

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)
СОВРЕМЕННАЯ РАДИОХИМИЯ**

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.2 Проводит стандартные операции с мечеными соединениями (введение метки, выделение целевого продукта, характеристика)	Уметь: выбирать оптимальные условия выделения радионуклидов из облученных мишеней и других объектов, предлагать схемы синтеза меченых соединений, грамотно формулировать условия применения радионуклидов и меченых соединений для решения радиохимических задач. Владеть: подходами современной радиохимии для анализа свойств радиоактивных материалов.
СПК-2.М: Способен выбирать методы регистрации ионизирующих излучений и правильно использовать современные спектрометрические и радиометрические приборы для проведения радионуклидной диагностики веществ и физико-химических процессов	СПК-2.М.3 Корректно обрабатывает и грамотно интерпретирует результаты измерения радиоактивности	Знать: законы радиоактивных превращений, закономерности протекания ядерных реакций, свойства радиоактивных веществ и материалов. Уметь: интерпретировать результаты измерения радиоактивности

3. Объем дисциплины (модуля) составляет 4 зачетные единицы, всего 144 часа, из которых 80 часов составляет контактная работа студента с преподавателем (38 часа - лекции, 38 часов – семинары, 4 часа на проведение промежуточной аттестации), 64 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 др.	Всего	Выполнение домашних заданий	Подготовка к контрольным работам	Всего
Раздел 1. Радиоактивность. Законы радиоактивного распада.	24	8	8			(*)	16	8		8
Раздел 2. Ядерные реакции. Получение радионуклидов с помощью ядерных реакций	28	10	10			(*)	20	8		8
Раздел 3. Особенности поведения радионуклидов.	14	3	3			(*)	6	6		6

Раздел 4. Меченые соединения.	20	6	6			(*)	12	6		6
Раздел 5. Применение радионуклидов и меченых соединений.	26	11	11			(*)	22	4		4
Промежуточная аттестация - экзамен	36					4	4			32
Итого	144	38	38			4	80	32		64

* Текущий контроль проводится в рамках семинарских занятий

Содержание разделов дисциплины

Раздел 1. Радиоактивность. Законы радиоактивного распада.

1. Стабильность атомных ядер. Радиоактивный распад.
2. Типы радиоактивного распада.
3. Основной закон радиоактивного распада. Постоянная распада. Способы определения периода полураспада.
4. Цепочки радиоактивных превращений. Радиоактивные равновесия.
5. Контрольная работа в рамках семинарского занятия.

Раздел 2. Ядерные реакции. Получение радионуклидов с помощью ядерных реакций.

1. Ядерные реакции. Эффективное сечение. Расчет выходов ядерных реакций.
2. Получение радионуклидов с помощью ядерных реакций под действием заряженных частиц.
3. Получение радионуклидов с помощью ядерных реакций под действием нейтронов и гамма-квантов большой энергии.
4. Контрольные работы в рамках семинарских занятий.

Раздел 3. Особенности поведения радионуклидов.

1. Физические и химические последствия воздействия ионизирующего излучения.
2. Особенности поведения радионуклидов в ультраразбавленных растворах.
3. Изотопные эффекты.
4. Химия горячих атомов.
5. Контрольная работа в рамках семинарского занятия.

Раздел 4. Меченые соединения.

1. Методы выделения радионуклидов.

2. Изотопный обмен.
3. Химические методы синтеза меченых соединений. Особенности синтеза соединений, меченных радионуклидами
4. Радиохимические методы синтеза меченых соединений.
5. Контрольные работы в рамках семинарских занятий.

Раздел 5. Применение радионуклидов и меченых соединений.

1. Радионуклиды как изотопные метки. Метод радиоактивных индикаторов.
2. Активационные методы анализа
3. Применение радионуклидов в химии.
4. Применение радионуклидов в медицине.
5. Радиохимические аспекты ядерного топливного цикла.
6. Контрольные работы в рамках семинарских занятий.

