

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

УТВЕРЖДАЮ

Декан химического факультета,
Чл.-корр. РАН, профессор



/С.Н. Калмыков/

«31» августа 2021 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

Основы радиохимии и радиозэкологии

Направление подготовки (специальность):

04.05.01 Фундаментальная и прикладная химия

Направленность (профиль) ОПОП:

Аналитическая химия, Биоорганическая химия, Высокомолекулярные соединения, Коллоидная химия, Лазерная химия, Медицинская химия и тонкий органический синтез, Нанобиоматериалы и нанобиотехнологии, Неорганическая химия, Нефтехимия, Органическая химия, Радиохимия, Физическая химия, Фундаментальная и прикладная энзимология, Химия ионных и молекулярных систем, Химическая кинетика, Химия высоких энергий, Химия и технология веществ и материалов, Химия твердого тела, Электрохимия

Форма обучения:

очная

Рабочая программа рассмотрена и одобрена
Учебно-методической комиссией факультета
(протокол №7 от 07.07.2021)

Москва 2021

Рабочая программа дисциплины разработана в соответствии с самостоятельно установленным МГУ образовательным стандартом (ОС МГУ) для реализуемых основных профессиональных образовательных программ высшего образования по направлению подготовки / специальности 04.05.01 «Фундаментальная и прикладная химия» (программа специалитета), утвержденного приказом МГУ от 29 декабря 2018 года № 1770.

Год (годы) приема на обучение 2019/2020, 2020/2021, 2021/2022

1. Место дисциплины (модуля) в структуре ООП: базовая часть ООП, блок МЕН.

2. Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями выпускников)

Компетенция	Индикаторы достижения	Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю)
УК-2.С Способен в контексте профессиональной деятельности использовать знания об основных понятиях и методах естествознания	УК-2.С.1 Адекватно оценивает уровень естественнонаучной подготовки и необходимость повышения квалификации в соответствующей области знания	Знать: основные термины, понятия и законы радиохимии Уметь: использовать радиохимические методы в других областях науки Уметь: выделить и сформулировать основную составляющую профессиональной проблемы в области радиохимии
ОПК-3.С. Владеет методами регистрации и обработки результатов экспериментов, в том числе, полученных на современном научном оборудовании	ОПК-3.1.С. Проводит исследования свойств веществ и материалов с использованием серийного и оригинального научного оборудования	Владеть: техникой измерения различных типов радиоактивного излучения Иметь опыт: в измерении различных типов радиоактивного излучения, приготовлении образцов для измерения радиоактивности, дозиметрическом контроле

3. Объем дисциплины (модуля) составляет **3** зачетных единицы, всего **108** часов, из которых **78** часов составляет контактная работа студента с преподавателем (**36** часов - занятия лекционного типа, **36** часов - занятия практического типа, **2** часа – групповые консультации, **4** часа - мероприятия промежуточной аттестации), **30** часов составляет самостоятельная работа учащегося.

4. Входные требования для освоения дисциплины (модуля), предварительные условия.

Для того чтобы формирование указанных компетенций было возможно, обучающийся должен

знать: основы химии элементов, основы математического анализа

уметь: анализировать материал химического содержания

5. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам.

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 (практического) типа	Групповые консультации	Индивидуальные консультации	Учебные занятия, направленные на проведение текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации	Всего	Выполнение домашних заданий	Подготовка рефератов и т.п.	Всего
Понятие радиоактивности	18	6	12				18			
Дозиметрия ионизирующих излучений	14	6	8				14			
Изотопный обмен	14	6	8				14			
Применение радиоактивных изотопов	12	4	8				12			
Радиоактивность окружающей среды	4	4					4			

Ядерно-топливный цикл и обращение с радиоактивными отхода-	6	6					6			
--	---	---	--	--	--	--	---	--	--	--

ми										
Основы ядерной медицины	4	4					4			
Промежуточная аттестация <i>Экзамен</i>	36			2		4	6			30
Итого	108	36	36	2		4	76			30

