

БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

УТВЕРЖДАЮ

Ректор Белорусского
государственного университета



_____ А.Д.Король

27 июня 2025 г.

Регистрационный № 3168/н.

ХИМИЯ ЕСТЕСТВЕННЫХ РАДИОАКТИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Учебная программа учреждения образования по учебной дисциплине для
специальности:

7-07-0531-02 Химия высоких энергий

2025 г.

Учебная программа составлена на основе ОСВО 7-07-0531-02-2023 и учебного плана: № 7-5.5-69/01 от 15.05.2023.

СОСТАВИТЕЛЬ:

Д.И.Мычко, доцент кафедры неорганической химии химического факультета Белорусского государственного университета, кандидат химических наук, доцент

РЕЦЕНЗЕНТЫ:

А.И. Кулак, директор Института общей и неорганической химии Национальной академии наук Беларуси, академик НАН Беларуси, доктор химических наук, профессор

РЕКОМЕНДОВАНА К УТВЕРЖДЕНИЮ:

Кафедрой неорганической химии БГУ
(протокол № 10 от 06.06.2025)

Научно-методическим советом БГУ
(протокол № 11 от 26.06.2025)

Заведующий кафедрой

Д.В.Свиридов

Г. В. Коваленко-Радчикова
Корень

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

Цели и задачи учебной дисциплины

Цель учебной дисциплины – сформировать у будущих специалистов в области радиационной и радиохимии опыта использования знаний о свойствах естественных радиоэлементов для прогнозирования поведения соединений этих элементов в природных и техногенных процессах.

Задачи учебной дисциплины:

1. Систематизация знаний о химических свойства и применении радиоэлементов;
2. Развитие навыков использования методологии радиохимии для идентификации радионуклидов, изучения их состояния в растворах, разделения и выделения из руд, изучения и прогнозирования состава, строения и свойств соединений;
3. Формирование опыта безопасной работы с радиоэлементами.

Место учебной дисциплины в системе подготовки специалиста с высшим образованием.

Учебная дисциплина «Химия естественных радиоактивных элементов» относится к модулю «Введение в специальность» компонента учреждения образования.

Связи с другими учебными дисциплинами, включая учебные дисциплины компонента учреждения высшего образования, дисциплины специализации и др.

Дисциплина «Химия естественных радиоактивных элементов» опирается на следующие дисциплины – «Ядерная физика»; «Неорганическая химия»; «Аналитическая химия».

Дисциплина «Химия естественных радиоактивных элементов» представляет собой теоретическую основу для изучения последующих курсов химического профиля – «Радиохимия», «Введение в ядерную химию», «Радиометрия», «Ядерный топливный цикл и обращение с радиоактивными отходами», «Химия актиноидов».

Требования к компетенциям

Освоение учебной дисциплины «Химия естественных радиоактивных элементов» должно обеспечить формирование следующих компетенций:

Специализированные компетенции:

Понимать суть ядерных превращений и последствия этих процессов, включая природные радиоактивные процессы, законы и энергетику ядерного распада, механизм ядерных реакций, процессы, протекающие в ядерном реакторе, для дальнейшего более глубокого изучения общих и специализированных курсов

В результате освоения учебной дисциплины студент должен:

знать:

- физические и химические свойства радиоэлементов;
- формы существования радиоэлемента в природе,
- основные минералы, образуемые радиоэлементом, и способы их извлечения;

- биологические функции радиоэлементов и правила работы с их соединениями;

- области использования радиоэлементов;

уметь:

- записывать уравнения химических реакций, характеризующие свойства радиоэлементов;

- проводить расчет распространенности радиоэлемента по данным химического анализа;

- определять активность радиоэлемента по его количеству и периоду полураспада;

- определять количество распавшихся (не распавшихся) ядер радиоэлемента за определённый промежуток времени, или исходных ядер по количеству существующих;

- определять энергию, выделяющуюся при распаде ядер радиоэлементов;

- период полураспада ядер радиоэлементов по вековому равновесию;

иметь навыки:

- использовать понятийный аппарат радиохимии;

- проведения расчётов концентрации радиоэлементов в природных системах и её изменения со временем распада радиоэлементов;

- анализа, формулировки и решения конкретных радиохимических задач;

- анализа данных распространённости и форм нахождения радиоэлементов.