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: *Радиоактивность. Законы радиоактивного распада. Подготовка к контрольной работе по данной теме.*
- Работа с лекционным материалом и рекомендуемой литературе по теме: *Ядерные реакции. Получение радионуклидов с помощью ядерных реакций. Подготовка к двум контрольным работам по данной теме.*
 - Работа с лекционным материалом и рекомендуемой литературе по теме: *Особенности поведения радионуклидов. Подготовка к контрольной работе по данной теме.*
 - Работа с лекционным материалом и рекомендуемой литературе по теме: *Меченые соединения. Подготовка к контрольной работе по данной теме.*
 - Работа с лекционным материалом и рекомендуемой литературе по теме: *Применение радионуклидов и меченых соединений. Подготовка к трем контрольным работам по данной теме.*
- Подготовка к экзамену.

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. Алиев Р.А., Калмыков С.Н. // Радиоактивность, С.-Петербург, изд-во Лань, 2013, 304 с.
3. И.Хала, Дж. Навратил. Радиоактивность, ионизирующее излучение и ядерная энергетика. Пер. с англ./под ред. Б.Ф. Мясоедова, С.Н. Калмыкова. М.: ЛКИ, 2013. 432 с.
4. Бекман И.Н. Радиохимия в 2-х т. Т.1 Фундаментальная радиохимия М.: Юрайт, 2014, 473 с.
5. Бекман И.Н. Радиохимия в 2-х т. Т.2 Прикладная радиохимия и радиационная безопасность М.: Юрайт, 2014, 386 с.

Дополнительная литература

1. J. Kónya, N.M. Nagy. Nuclear and Radiochemistry. First edition. Elsevier. 2012. 418 p.
2. G. Choppin, J. Rydberg, J.-O. Liljenzin. Radiochemistry and Nuclear Chemistry. Third Edition, Butterworth-Heinemann, 2002, 709 p.
3. J.-V. Kratz, K. H. Lieser. Nuclear and Radiochemistry. Fundamentals and Applications. Third, Revised Edition, Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, 2013, 913 p.

Периодическая литература

1. Радиохимия
2. Radiochimica Acta,
3. Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry.
4. Russian Journal of Inorganic Chemistry
5. Journal of Labeled Compounds and Radiopharmaceuticals,
6. Journal of Environmental Radioactivity
7. Mendeleev Communications
8. Успехи химии
9. Вестн. Моск. у-та. Сер. 2. Химия.

10. ДАН
11. Nature
12. Science

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: профессор, д.х.н. Калмыков С.Н., доцент, к.х.н. Бадун Г.А., доцент, к.х.н. Чернышева М.Г. доцент Петров В.Г. профессор М.И. Афанасов

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. Материалы к текущей (контрольные работы), промежуточной аттестации (вопросы к экзамену).

Текущий контроль успеваемости проводится еженедельно. Критерии формирования оценки – посещаемость занятий, активность работы студентов на лекциях и семинарах, уровень подготовки к семинарам, результаты контрольных работ, которые проводятся 5 раз за семестр.

1. Образец контрольной работы №1 по теме: Радиоактивность. Законы радиоактивного распада.

Задание 1. Определите энергию моноэнергетических нейтрино; максимальную энергию позитронов и энергию образующихся фотонов при радиоактивном распаде ^{18}F . Постройте схему распада. Справочные данные о массе покоя атомов и электрона предоставляются.

Задание 2. Радиоактивный препарат ^{247}Cm , очищенный от продуктов распада, имеет радиоактивность 173 МБк. Определите массу препарата. Рассчитайте радиоактивность ^{243}Pu через 5 часов, 10 часов, $1,56 \cdot 10^7$ лет. Справочные данные о периодах полураспада радионуклидов предоставляются.

Задание 3. Опишите основные способы определения периода полураспада радионуклидов. Рассчитайте постоянную распада ^{232}Th и его период полураспада, если 1 г диоксида тория, очищенного от продуктов распада, имеет радиоактивность 3600 Бк.

2. Образец контрольной работы №2 по теме: Ядерные реакции. Получение радионуклидов с помощью ядерных реакций.

Задание 1. Определите энергетический эффект реакции и энергию отдачи ядра ^{198}Au при его получении в ядерной реакции $^{197}\text{Au}(n,\gamma)^{198}\text{Au}$. Справочные данные по массе покоя атомов ^{197}Au , ^{198}Au и нейтрона предоставляются

Задание 2. Рассчитайте минимально необходимое время облучения препарата, содержащего в своем составе 49 мг золота потоком нейтронов плотностью $10^{10} \text{ см}^{-2}\cdot\text{с}^{-1}$ для получения образца с удельной активностью ^{198}Au 1,51 ГБк/г. Справочные данные о сечении ядерной реакции и периоде полураспада ^{198}Au предоставляются.