№ ЛР	Наименование практических (лабораторных) работ	Кол-во часов
1	Измерение радиоактивности с помощью счетчиков Гейгера-Мюллера	2
2	Определение абсолютной радиоактивности методом фиксированного телесного угла	2
3	Определение содержания калия в солях и природных объектах по его радиоактивности	2
4	Идентификация радионуклидов методом гамма-спектрометрии	2
5	Определение эффективности регистрации трития и углерода-14 по спектрам, полученным с помощью жидкостного сцинтилляционного спектрометра	4
6	Дозиметрия ионизирующего излучения	4
7	Определение загрязненности поверхности радиоактивными излучателями	4
8	Радиохроматография	4
9	Определение коэффициента диффузии ионов в растворе	4
10	Изотопные генераторы	4
11	Изучение адсорбции на поверхности твердых тел методом радиоактивных индикаторов	4

6. Образовательные технологии:

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

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

Проверка усвоенного может производиться в виде собеседования на семинаре, письменной контрольной работы, в виде теста и др. При этом промежуточные проверки успеваемости не рекомендуется проводить исключительно в форме тестирования. Тесты, проверяющие, как правило, лишь поверхностный уровень усвоения материала, следует дополнять самостоятельными творческими рабо-

тами, которые могут дифференцироваться по степени сложности. Ниже приведены примеры различных типов заданий для самоконтроля.

1. Теоретические вопросы

1. Основной закон радиоактивного распада.
2. Радиоактивные равновесия.
3. Регистрация ионизирующих излучений.
4. Ядерные реакции.
5. Основные понятия дозиметрии.
6. Расчет доз от источников бета- и гамма-излучения
7. Основы нормирования радиационного воздействия на человека и объекты окружающей среды
8. Изотопный обмен
9. Применение радионуклидов в аналитической химии
10. Применение радиоактивных индикаторов в неорганической и физической химии
11. Применение радиоактивных индикаторов в органической химии, биохимии и медицине
12. Ядерная энергетика, ядерный топливный цикл
13. Естественные радионуклиды в окружающей среде
14. Техногенные радионуклиды в окружающей среде
15. Радиоактивные отходы, их переработка, хранение и захоронение
16. Миграция радионуклидов в природе

8. Ресурсное обеспечение:

- Перечень основной и вспомогательной учебной литературы ко всему курсу

Основная литература.

В.Б.Лукьянов, С.С.Бердоносков, И.О.Богатырев, К.Б.Заборенко, Б.З.Иофа. Радиоактивные индикаторы в химии. Основы метода. М.: Высшая школа, 1985, 287 с.

В.Б.Лукьянов, С.С.Бердоносков, И.О.Богатырев, К.Б.Заборенко, Б.З.Иофа. Радиоактивные индикаторы в химии. Проведение эксперимента и обработка результатов. М.: Высшая школа, 1977, 280 с.

Р.А. Алиев, С.Н. Калмыков Радиоактивность. М.: Лань. 2013, 304 с.

G. Choppin, J. Rydberg, J.-O. Liljenzin. Radiochemistry and Nuclear Chemistry. Third Edition, Butterworth-Heinemann, 2002, 709с.

Г. Чоппин, Я. Ридберг. Ядерная химия. Основы теории и применения. М.: Энергоатомиздат, 1984, 304 с.

М.И. Афанасов, А.А. Абрамов, С.С. Бердоносков. Основы радиохимии и радиоэкологии. Сборник задач. М.: типография МГУ, 2012, 116 с.

Практикум «Основы радиохимии и радиоэкологии». Под ред. М.И. Афанасова. М.: Типография МГУ. 2012.
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.
Бекман И. Н. РАДИОЭКОЛОГИЯ И ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ РАДИОХИМИЯ 2-е изд., испр. и доп. Учебник для вузов. Юрайт. 2021.

Дополнительная литература.