Структура учебной дисциплины

Дисциплина изучается в 5 семестре. В соответствии с учебным планом всего на изучение учебной дисциплины «Химия естественных радиоактивных элементов» отведено для **очной формы** получения высшего образования – 90 часов, в том числе 36 аудиторных часов: лекции – 26 часов, семинарские занятия – 10 часов. **Из них:**

Лекции – 20 часов + 6 часов ДОТ, семинарские занятия – 6 часов, управляемая самостоятельная работа (УСР) – 4 часа.

Трудоёмкость учебной дисциплины составляет 3 зачётные единицы.

Форма промежуточной аттестации – зачёт.

СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОГО МАТЕРИАЛА

Раздел 1. Введение

Тема 1.1. Предмет, цели и задачи курса.

Основные принципы работы с радионуклидами.

Раздел 2. Методология работы с естественными радиоэлементами

Тема 2.1. Радионуклиды и радиоактивные элементы в природе

Естественные (первичные, космогенные) и техногенные радионуклиды. Радиоактивные семейства (ряды). Вековое равновесие. Изотопно-чистые элементы. Формы нахождения радиоэлементов в природе. Геохимия радиоэлементов.

Тема 2.2. Радиоактивные превращения и их характеристика

Строение и устойчивость атомных ядер. Фундаментальные физические взаимодействия. Дефект массы и энергия связи ядра. Радиоактивные превращения и их характеристика. Основные виды радиоактивных превращений атомных ядер. Основные величины, характеризующие радиоактивность атомных ядер. Использование радионуклидов в геохронологии. Теория звездного нуклеосинтеза. Синтез химических элементов и их идентификация.

Тема 2.3. Методы идентификации и изучения состояния радионуклидов

Методы исследования свойств радиоэлементов. Радиометрические приборы. Химические методы дозиметрии. Масс-спектральный анализ.

Тема 2.4. Состояние радионуклидов в твердой, жидкой и газовой фазах.

Формы, образуемые радиоэлементами в растворах. Состояние радиоактивных изотопов в твердых телах. Состояние радиоактивных изотопов в газовой фазе. Методы исследования состояния радионуклидов в растворах: метод адсорбции, метод десорбции, метод центрифугирования, метод ультрафильтрации, метод диализа, метод электрофореза и электромиграции, электрохимические методы, метод радиографии, спектрофотометрический метод, метод диффузии, эманирование, выщелачивание и сублимация.

Тема 2.5. Методы разделения и выделения радионуклидов

Проблема и методы разделения и выделения радионуклидов. Методы разделения радионуклидов: физико-химические, молекулярно-кинетические, электромагнитный, газодиффузионный, газового центрифугирования, химического обогащения, ректификации, электролиза, изотопного обмена, лазерный. Методы выделения радионуклидов: соосаждение, сокристаллизация, дробная кристаллизация, хроматография, экстракция, электрохимические методы.

Раздел 3. Химия радиоэлементов

Тема 3.1. Химия висмута

Природные изотопы висмута. Основные формы нахождения и распространённость висмута в природе. Способы определения и выделения висмута. Физические и химические свойства простого вещества и соединений висмута. Биологическая активность висмута, его токсическое действие, гигиенические нормы и техника работы с соединениями висмута. Применение висмута.

Тема 3.2. Химия полония

Изотопы полония. Физические и химические свойства полония и его соединений: металлический полоний, оксиды, галогениды, гидрид, сульфиды и т.д. Комплексные соединения полония. Получение полония, его применение.

Тема 3.3. Химия астата.

Изотопы астата и их получение. Физические и химические свойства астата. Применение астата.

Тема 3.4. Химия радона

Изотопы радона. Физические и химические свойства радона. Получение и применение радона.

Тема 3.5. Химия франция

Физические и химические свойства франция и его соединений.

