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

УТВЕРЖДАЮ
Декан химического факультета,
Акад. РАН, профессор

/С.Н.Калмыков/
«30» августа 2022 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

Миграция радионуклидов в природных и техногенных средах
Migration of radionuclides in natural and anthropogenic environments

Уровень высшего образования:
Программа подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре
Радиохимия (104-01-00-1413-хн)

Москва 2022

1. Краткая аннотация:

Название дисциплины – Миграция радионуклидов в природных и техногенных средах (Migration of radionuclides in natural and anthropogenic environments)

Цель данного спецкурса – дать аспирантам, обучающимся специальности «Радиохимия» углубленное представление о диффузии радионуклидов и меченых ими соединений в твёрдых телах, конструкционных и функциональных материалах, в различных компонентах окружающей среды и по организму человека.

2. Уровень высшего образования – подготовка кадров высшей квалификации
3. Научная специальность: 1.4.13 Радиохимия, область науки: 1. Естественные науки
4. Место дисциплины (модуля) в структуре Программы аспирантуры: дисциплина по выбору.
5. Объем дисциплины (модуля) составляет 2 зачетные единицы, всего 72 часа, из которых 56 часов составляет контактная работа аспиранта с преподавателем (18 часов занятия лекционного типа, 2 часа мероприятия текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации, 36 часов занятий семинарского типа), 16 часов составляет самостоятельная работа учащегося.
6. Входные требования для освоения дисциплины, предварительные условия

Должна быть освоена дисциплина «Радиохимия» в специалитете или магистратуре

7. Содержание дисциплины, виды учебных занятий и формы их проведения

Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины (модуля), форма промежуточной аттестации по дисциплине (модулю)	**Всего (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	Групповые консультации	Индивидуальные консультации	Учебные занятия, направленные на проведение текущего контроля успеваемости коллоквиумы, практические	**Всего**	Выполнение домашних заданий	Подготовка рефератов и т.п.	**Всего**
Диффузионные явления	**24**	6	12				**18**	6		**6**
Диффузия в техногенных средах	**23**	6	12				**18**	5		**5**
Диффузия в природных средах	**23**	6	12				**18**	5		**5**
Промежуточная аттестация (зачет)	**2**	2	2							
Итого	**72**	18	36			2	**56**	16		**16**

8. Образовательные технологии

Традиционные лекции с презентациями

9. Учебно-методические материалы для самостоятельной работы по дисциплине (модулю):

Аспирантам предоставляется программа курса, план занятий, перечень домашних заданий и лекционные материалы. По теме каждой лекции указывается материал в источниках из списков основной и вспомогательной литературы.

10. Ресурсное обеспечение:

Основная литература

1. Crank J. Mathematics of diffusion. Oxford University Press. 1956.
2. И. Н. Бекман. Радиохимия. Том 1. Радиоактивность и радиация. Учебное пособие. Издательство ОНТОПРИНТ, 2011 – 398 с.
3. И.Н. Бекман .Радиохимия. Том 2. Радиоактивные элементы. Учебное пособие. Издательство ОНТОПРИНТ, 2014 – 400 с.
4. И.Н. Бекман. Радиохимия. Том 4. Ядерная индустрия и промышленная радиохимия. Учебное пособие. Издательство ОНТОПРИНТ, 2013 – 400 с.
5. И.Н. Бекман. Радиохимия. Том 6. Экологическая радиохимия и радиоэкология. Учебное пособие. Издательство ОНТОПРИНТ, 2014 – 400 с.
6. И.Н. Бекман. Радиохимия. Том 7. Радиационная и ядерная медицина. Физические и химические аспекты. Учебное пособие. Издательство ОНТОПРИНТ, 2012 – 400 с.

Дополнительная литература

1. Ч. Киттель Введение в физику твердого тела. М.: ФМ,1963.
2. П.В. Радушкевич Курс статистической физики. М.: "Наука", 1966
3. Ю.А. Сапожников, Р.А. Алиев, С.Н. Калмыков Радиоактивность окружающей среды. Бином, 2006, 268 с.
4. I.N. Beckman Unusual membrane processes: non-steady state regims, nonhomogeneous and moving membranes//In: Polymeric gas separation membranes (Eds. D.R. Paul, Y.P. Yampol'ski), CRC Press, Boka Raton-London-Tokyo, 1994.
5. I.N. Beckman, M.G. Shalygin, V.V. Tepliakov. Particularities of membrane gas separation under unsteady state conditions// In: Mass transfer in chemical engineering processes/Book 1, 2011, P 205 – 232
6. Взаимодействие водорода с металлами/ В.Н. Агеев, И.Н. Бекман, О.П. Бурмистрова и др. М.: Наука, 1987.

Периодическая литература

Журналы «Радиохимия», "Физическая химия", "SolidStateChemistry"

Интернет-ресурсы

1. http://profbeckman.narod.ru/
2. http://beckuniver.ucoz.ru/

11. **Язык преподавания** Русский

12. **Преподаватели**

к.х.н., доцент Петров Владимир Геннадиевич, vladimir.g.petrov@gmail.com д.х.н., доцент Чернышева Мария Григорьевна, chernysheva@radio.chem.msu.ru

Фонды оценочных средств, необходимые для оценки результатов обучения

Образцы оценочных средств, в том числе в виде:

- контрольных вопросов;
- Расскажите в чем сходство и различие в процессах диффузии, миграции, массопереноса, а также транспортных процессов.
- Расскажите об основных подходах к теоретическому описанию диффузионных процессов.
- Расскажите об экспериментальных методах исследования диффузии и миграции

радиоактивных веществ.