J.Lehto, Principles of radiochemistry. 2000, 200 с.
Ю.Б. Кудряшов. Радиационная биофизика (ионизирующие излучения). М.: Физматлит. 2004, 442 с.
В.К. Власов, В.П. Овчаренко, Н.А. Карпов. Основы радиационной безопасности. М.: Химический факультет МГУ, 2009
Ю.А. Сапожников, Р.А. Алиев, С.Н. Калмыков. Радиоактивность окружающей среды. М.: БИНОМ. Лаборатория знаний. 2006, 286 с.

Интернет-ресурсы

<http://nucleardata.nuclear.lu.se/database/nudat/>
<http://cdfc.sinp.msu.ru/exfor/index.php>
<http://www.nndc.bnl.gov/nudat2/setToolTips.jsp?toolTips=on>
Страница кафедры радиохимии на сайте химического факультета МГУ

Материально-техническое обеспечение:

304 Лабораторное помещение, оснащенное специальной химически стойкой лабораторной мебелью и посудой, рассчитанное на **25** рабочих мест; Вытяжные шкафы - 2 шт.; Спецмойка - 1 шт.; Муфельная печь - 1 шт.; Специальный бокс - 1 шт.; Дозиметр-радиометр - 1 шт

305 Лабораторное помещение, оснащенное специальной химически стойкой лабораторной мебелью и химической посудой, рассчитанное на **25** рабочих мест; Вытяжные шкафы - 2 шт.; Спецмойка - 1 шт.; Дозиметр-радиометр - 1 шт

307 Лабораторное помещение, оснащенное специальной химически стойкой лабораторной мебелью и химической посудой, рассчитанное на **25** рабочих мест; Вытяжной шкаф - 1 шт

312 Лабораторное помещение, оснащенное специальной химически стойкой лабораторной мебелью, рассчитанное на **16** рабочих мест; Счетчики Гейгера-Мюллера с пересчетными приборами ПП-16 - 8 шт.; Установка «Волна», ПСТ-100, ВСВ-2 - 1 шт

314 Лабораторное помещение, оснащенное специальной химически стойкой лабораторной мебелью, рассчитанное на **16** рабочих мест; Счетчики Гейгера-Мюллера с пересчетными приборами ПП-16 - 7 шт.; Установка «Волна», ПСТ-100, ВСВ-2 - 1 шт

315 Лабораторное помещение, оснащенное специальной химически стойкой лабораторной мебелью, рассчитанное на **25** рабочих мест, гамма-сцинтилляционная установка AtomSpectra 2 - 6 шт., с компьютерным управлением; Гамма-сцинтилляционная установка AtomSpectra 1 - 1 шт., с компьютерным управлением; Компьютеры Dell с мониторами для гамма-спектрометров - 9 шт.; Датчик

сцинтилляционный УСД-1 - 4 шт.; Радиометр УИМ-1М - 4 шт.; Радиометр с торцевым счетчиком Гейгера-Мюллера - 4 шт.; Блок вы-

прямителя БВ-2 - 3 шт.; Домики свинцовые - 17 шт.; Домик свинцовый от УСД - 2 - 1 шт.

316 Лабораторное помещение, оснащенное специальной химически стойкой лабораторной мебелью, рассчитанное на **16** рабочих мест, Альфа-бета радиометр УМФ-2000 - 4 шт.; Блок питания БВ - 2-2 - 6 шт.; Установка «Бета» - 8 шт.; Блок питания БВ - 22 - 5 шт.; Домик свинцовый - 1 шт, экран, возможность подключения ноутбука и мультимедийного оборудования. Список ПО на ноутбуках: Microsoft Windows 10, Microsoft Office 2016, Google Chrome, Mozilla Firefox, Adobe Reader DC, VLC Media Player

9. Язык преподавания – русский

10. Преподаватели: Калмыков Степан Николаевич, чл.-корр. РАН, д.х.н., проф., практические занятия ведут научно-педагогические сотрудники кафедры радиохимии

Фонды оценочных средств, необходимые для оценки результатов обучения

Образцы оценочных средств для текущего контроля усвоения материала и промежуточной аттестации - экзамен. На экзамене проверяется достижение промежуточных ЗУВ, перечисленных в п.2.