Тема 3.6. Химия радия

Изотопы радия. Физические и химические свойства радия и его соединений. Выделение радия из урановых и ториевых руд. Определение изотопов радия по эманациям (радону, актинону, торону). Применение радия.

Тема 3.7. Химия актиноидов

Распространённость и нахождение актиноидов в природе. Физические и химические свойства простых веществ. Соединения актиноидов и их химические свойства. Производство и применение актиноидов и их соединений.

Тема 3.8. Химия актиния

Изотопы актиния. Физические и химические свойства актиния и его соединений: оксиды, галогениды, и др. Выделение изотопов актиния из урановых и ториевых руд. Получение актиния из радия. Применение актиния.

Тема 3.9. Химия протактиния

Изотопы протактиния. Физические и химические свойства протактиния и его соединений: оксиды, галогениды, гидрид, нитрид и т.д. Комплексные соединения. Способы выделения из урановых руд. Применение протактиния.

Тема 3.10. Химия тория

Руды тория. Изотопы тория. Физические и химические свойства тория и его соединений: металлический торий, оксиды, галогениды, сульфиды и т.д. Соли тория в растворе. Комплексные соединения тория. Выделение тория из руд.

Тема 3.11. Химия урана

Руды и изотопы урана. Способы разделения изотопов урана. Физические и химические свойства урана и его соединений: металлический уран, оксиды, галогениды, фосфиды, гидриды, карбиды, нитриды, силициды, соли уранила,

уранаты и полиуранаты. Уран в растворе: степени окисления, комплексные соединения урана в разных степенях окисления. Перекисные соединения. Способы выделения урана из руд. Применение урана. Схемы выделения всех элементов из урановых и ториевых руд. Урановый топливный цикл. Утилизация ядерных отходов.

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКАЯ КАРТА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Очная (дневная) форма получения высшего образования с применением дистанционных образовательных технологий
(ДОТ)

Номер раздела, темы	Название раздела, темы	Количество аудиторных часов					Количество часов УСР	Форма контроля знаний
		Лекции	Практические занятия	Семинарские занятия	Лабораторные занятия	Иное		
	2	3	4	5	6	7	8	9
1	Введение.							
1.1	Предмет, цели и задачи курса.	2						Эвристическая беседа
2	Методология работы с естественными радиоэлементами							
2.1.	Радионуклиды и радиоактивные элементы в природе	2		2				Аудиторная контрольная работа №1
2.2.	Радиоактивные превращения и их характеристика	2					2	
2.3.	Методы идентификации и изучения состояния радионуклидов	2		2				Аудиторная контрольная работа №2
2.4.	Состояние радионуклидов в твёрдой, жидкой и газовой фазах	2						
2.5.	Методы разделения и выделения радионуклидов	2						

3	Химия радиоэлементов							
3.1.	Химия висмута	1 (ДОТ)		1				Аудиторная контрольная работа № 3
3.2	Химия полония	1 (ДОТ)						
3.3	Химия астата	1						
3.4.	Химия радона	1						
3.5.	Химия франция	1						
3.6.	Химия радия	1		1				Аудиторная контрольная работа № 4
3.7.	Химия актиноидов	2 (ДОТ)						
3.8.	Химия актиния	1 (ДОТ)						
3.9.	Химия протактиния	1 (ДОТ)						
3.10	Химия тория	2						
3.11	Химия урана	2					2	Письменный отчёт по эвристическому заданию
	ИТОГО	26		6			4	

ИНФОРМАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Основная литература

1. Бекман, И. Н. Неорганическая химия. Радиоактивные элементы: учебник для вузов/ И.Н. Бекман – 2-е изд., испр. и доп. – М.: Издательство Юрайт. 2020. – 399 с.
2. Бекман, И. Н. Радиохимия : учебник и практикум для вузов: [в 2 т.] / И. Н. Бекман. – Москва : Издательство Юрайт, 2020. – Т. 1: Фундаментальная радиохимия. – 2020. – 473 с.
3. Бекман, И. Н. Радиохимия: учебник и практикум для вузов: [в 2 т.] / И.Н. Бекман. – Москва : Издательство Юрайт, 2020.– Т. 2 : Прикладная радиохимия и радиационная безопасность. –2020. – 386 с.

