЯТ.

Раздел 6. Обращение с РАО

1. Образование РАО на различных стадиях ЯТЦ.
2. Обращение с газообразными РАО.
3. Обращение с жидкими РАО.
4. Обращение с твердыми и гетерогенными РАО.
5. Матрицы для иммобилизации РАО.
6. Захоронение РАО в геологические формации.

Раздел 7. Пирохимическая переработка ОЯТ

1. Особенности пирохимических технологий.
2. Конструкционные материалы для оборудования.
3. Поведение продуктов деления в пирохимических процессах, очистка электролита.

6. Самостоятельное изучение разделов дисциплин

Самостоятельная работа студентов состоит в проработке лекционного материала, подготовке к контрольным работам, выполнению домашних заданий, а также подготовке к экзамену.

Примерный перечень видов работ, проводимых самостоятельно:

- Работа с лекционным материалом и рекомендованной литературе по теме: *Общее описание ядерных топливных циклов. Подготовка к контрольной работе по данной теме.*
- Работа с лекционным материалом и рекомендуемой литературе по теме: *Добыча и переработка урановой руды. Подготовка к контрольной работе по данной теме.*

- Работа с лекционным материалом и рекомендуемой литературе по теме: *Производство ядерных топлив. Подготовка к контрольной работе по данной теме.*
- Работа с лекционным материалом и рекомендуемой литературе по теме: *Атомный реактор и АЭС. Подготовка к контрольной работе по данной теме.*
- Работа с лекционным материалом и рекомендуемой литературе по теме: *Обращение с ОЯТ. Подготовка к контрольной работе по данной теме.*
- Работа с лекционным материалом и рекомендуемой литературе по теме: *Обращение с РАО. Подготовка к контрольной работе по данной теме.*
- Работа с лекционным материалом и рекомендуемой литературе по теме: *Пирохимическая переработка ОЯТ. Подготовка к контрольной работе по данной теме.*

Подготовка к зачету.

7. Образовательные технологии:

- преподавание дисциплин в форме авторских курсов по программам, составленным на основе результатов исследований научных школ МГУ;
- применение компьютерных симуляторов, обработка данных на компьютерах;
- использование средств дистанционного сопровождения учебного процесса.

8. Ресурсное обеспечение:

Со всех компьютеров МГУ организован доступ к полным текстам научных журналов и книг на русском и иностранных языках. Доступ открыт по IP-адресам, логин и пароль не требуются: <http://nbmgu.ru/>

Основная литература

1. Конспект лекций.
2. Химия актиноидов. Том 1. Редакторы Дж. Кац, Г. Сиборг и Л. Морсс. Перевод с англ. М. Мир. 1991г. 525с.
3. Химия актиноидов. Том 2. Редакторы Дж. Кац, Г. Сиборг и Л. Морсс. Перевод с англ. М. Мир. 1997г. 664с.
4. Химия актиноидов. Том 3. Редакторы Дж. Кац, Г. Сиборг и Л. Морсс. Перевод с англ. М. Мир. 1999г. 647с.
5. Н. Гринвуд, А. Эрншо. Химия элементов = Chemistry of the Elements / Пер. с англ. — М.: "Бином. Лаборатория знаний", 2008. — Т. 2. — 670 с.
6. Б. Ф. Мясоедов, Л. И. Гусева, И. А. Лебедев, М. С. Милюкова, М. К. Чмутова. Аналитическая химия трансплутониевых элементов. — М.: Наука, 1972. — 376 с.

Дополнительная литература

1. Gregory R. Choppin, Jan-Olov Liljenzin, Jan Rydberg. Radiochemistry and Nuclear Chemistry. 3-е изд. Butterworth-Heinemann, 2002. — 709 с.
2. The Chemistry of the Actinide and Transactinide Elements (Vol.1-6). Morss, L.R.; Edelstein, N.; Fuger, J.; Katz, J.J. (Eds.), Springer, 4th ed. 2011, 4514p

Периодическая литература

1. Радиохимия
2. Radiochimica Acta
3. Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry
4. Environmental Radioactivity
5. Journal of Nuclear Materials

Интернет-ресурсы

1. Доступ к основным мировым on-line библиотекам и базам данных ссылок и рефератов (Web of Science и другие)
2. Доступ к on-line ресурсам и журналам издательства Elsevier, Springer и других.
3. Сайт кафедры радиохимии

Требования к материально-техническому обеспечению: обычная аудитория с возможностью демонстрации презентаций

9. Язык преподавания – русский

10. Преподаватели: к.х.н. Петров В.Г., вед.инж. Неволин Ю.М., м.н.с. Матвеев П.И.