Задание 3. Приведите 2 примера получения на ускорителях протонов радионуклидов, которые применяются в ядерной медицине. Напишите ядерные реакции, предложите химический состав облучаемой мишени.

3. Образец контрольной работы №3 по теме: Особенности поведения радионуклидов.

Задание 1. Что такое радиационно-химический выход? Определите радиационно-химический выход образования Fe^{3+} в растворе Fe^{2+} концентрации 1 ммоль/л, если концентрация Fe^{3+} изменилась с 0,08 до 3,3 мкмоль/л при облучении этого раствора «кобальтовой пушкой» (гамма-излучением ^{60}Co) дозой 2 Гр.

Задание 2. Определите, какая энергия будет расходоваться на возбуждение молекулы HI в результате ядерной реакции (n,γ) , если тепловой эффект этой реакции 6 МэВ.

Задание 3. Что такое термодинамический изотопный эффект? Напишите схему реакции изотопного обмена, используемой для обогащения дейтерия.

4. Образец контрольной работы №4 по теме: Меченые соединения.

Задание 1. При длительном перемешивании 1 л водного раствора Na^{131}I (без носителя) и 100 мл 0,02 М раствора бутилиодида в октане удельная радиоактивность водной фазы уменьшилась с 4 до 1 МБк/л. Найдите степень обмена (распадом ^{131}I пренебречь).

Задание 2. Что такое радионуклидная чистота? Препарат ^{90}Y (период полураспада 64 часа), выделенный с помощью изотопного генератора, содержит 0,1% по активности ^{90}Sr . Какая радионуклидная чистота препарата ^{90}Y была сразу после выделения и через 16 суток?

Задание 3. Приведите примеры ядерно-химических методов синтеза меченых соединений. Какие преимущества и недостатки у этих методов по сравнению с химическим синтезом?

5. Образец контрольной работы №5 по теме: Применение радионуклидов и меченых соединений.

Задание 1. Рассчитайте массу ($1\text{-}^{14}\text{C}$)пропионата натрия в пробе, если при измерении с помощью жидкостного сцинтилляционного спектрометра скорость счета флакона с пробой составила 67 имп/мин, фон 22 имп/мин. Период полураспада ^{14}C 5700 лет, эффективность регистрации 90 %.

Задание 2. При определении содержания мышьяка с помощью нейтронного активационного анализа было найдено, что радиоактивность образующегося ^{76}As оказалась одинаковой в двух образцах. Во сколько раз в первом образце больше мышьяка, если он облучался в течение периода полураспада ^{76}As , а второй в 3 раза дольше.

Задание 3. Назовите радионуклиды иода и области их применения. Какой изотоп иода наиболее опасен в случае радиационного выброса при аварии на АЭС. Ответ обоснуйте.

Промежуточный контроль успеваемости (вопросы к экзамену)

Для аттестации по итогам освоения дисциплины «Современная радиохимия» предусмотрен экзамен. Для курса разработана балльно-рейтинговая система, оценка за экзамен проставляется с учетом успеваемости обучающегося при работе в семестре. Экзамен проводится устно и включает в себя ответы на вопросы из перечня:

Энергия связи нуклонов в ядре. Причины нестабильности атомных ядер. Нуклидная карта. Сверхтяжелые элементы. Радиоактивность. Схемы распада. Типы радиоактивных превращений. Закон радиоактивного распада. Способы определения периода полураспада. Единицы измерения радиоактивности. Пределы обнаружения радионуклидов с разными значениями периодов полураспада. Альфа-распад. Распределение энергии между альфа-частицей и ядром. Причины бета-распада. Типы бета-распада. Электронный захват. Вторичные процессы в атоме, происходящие при электронном захвате. Испускание гамма-квантов при радиоактивном распаде. Изомерные переходы. Энергетические спектры гамма-излучения. Основной закон радиоактивного распада. Период полураспада. Способы определения периода полураспада. Единицы измерения радиоактивности. Цепочки радиоактивных превращений. Радиоактивные равновесия. Изотопные генераторы.