Дополнительная литература

1. Мычко, Д. И. Физико-химические основы геохимии: пособие / Д. И. Мычко. – Минск : БГУ, 2015. – 303 с. : ил. – (Классическое университетское издание).
2. Гергалов, В. И. Радиохимия: учеб.-метод. пособие. В 2 ч. Ч. 1. Радиоактивность и защита от ионизирующих излучений / В. И. Гергалов. – Минск :БГУ, 2015. – 119 с.
3. Князев, Д. А. Неорганическая химия : учебник для академ. бакалавриата, для студ. вузов, обуч. по естественнонауч. напр. : в 2 ч. / Д. А. Князев, С. Н. Смарыгин ; Росс. гос. аграрный ун-т – МСХА им. К. А. Тимирязева. - 5-е изд., перераб. и доп. - Москва: Юрайт, 2019. - Ч. 2 : Химия элементов. - 2019. - 361 с.
4. Неорганическая химия: В 3 т./ Под ред. Ю.Д. Третьякова. Т.3: Химия переходных элементов. Кн. 2: Учебник для студ. высш. учеб. заведений/ [А.А. Дроздов, В.П. Зломанов, Г.Н. Мазо, Ф.М. Спиридонов]. М.: Издательский центр «Академия», 2007. – 400 с.
5. Лидин, Ростислав Александрович. Химические свойства неорганических веществ : учеб. пособие для студентов вузов, обучающихся по направлению 04.03.01 "Химия" и специальности "Неорганическая химия" / Р. А. Лидин, В. А. Молочко, Л. Л. Андреева ; под ред. Р. А. Лидина. - 6-е изд. - Москва : ИНФРА-М, 2019. - 479 с.
6. Гринвуд, Норман. Химия элементов : в 2 т. : [пер. с англ.] / Н. Гринвуд, А. Эрншо. - 3-е изд. - Москва : БИНОМ. Лаборатория знаний, 2015. - Т. 2 - 670 с.
7. Недобух, Т. А. Основы радиохимии и дозиметрии : учеб.-метод. пособие / Т. А. Недобух, А. В. Воронина, А. С. Кутергин. — Екатеринбург : Изд-во Урал. ун-та, 2015. — 136 с.
8. Вдовенко, В. М. Современная радиохимия/ В. М. Вдовенко. - М.: Атомиздат, 1969. - 543 с.

9. Сборник задач по радиохимии: Учеб. пособие для хим. специальностей вузов/ Р.В. Аменицкая, В.М. Глазов, И.А. Коршунов [и др.]; Под ред. И.А. Коршунова.— М.: «Высшая школа», 1969. — 150 с.
10. Мясоедов, Б. Ф. Аналитическая химия трансплутониевых элементов/ Б. Ф. Мясоедов, Л. И. Гусева, И. А. Лебедев, М. С. Милюкова, М. К. Чмутова.. — М.: Наука, 1972. — 376 с.
11. Несмеянов, А. Н. Радиохимия/ А. Н. Несмеянов.- М.: Химия, 1978.
12. Некрасов, Б. В. Основы общей химии/ Б. В. Некрасов. - М.: Химия. Т. 1,1965,1.2,1967.
13. Нефедов, В. Д. Радиохимия/ В. Д. Нефедов, Е. Н. Текстер, М. А. Торопова. - М.: Высшая школа, 1987.
14. Сиборг, Г. Химия актинидовых элементов/ Г. Сиборг, Д. Кау. М.: Атомиздат, 1960.
15. Gregory, R. Radiochemistry and Nuclear Chemistry/ Gregory R. Choppin, Jan-Olov Liljenzin, Jan Rydberg.. — 3-е изд. — Butterworth-Heinemann, 2002. — 709 с.
16. Вайгель, Ф. Химия актиноидов = The Chemistry of the Actinide Elements / Пер. с англ.; под ред. Дж. Каца, Г. Сиборга, Л. Морсса. — М.: «Мир», 1997. — Т. 2. — 664 с.
17. Радиационная безопасность: Учеб. пособие для студентов инженер.-техн. и технол. Специальностей/ П.Г. Кужир, И.А. Сатиков, Е.Е. Трофименко; Под ред. В.И. Сьражева. – Мн.: НПООО «ПИОН», 1999. – 280 с.
18. Закутинский, Д.И. Справочник по токсикологии радиоактивных изотопов/ Д.И. Закутинский, Ю.Д. Парфёнов, Л.Н. Селиванова. – М.: Государственное издательство Медицинской литературы, 1962. – 116 с.
19. Ядерная химия = Nuclear Chemistry: учеб. пособие/ Т.А. Савицкая [и др.]. – Минск: Изд. Центр БГУ, 2011. – 224 с.
20. Титаева, Н.А. Ядерная геохимия. Учебник, 2-е изд., испр. и доп. – М.: МГУ, 2000. –336 с.