Оценочные средства для текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации

Вопросы к лабораторным работам

Раздел 1

1. Сколько альфа- и бета-частиц образуется при переходе $^{238}\text{U} \rightarrow ^{206}\text{Pb}$?
2. Вычислите максимальную энергию частиц, испускаемых при распаде свободного нейтрона. Массы покоя нейтрона и протия 1Н равны 1,008664967 и 1,007825036 а.е.м., соответственно. Энергетический эквивалент 1 а.е.м. принять равным 931501 кэВ.
3. Какая доля бета- и гамма-излучения пройдет через поглотители толщиной в 2 слоя половинного ослабления?
4. Имеется цепочка радиоактивных превращений
 $A \rightarrow B \rightarrow C(\text{стаб})$
A: $N_1, T_{1/2}(1)$; B: $N_2, T_{1/2}(2)$. $T_{1/2}(1) \gg T_{1/2}(2)$
При $t=0$ число ядер материнского нуклида $N_{1,0}$, дочернего нуклида $N_{2,0} = 0$. Чему равно число ядер N_1 и N_2 через $t = 10 T_{1/2}(2)$?
5. Толщина активного слоя источника излучения, содержащего радионуклид ^{45}Ca , составляет 21 мг/см². Активность источника равна 200 кБк. Рассчитайте скорость счета, которую зафиксирует счетчик Гейгера-Мюллера, если разрешающее время счетчика $4 \cdot 10^{-4}$ с, геометрический коэффициент 4 %, а толщина окна счетчика 5 мг/см², расстояние от окна счетчика до источника 2 см.
6. Источник излучения, содержащий радионуклид ^{32}P , измеряют с помощью счетчика Гейгера-Мюллера со стенками толщиной 60 мг/см² и разрешающим временем $3 \cdot 10^{-4}$ с. Толщина активного слоя источника 80 мг/см², геометрический коэффициент 5 %,

расстояние от источника до счетчика 2,5 см. Скорость счета (вместе с фоном) составила 800 имп/с, фон 0,6 имп/с. Определите активность радионуклида в источнике.

7. В природной смеси изотопов рубидия содержится 27,85% долгоживущего ^{87}Rb . Определить период его полураспада, если установлено, что скорость счета навески RbCl массой 120 мг равна 447 имп/мин (коэффициент регистрации $\varphi=0,1$).
8. Определите радиоактивность $2,24 \text{ см}^3$ (при н.у.) трития.

Раздел 2

9. Рассчитайте толщину защитного экрана из свинца, снижающего дозу, создаваемую в течение 6-часового рабочего дня на расстоянии 0,5 м от источника ^{124}Sb активностью 37 МБк, до уровня 180 мкЗв/день.
10. Сколько времени можно находиться на расстоянии 2 м от источника ^{60}Co радиоактивностью 440 МБк при ежедневной работе, чтобы не превысить допустимую дозу облучения для категории А и категории Б? Какова должна быть толщина свинцового экрана, если требуется постоянно работать лицам категории А с этим источником полный рабочий день на расстоянии 50 см?
11. Радиометром с блоком для измерения β -излучения (площадь детектора 150 см^2 , толщина стенок счетчиков 60 мг/см^2) при проверке чистоты поверхности стола, на котором проводилась работа с радионуклидом ^{32}P , была зарегистрирована скорость счета 1000 имп/мин (без фона). Определить, превышает ли загрязнение допустимый уровень, если геометрический коэффициент равен 0,2.
12. В воздухе на высоте уровня моря за счет космического излучения за 1 ч в среднем образуется 7560 пар ионов в 1 см^3 . Определите поглощенную дозу в воздухе за год, если на образование одной пары ионов затрачивается энергия 33,9 эВ.