Ядерные реакции. Энергетический эффект и энергетический порог ядерных реакций. Эффективное сечение. Расчет выходов ядерных реакций. Использование ядерных реакций с заряженными частицами для получения радионуклидов. Способы получения нейтронов. Использование ядерных реакций с нейтронами для получения радионуклидов.

Физические и химические последствия воздействия ионизирующего излучения. Радиолиз воды. Действие ионизирующих излучений на живые организмы. Негативные эффекты облучения. Взаимосвязь доза-эффект. Количественные характеристики воздействия излучений (дозы облучения). Вклад естественных и техногенных источников излучения в коллективную дозу для населения. Изотопные эффекты. Их использование в научных исследованиях и для обогащения урана. Особенности поведения радионуклидов в ультраразбавленных растворах. Эффекты, обусловленные радиационной отдачей. Химия горячих атомов. Реакции Сцилларда-Чалмерса.

Общая характеристика методов получения радионуклидов. Радионуклидная и радиохимическая чистота. Методы выделения радионуклидов (экстракция, хроматография, осаждение и соосаждение). Типы изотопно-меченных соединений. Основные пра-

вила написания названий и химических формул. Особенности синтеза соединений, меченных радионуклидами. Общая характеристика методов синтеза меченых органических соединений (химический синтез, биосинтез, специфические радиохимические методы, физико-химические методы). Изотопный обмен. Причины протекания изотопного обмена. Равнораспределение изотопов. Степень обмена. Кинетика гомогенного изотопного обмена. Период полуобмена. Механизмы реакций изотопного обмена. Использование изотопного обмена для синтеза меченых соединений.

Радионуклиды как изотопные метки. Принципы применения и возможные ограничения. Метод радиоактивных индикаторов. Применение радионуклидов в химии. Метод изотопного разбавления. Методы анализа, основанные на использовании стехиометрических реакций (анализ, основанный на использовании избытка осадителя; радиометрическое титрование). Нейтронный активационный анализ. Определение растворимости малорастворимых веществ. Определение плотности насыщенных паров. Определение коэффициентов диффузии и самодиффузии в твердых телах и в жидкостях. Определение удельной поверхности. Радионуклиды биогенных элементов, их применение в биохимии и медицине. Получение короткоживущих позитрон-испускающих радионуклидов и их применение в медицине. Радиохимические синтезы в ПЭТ-лаборатории. Получение радионуклидов для однофотонной эмиссионной томографии. Изотопные генераторы для этих целей. Радионуклиды, применяемые в медицине для терапии. Спонтанное и нейтронно-индуцированное деление ядер. Радионуклиды для ядерной энергетики. Типы ядерных реакторов. Ядерный топливный цикл. Регенерация ядерного топлива, радиоактивные отходы. Экологические проблемы ядерного топливного цикла. Радиационные аварии. Сопоставление радиационных рисков от различных источников техногенных радиоактивных загрязнений и ионизирующих излучений.

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 \ Результат	2	3	4	5
Знания	Отсутствие знаний	Фрагментарные знания	Общие, но не структурированные знания	Сформированные систематические знания
Умения	Отсутствие умений	В целом успешное, но не систематическое умение	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы умение (допускает неточности не принципиального характера)	Успешное и систематическое умение
Навыки (вла-	Отсутствие	Наличие отдельных на-	В целом, сформированные навы-	Сформированные навыки, при-

дения)	навыков	выков	ки, но не в активной форме	меняемые при решении задач
--------	---------	-------	----------------------------	----------------------------

РЕЗУЛЬТАТ ОБУЧЕНИЯ по дисциплине (модулю)	ФОРМА ОЦЕНИВАНИЯ
Знать: законы радиоактивных превращений, закономерности протекания ядерных реакций, свойства радиоактивных веществ и материалов.	мероприятия текущего контроля успеваемости, устный опрос на экзамене
Уметь: выбирать оптимальные условия выделения радионуклидов из облученных мишеней и других объектов, предлагать схемы синтеза меченых соединений, грамотно формулировать условия применения радионуклидов и меченых соединений для решения радиохимических задач. Уметь: интерпретировать результаты измерения радиоактивности	мероприятия текущего контроля успеваемости, устный опрос на экзамене
Владеть: подходами современной радиохимии для анализа свойств радиоактивных материалов.	мероприятия текущего контроля успеваемости, устный опрос на экзамене