Фонды оценочных средств, необходимые для оценки результатов обучения

Образцы оценочных средств для текущего контроля усвоения материала и промежуточной аттестации - зачета. На зачете проверяется достижение промежуточных индикаторов компетенций, перечисленных в п.2.

Текущий контроль успеваемости проводится еженедельно. Критерии формирования оценки – посещаемость занятий, активность работы студентов на лекциях и семинарах, уровень подготовки к лекциям, результаты контрольной работы.

1. Образец контрольной работы.

Задание 1. Обогащительный завод производит из естественного урана 400 т/год обогащенного урана с массовым содержанием 2%. Концентрация в отвале по массе составляет 0.25%.

- Какова разделительная мощность (SWU) такого завода в тоннах в год?

- Сколько урана с 3% обогащением может произвести такой же завод за год, если концентрация в отвале останется 0.25%?
- Какой будет выход 3%-обогащенного урана, если обогащение в отвале увеличится до 0.35%?

Задание 2. Дана цепочка превращений $U_3O_8 \rightarrow UO_2(NO_3)_2 \rightarrow X$; $X + H_2 \rightarrow Y$; $Y + F_2 \rightarrow Z$. Расшифруйте цепочку и напишите формулы веществ X, Y, Z. Для чего применяется вещество Z?

Промежуточный контроль успеваемости (вопросы к зачету)

Для аттестации по итогам освоения дисциплины предусмотрен зачет. Зачет проводится с учетом успеваемости обучающегося при работе в семестре и результатами контрольной работы. Зачет проводится устно и включает в себя ответы на вопросы из перечня:

Экономические показатели и статистика разных стран. Этапы ЯТЦ. Открытый и замкнутый ЯТЦ. Уран-плутониевый цикл. Ториевый цикл.

Уран в природе, его минералы и месторождения. Способы добычи урановых руд, обогатительные и аффинажные процессы. Конечные продукты урановых горно-обогатительных комбинатов.

Виды урана по степени его изотопного обогащения. Математические основы обогатительных процессов. Гексафторид урана как рабочее тело в процессах обогащения. Газодиффузионный способ обогащения, его преимущества и недостатки. Газоцентрифужный способ обогащения, его преимущества и недостатки. Лазерно-оптические и электромагнитные процессы обогащения.

Виды топливных композиций для фабрикация ядерного топлива. Диоксид урана как основная форма топлива реакторов на тепловых нейтронах. Технологические стадии фабрикация топлива от обогащенного UF_6 до керамического UO_2 . Смешанное МОКС и СНУП топливо, особенности производства, преимущества и недостатки. ТВЭЛ и ТВС, их материалы и конструкционные особенности.

Физические основы процессов получения энергии при работе реакторной установки. Запоздывающие и мгновенные нейтроны. Сечение реакции деления ядра в зависимости от энергии налетающих нейтронов. Накопление продуктов деления ядра и продуктов захвата нейтронов ядром. Величина степени выгорания, ее разновидности. Наиболее важные продукты деления, физико-химические формы их нахождения в ОЯТ. Наиболее важные продукты захвата нейтронов. Деградация топлива при облучении, радиационные повреждения материала топлива и конструкционных материалов. Накопление продуктов деления - нейтронных ядов, понятие йодной ямы.

Схема преобразования энергии деления ядер в электрическую энергию на типовой АЭС. Классификация реакторов на установки на тепловых и быстрых нейтронах. Типы реакторов на тепловых нейтронах по виду замедлителя, теплоносителя и топлива. Основы конструкции реакторов ВВЭР и РБМК, их отличия. Реакторы на быстрых нейтронах, их особенности, основы конструкции реакторов типа БН и БРЕСТ.