Раздел 3

13. Используя изотопный обмен необходимо получить 8 мл меченого иодом-131 $\text{C}_2\text{H}_5\text{I}$ с удельной активностью 1 МБк/мл. Какой минимальный объем исходного водного раствора Na^{131}I (концентрация 0,1 М, удельная активность 1 МБк/мл) необходимо взять для этой цели? Плотность иодистого этила равна $1,94 \text{ г/см}^3$.
14. Рассчитайте минимально необходимое время облучения навески As_2O_3 массой 0,1 г потоком нейтронов (плотность $10^{12} \text{ см}^{-2}\cdot\text{с}^{-1}$) для получения препарата $^{76}\text{As}_2\text{O}_3$ с удельной активностью 400 МБк/г. Единственный стабильный нуклид - ^{75}As , эффективное сечение (n,γ)-реакции равно $4,3\cdot 10^{-24} \text{ см}^2$, период полураспада ^{76}As - 26,3 ч.
15. В делительной воронке перемешивают 25 мл 0,01 моль/л раствора 1,3-дибромпропана в бензоле и 25 мл 0,02 моль/л раствора Na^{82}Br в воде с объемной активностью 500 Бк/мл. Через 1 ч объемная радиоактивность органической фазы достигла значения 75 Бк/мл. Определите степень изотопного обмена. Распадом ^{82}Br за время проведения эксперимента пренебречь.
16. Определить, какая активность ^{95}Zr ($\lambda=1,25\cdot 10^{-7} \text{ с}^{-1}$) может быть адсорбирована силикагелем с удельной поверхностью $80 \text{ м}^2/\text{г}$, если мономолекулярный слой адсорбированных ионов занимает 40% поверхности, а площадь иона, содержащего один атом циркония на поверхности адсорбента, равна приблизительно $5\cdot 10^{-15} \text{ см}^2$.

• **образцы контрольных вопросов;**

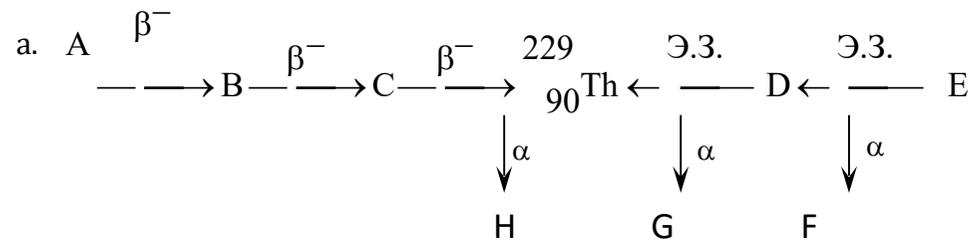
1. Сколько альфа- и бета-частиц образуется при переходе $^{228}\text{Ac} \rightarrow ^{212}\text{Bi}$?
2. Какая доля бета- и гамма-излучения пройдет через поглотители толщиной в 3 слоя половинного ослабления?
3. Имеется цепочка радиоактивных превращений
 - a. $A \rightarrow B \rightarrow C(\text{стаб})$
 - b. A: $N_1, T_{1/2}(1)$; B: $N_2, T_{1/2}(2)$. $T_{1/2}(1) \ll T_{1/2}(2)$
 - c. При $t=0$ число ядер материнского и дочернего нуклидов равны: $N_{1,0} = N_{2,0}$. Чему равно число ядер N_1 и N_2 через $t = 10 T_{1/2}(1)$?
4. Толщина активного слоя источника излучения, содержащего радионуклид ^{45}Ca , составляет 21 мг/см². Активность источника равна 200 кБк. Рассчитайте скорость счета, которую зафиксирует счетчик Гейгера-Мюллера, если разрешающее время счетчика $4 \cdot 10^{-4}$ с, геометрический коэффициент 4 %, а толщина окна счетчика 5 мг/см², расстояние от окна счетчика до источника 2 см.
5. Источник излучения, содержащий радионуклид ^{32}P , измеряют с помощью счетчика Гейгера-Мюллера со стенками толщиной 60 мг/см² и разрешающим временем $3 \cdot 10^{-4}$ с. Толщина активного слоя источника 80 мг/см², геометрический коэффициент 5 %, расстояние от источника до счетчика 2,5 см. Скорость счета (вместе с фоном) составила 800 имп/с, фон 0,6 имп/с. Определите активность радионуклида в источнике.
6. Рассчитайте толщину защитного экрана из свинца, снижающего дозу, создаваемую в течение 6-часового рабочего дня на расстоянии 0,5 м от источника ^{124}Sb активностью 37 МБк, до уровня 180 мкЗв/день.
7. Радиометром с блоком для измерения β -излучения (площадь детектора 150 см², толщина стенок счетчиков 60 мг/см²) при проверке чистоты поверхности стола, на котором проводилась работа с радионуклидом ^{32}P , была зарегистрирована скорость счета 1000 имп/мин (без фона). Определить, превышает ли загрязнение допустимый уровень, если геометрический коэффициент равен 0,2.
8. Используя изотопный обмен необходимо получить 8 мл меченного иодом-131 $\text{C}_2\text{H}_5\text{I}$ с удельной активностью 1 МБк/мл. Какой минимальный объем исходного водного раствора Na^{131}I (концентрация 0,1 М, удельная активность 1 МБк/мл) необходимо взять для этой цели? Плотность иодистого этила равна 1,94 г/см³.