Перечень рекомендуемых средств диагностики и методика формирования итоговой отметки

Для диагностики компетенций могут использоваться следующие средства текущей аттестации: эвристическая беседа; контрольная работа, письменный отчёт по эвристическому заданию.

Формой промежуточной аттестации по дисциплине «Химия естественных радиоактивных элементов» учебным планом предусмотрен **зачёт**.

Примерный перечень заданий для управляемой самостоятельной работы

Тема 2.2. Радиоактивные превращения и их характеристика (2 часа)

1. Первый международный эталон радия был изготовлен Марией Кюри в августе 1911 г. и содержал 16,74 мг чистого радия. Рассчитайте массу радия, который содержится в этом эталоне в 2021 г.? На сколько процентов

уменьшается количество радия ежегодно? Периоды полураспада радия составляет 1622 года.

2. Какое количество радона-222 находится в равновесии с 10 г радия-226 ? Периоды полураспада радона и радия соответственно равны 3,823 дня и 1622 года.

3. Рассчитать количество урана-235 (в граммах), которое требуется для непрерывной работы ядерного реактора мощностью 1000 кВт в течение одного года. При одном акте деления освобождается около 200 МэВ энергии. Тепловые потери реактора не учитывать.

4. Определите массу серы-35, которая содержится в 1 мг образца природной серы, если удельная активность образца составляет $1,58 \cdot 10^6$ распадов в секунду на 1 микрограмм образца? Период полураспада серы-35 принять равным 86,7 дня.

(Форма контроля – Аудиторная контрольная работа)

Тема 3.11. Химия урана (2 часа)

Задание: Разработать рекомендации по предотвращению и контролю возможных загрязнений окружающей среды радиоактивными веществами работающей АЭС.

В рекомендациях отразить ответы на следующие вопросы:

1. Возможные экологические риски, связанные с работой АЭС, и даёт инструктивные указания по их недопущению.

2. Возможные последствия загрязнения окружающей среды от попадания радиоактивных веществ в окружающую среду, включая аварии и захоронение радиоактивных отходов.

3. Рекомендации по организации мероприятий по контролю загрязнений окружающей среды от радиоактивных загрязнений и действиям при возможных уровнях загрязнений. Рекомендации должны быть представлены в виде инструкции.

(Форма контроля – Письменный отчёт по заданиям).

Примерный перечень семинарских занятий

1. Радиоактивные превращения и их характеристика
2. Методы идентификации и изучения состояния радионуклидов
3. Химия радиоактивных элементов.

Описание инновационных подходов и методов к преподаванию учебной дисциплины

При организации образовательного процесса используется **практико-ориентированный подход**, который предполагает:

- освоение содержание образования через решения практических задач;
- приобретение навыков эффективного выполнения разных видов профессиональной деятельности;

- ориентацию на генерирование идей, реализацию групповых студенческих проектов, развитие предпринимательской культуры;
- использованию процедур, способов оценивания, фиксирующих сформированность профессиональных компетенций.

Помимо этого, при организации образовательного процесса используются методы и приёмы развития критического мышления, которые представляют собой систему, формирующую навыки работы с информацией в процессе чтения и письма; понимании информации как отправного, а не конечного пункта критического мышления.