Хранение и выдержка ОЯТ, виды хранилищ. Транспортировка ОЯТ, понятие о транспортно-упаковочном контейнере. Классификация способов вскрытия ТВЭЛ. Метод «рубка-выщелачивание», стадия рубки. Стадия растворения ОЯТ, условия процесса. Осветление растворов после растворения. Возможные модификации головной операции переработки ОЯТ. Историческая ретроспектива процессов переработки ОЯТ Пурекс-процесс. Корректировка параметров раствора ОЯТ до экстракционных операций. Физико-химические основы Пурекс-процесса, ТБФ как основной экстрагент гидрометаллургической технологии. Совместная экстракция U и Pu, поведение продуктов деления. Восстановительная реэкстракция как основа разделения U и Pu. Виды используемых восстановителей. Деградация ТБФ и его регенерация. Поведение Np, Tc, Ru, Zr в Пурекс-процессе. Виды аффинажных операций на завершающей стадии процесса. Фабрикация конечных продуктов, их виды. Улучшенный (Advanced) Пурекс-процесс.

Переработка рафината Пурекс-процесса, обоснование с точки зрения радиотоксичности. Основные проблемы разделения. Процессы извлечения Cs-Sr, их основы. Извлечение Am-Cm, используемые для этого системы.

Классификация РАО, образующихся в ЯТЦ по их агрегатному состоянию и активности. Концепции обращения с ОЯТ, принятие в разных странах. Глубинное захоронение, основные принципы. Принцип многобарьерной защиты окружающей среды при глубинном захоронении. Типы вмещающих пород глубинных хранилищ. Материалы контейнеров для захоронения. Виды матриц для иммобилизации ВАО: стекло, цемент, керамические матрицы, их преимущества и недостатки. Способы оценки нестыкости матриц: степень выщелачивания и прочность.

Пирохимические технологии переработки ОЯТ. Необходимость их использования и область применения. Газофторидная технология, её физико-химические основы, преимущества и недостатки. Пироэлектрохимическая переработка в расплавах солей, классификация методов. Переработка оксидного топлива с графитовым катодом (DDP-процесс). Переработка металлического топлива с жидкометаллическим катодом. Поведение продуктов деления в этих процессах, очистка электролита.

Методические материалы для проведения процедур оценивания результатов обучения

Шкала оценивания знаний, умений и навыков является единой для всех дисциплин (приведена в таблице ниже)

ШКАЛА И КРИТЕРИИ ОЦЕНИВАНИЯ РЕЗУЛЬТАТА ОБУЧЕНИЯ по дисциплине (модулю)				
Оценка	2	3	4	5
Результат				
Знания	Отсутствие знаний	Фрагментарные знания	Общие, но не структурированные знания	Сформированные систематические знания
Умения	Отсутствие	В целом успешное, но не	В целом успешное, но содержащее	Успешное и систематическое

	умений	систематическое умение	отдельные пробелы умение (допускает неточности непринципального характера)	умение
Навыки (владения)	Отсутствие навыков	Наличие отдельных навыков	В целом, сформированные навыки, но не в активной форме	Сформированные навыки, применяемые при решении задач

РЕЗУЛЬТАТ ОБУЧЕНИЯ по дисциплине (модулю)	ФОРМА ОЦЕНИВАНИЯ
Знать: радиохимические аспекты отдельных стадий ядерного топливного цикла.	мероприятия текущего контроля успеваемости, устный опрос на зачете
Уметь: критически анализировать, обобщать и применять научную информацию об особенностях химических процессов на отдельных стадиях ядерного топливного цикла, с целью определения наиболее оптимальных условий технологических процессов.	мероприятия текущего контроля успеваемости, устный опрос на зачете
Владеть: знаниями о радиохимических аспектах отдельных стадий ядерного топливного цикла, в том числе, о международном опыте в данной области.	мероприятия текущего контроля успеваемости, устный опрос на зачете