• **образцы вопросов теоретического минимума;**

1. Типы распадов.
2. В чем различие взаимодействия альфа-частиц и гамма-квантов с веществом?
3. Основные методы детектирования радионуклидов.

• **образцы домашних заданий;**

1. Вычислите максимальную энергию частиц, испускаемых при распаде свободного нейтрона. Массы покоя нейтрона и протия 1Н равны 1,008664967 и 1,007825036 а.е.м., соответственно. Энергетический эквивалент 1 а.е.м. принять равным 931501 кэВ.
2. Расшифруйте цепочку радиоактивных превращений.



3. В природной смеси изотопов рубидия содержится 27,85% долгоживущего ^{87}Rb . Определить период его полураспада, если установлено, что скорость счета навески RbCl массой 120 мг равна 447 имп/мин (коэффициент регистрации $\phi = 0,1$).
4. Определите радиоактивность 1 см³ (при н.у.) трития.
5. Рассчитайте минимально необходимое время облучения навески As_2O_3 массой 0,1 г потоком нейтронов (плотность $10^{12} \text{ см}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$) для получения препарата $^{76}\text{As}_2\text{O}_3$ с удельной активностью 400 МБк/г. Единственный стабильный нуклид - ^{75}As , эффективное сечение (n, γ)-реакции равно $4,3 \cdot 10^{-24} \text{ см}^2$, период полураспада ^{76}As - 26,3 ч.
6. Параллельные потоки моноэнергетических электронов, β^- -частиц и α -частиц проходят через алюминиевые экраны, толщина которых равна 0,25 максимального пробега β^- -частиц. Энергия электронов, α -частиц и максимальная энергия β^- -спектра равны 0,7 МэВ. Какая доля электронов, β^- - и α -частиц задерживается экранами?
7. Найдите массу калия в препарате по естественной радиоактивности, если скорость счета (за вычетом фона) составляет 45 имп/мин, а коэффициент регистрации 0,3.
8. В воздухе на высоте уровня моря за счет космического излучения за 1 ч в среднем образуется 7560 пар ионов в 1 см³. Определите поглощенную дозу в воздухе за год, если на образование одной пары ионов затрачивается энергия 33,9 эВ.
9. В делительной воронке перемешивают 25 мл 0,01 моль/л раствора 1,3-дибромпропана в бензоле и 25 мл 0,02 моль/л раствора Na^{82}Br в воде с объемной активностью 500 Бк/мл. Через 1 ч объемная радиоактивность органической фазы достигла значения 75 Бк/мл. Определите степень изотопного обмена. Распадом ^{82}Br за время проведения эксперимента пренебречь.
10. Определить, какая активность ^{95}Zr ($\lambda = 1,25 \cdot 10^{-7} \text{ с}^{-1}$) может быть адсорбирована силикагелем с удельной поверхностью 80 м²/г, если мономолекулярный слой адсорбированных ионов занимает 40% поверхности, а площадь иона, содержащего один атом циркония на поверхности адсорбента, равна приблизительно $5 \cdot 10^{-15} \text{ см}^2$.