Методические рекомендации по организации самостоятельной работы

Для организации самостоятельной работы студентов по учебной дисциплине используются современные информационные ресурсы: на образовательном портале educhem.bsu.by размещён комплекс учебных и учебно-методических материалов (учебно-программные материалы, материалы текущего контроля и текущей аттестации, позволяющие определить соответствие учебной деятельности обучающихся требованиям образовательных стандартов высшего образования и учебно-программной документации, в т.ч. вопросы для подготовки к семинарским занятиям, экзамену, задания, тесты, вопросы для самоконтроля, список рекомендуемой литературы, информационных ресурсов):

<https://educhem.bsu.by/course/view.php?id=68>

Примерный перечень вопросов к зачету

1. В чём специфика работы по идентификации и изучению свойств радиоэлементов?
2. Сравните чувствительность различных методов идентификации радионуклидов
3. Какие задачи радиометрии?
4. Перечислите основные методы радиометрии и кратко охарактеризуйте на каких эффектах они работают
5. В чём особенность химических методов дозиметрии? Приведите уравнения химических реакций, которые лежат в их основе?
6. На чём основаны методы качественного обнаружения урана?
7. Перечислите основные методы количественного обнаружения урана. Поясните принципы, на которых они основаны
8. Перечислите основные методы отделения урана от сопутствующих элементов и его очистки
9. В каких формах радиоактивный элемент может существовать в растворе?
10. В чём основное отличие истинного раствора от коллоидного?
11. Чем истинный коллоид отличается от псевдоколлоида?
12. Предположите какое строение может иметь коллоидная частица гидроксонитрата актиния(III) в растворе, полученном смешением растворов нитрата актиния и водного раствора аммиака
13. Кратко охарактеризуйте суть методов исследования состояния радиоактивных изотопов в растворах
14. Какие фильтрующие материалы используются для отделения коллоидных форм радионуклидов?
15. Какие методы используются для выделения радионуклидов из твёрдой фазы?
16. Какие методы используются для разделения изотопов ^{235}U и ^{238}U ?
17. На чём основан метод газодиффузного разделения изотопов урана?
18. Коэффициент газодиффузного разделения $^{235}\text{U}/^{238}\text{U}$ составляет 1,003. Рассчитайте число операций разделения для получения урана-235 со степенью обогащения 5 %.
19. Коэффициент центрифужного разделения $^{235}\text{U}/^{238}\text{U}$ составляет 1,3. Рассчитайте число ступеней разделения для получения урана-235 со степенью обогащения 90 %.
20. В чём преимущества лазерного метода разделения изотопов?
21. Приведите характеристику радиоэлемента по следующему плану:
 - Природные изотопы элемента, их характеристика.
 - Основные формы нахождения элемента в природе.Распространённость в природе.
 - История открытия элемента.
 - Способы определения элемента.
 - Способы выделения элемента из руд.

- Физические свойства простого вещества.
- Химические свойства простого вещества и соединений радиоэлемента.
- Биологическая активность радиоэлемента.
- Токсическое действие.
- Гигиенические нормы и техника работы с соединениями радиоэлемента.
- Применение радиоэлемента.

ПРОТОКОЛ СОГЛАСОВАНИЯ УЧЕБНОЙ ПРОГРАММЫ УО

Название учебной дисциплины, с которой требуется согласование	Название кафедры	Предложения об изменениях в содержании учебной программы учреждения высшего образования по учебной дисциплине	Решение, принятое кафедрой, разработавшей учебную программу (с указанием даты и номера протокола)
Учебная дисциплина не требует согласования			

Заведующий кафедрой неорганической химии
член-корреспондент НАН Беларуси
доктор химических наук, профессор

_____ Д.В.Свиридов

06.06.2025

ДОПОЛНЕНИЯ И ИЗМЕНЕНИЯ К УЧЕБНОЙ ПРОГРАММЕ УО

на ____ / ____ учебный год

№ п/п	Дополнения и изменения	Основание

Учебная программа пересмотрена и одобрена на заседании кафедры
_____ (протокол № ____ от _____ 202_ г.)

Заведующий кафедрой

УТВЕРЖДАЮ
Декан факультета