- Опишите механизмы диффузии в газах, жидкостях и твёрдых телах.
- домашних заданий;

1. Самостоятельно предложить задачи и провести расчёт кинетики диффузии в слоистых и дисперсионных средах.
2. Самостоятельно предложить задачи и провести моделирование проницаемости трития через палладиевую мембрану.

- тем для рефератов;

1. Диффузия радионуклидов в тепловыделяющих элементах ядерных реакторов.
2. Миграция радионуклидов из захоронений отходов предприятий ядерной индустрии.

- полного перечня вопросов к зачёту:

1. Основные законы диффузии. Диффузия, миграция и массоперенос. Способы описания диффузионных процессов. Дифференциальные уравнения диффузии. Краевые задачи диффузии.
2. Методы решения диффузионных уравнений: преобразование Фурье, интегральные преобразования, операционное исчисление, функции Грина
3. Экспериментальные методы диффузии: метод проницаемости, сорбционно-десорбционный метод, термодесорбционная спектроскопия, эманационный метод
4. Диффузия при наличии источников и стоков: диффузия в поле сил (адвекция), диффузия при термических, химических, механических и радиационных воздействиях на материал, диффузия при фазовых переходах и твёрдофазных реакциях.
5. Аномальная диффузия: суб- и супердиффузия.
6. Диффузия в гетерогенных средах: проницаемость слоистых сред, диффузия по границам зёрен и дислокациям, диффузия в среде, содержащей отдельные включения, диффузия в дисперсионных средах. Проницаемость сред перколяционного типа и бипористых сорбентах.
7. Диффузия в адсорбционно- и химическиактивных средах. Модель двойной сорбции. Диффузия в дефектных средах. Диссоциативная диффузия.
8. Диффузия с движущимися границами. Задача Стефана. Диффузия и релаксационные процессы.
9. Селективная диффузия. Металлические мембраны в извлечении трития на установках термоядерного синтеза. Ассиметричные полимерные мембраны в разделении газообразных продуктов деления урана или плутония.
10. Проницаемость движущихся мембран. Мембранный пермабсорбер, мембранный вентиль и мембранный реактор.
11. Обратные задачи диффузии. Диффузионное материаловедение и диффузионно-структурный анализ. Микротомография на радиоактивных подвижных зондах.
12. Спилловер трития.
13. Методы обработки и интерпретации результатов диффузионных экспериментов.
14. Миграция радиоактивных веществ в природных средах, в том числе – во фрактальных средах. Учёт адвекции, размерного спектра коллоидных частиц и аэрозолей, эффектов отдачи, сложных процессов накопления и отдачи в рядах генетически связанных радионуклидов.
15. Диффузия, суб-диффузия и супердиффузия (полеты Леви) в природных средах.
16. Состояние и миграция природных радионуклидов. Ореолы рассеяния вокруг месторождений урана и тория, геотермальных источников. Радон и продукты его распада.
17. Техногенные радионуклиды. Распространение радиоактивных веществ вокруг действующих предприятий
18. Крупнейшие аварии на предприятиях ядерного топливного цикла. Источники радионуклидов, распространение радиоактивных веществ в окружающей среде в ходе аварии и после неё, трансформация химического состояния радионуклида в ходе миграции.

19. Захоронений радиоактивных отходов. Расчёт многокомпонентных защитных барьеров. Открытые и закрытые источники радионуклидов. Эволюция в пространстве и времени ореолов рассеяния радиоактивных веществ вокруг захоронения радионуклидов и мест хранения отработанных ТВЭЛов.
20. Транспор радионуклидов в системе почва-растение, по живому организму и по пищевым цепочкам.
21. Воздействие мигрирующих радиоактивных веществ на замкнутую экосистему и на систему жертва-хищник. Автоволновые колебания в экосистеме и влияние на них транспорта радиоактивных веществ.
22. Транспорт радионуклидов (например, входящих в состав радиофармпрепарата) по организму человека.
23. Миграция радионуклидов, как компонент управления радиационным и радионуклидным рисками.

Методические материалы для проведения процедур оценивания результатов обучения

ШКАЛА И КРИТЕРИИ ОЦЕНИВАНИЯ РЕЗУЛЬТАТА ОБУЧЕНИЯ по дисциплине (модулю)				
Оценка Результат	Незачёт (2)	Зачёт (3)	Зачёт (4)	Зачёт (5)
Знания	Отсутствие базовых знаний о современных концепциях и направлениях развития радиохимии	Общие, но неглубокие знания о современных концепциях и направлениях развития радиохимии	Общие, но не структурированные знания о современных концепциях и направлениях развития радиохимии	Сформированные систематические знания о современных концепциях и направлениях развития радиохимии
Умения	Отсутствие умения применять знания о современном состоянии радиохимии для решения научных задач	В целом успешное, но не систематическое умение применять знания о современном состоянии радиохимии для решения научных задач	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы умение применять знания о современном состоянии радиохимии для решения научных задач (допускает неточности непринципиального характера)	Успешное и систематическое умение применять знания о современном состоянии радиохимии для решения научных задач
Навыки (владения)	Отсутствие навыков решения задач современной радиохимии	Наличие навыков решения задач современной радиохимии	В целом, сформированные навыки решения задач современной радиохимии, но не в активной форме	Сформированные навыки решения задач современной радиохимии, применяемые при решении практических задач

Зачет *(или экзамен)* проходит по билетам, каждый из которых включает три теоретических вопроса. Уровень знаний аспиранта *оценивается* по каждому вопросу на «отлично», «хорошо», «удовлетворительно», «неудовлетворительно».

В случае, если на все вопросы был дан ответ, оцененный не ниже, чем «удовлетворительно», аспирант получает общую оценку «зачтено» *(или средний балл в случае экзамена)* и допускается к итоговой аттестации.