• **образец теста;**

Тест. При α -распаде заряд дочернего ядра, по сравнению с материнским. (Правильный ответ – Б).

А. Уменьшается на 4

Б. Уменьшается на 2

В. Увеличивается на 2

• **Вопросы к экзамену;**

1. Энергия связи нуклонов в ядре. Причины нестабильности атомных ядер. Нуклидная карта. Сверхтяжелые элементы.
2. Понятие радиоактивности. Стохастический характер радиоактивного распада. Виды распределений, описывающих статистику радиоактивного распада и регистрации излучений.
3. Альфа-распад. Энергетические спектры альфа-излучения.
4. Бета-распад с испусканием электронов. Энергетические спектры бета-излучения.
5. Бета-распад ядер с испусканием позитронов. Энергетические спектры бета-излучения.
6. Электронный захват. Вторичные процессы в атоме, происходящие при электронном захвате.
7. Испускание гамма-квантов при радиоактивном распаде. Изомерные переходы. Энергетические спектры гамма-излучения.
8. Основной закон радиоактивного распада. Период полураспада. Способы определения периода полураспада. Единицы измерения радиоактивности.
9. Цепочки радиоактивных превращений. Радиоактивные равновесия. Изотопные генераторы.
10. Ядерные реакции. Энергетический эффект и энергетический порог ядерных реакций. Эффективное сечение. Расчет выходов ядерных реакций.
11. Получение радионуклидов с помощью ядерных реакций под действием заряженных частиц.
12. Получение радионуклидов с помощью ядерных реакций под действием нейтронов и гамма-квантов большой энергии.
13. Взаимодействие ионизирующих излучений с веществом. Эффекты, сопровождающие прохождение излучения через вещество.
14. Взаимодействие альфа-частиц с веществом. Пробег альфа-частиц в веществе. Кривая Брэгга.
15. Взаимодействие бета-частиц с веществом. Ослабление бета-излучения. Тормозное излучение. Черенковское излучение.
16. Механизмы взаимодействия гамма-излучения с веществом. Ослабление гамма-излучения различными материалами.
17. Общая характеристика методов регистрации ионизирующих излучений. Типы детекторов. Влияние свойств радионуклида и условий измерений на величину регистрируемой активности.
18. Регистрация ионизирующих излучений с помощью газовых ионизационных детекторов.
19. Методы регистрации гамма-излучения. Гамма-спектрометрия.
20. Регистрация альфа- и бета-излучений с помощью жидкостной сцинтилляционной спектрометрии.
21. Физические и химические последствия воздействия ионизирующего излучения. Радиолит воды. Действие ионизирующих излучений на живые организмы. Негативные эффекты облучения. Взаимосвязь доза-эффект.
22. Понятие доза облучения. Дозы, характеризующие непосредственно ионизирующие и косвенно ионизирующие излучения. Единицы измерения. Способы определения.
23. Эквивалентная и эффективная дозы. Допустимые уровни облучения персонала и населения.
24. Дозиметрия γ -излучения. Керма. Доза от точечного источника со сложным составом γ -излучения. Керма-постоянная. Амбиентный эквивалент дозы. Экспозиционная доза. Единицы измерения. Связь между ионизацией воздуха гамма-излучением и поглощенной дозой.

25. Принципы, лежащие в основе радиационной защиты. Защита от ионизирующих излучений: временем, расстоянием, с использованием экранов.
26. Естественный радиационный фон на Земле. Вклад различных факторов в дозу облучения населения. Радон как фактор облучения.
27. Природные долгоживущие радионуклиды. Естественные радиоактивные семейства. Методы изотопной геохронологии. Определение возраста Земли.
28. Космогенные радионуклиды. Радиоуглеродное датирование.
29. Поступление техногенных радионуклидов в окружающую среду, их вклад в дозу облучения населения.
30. Общая характеристика методов получения радионуклидов. Радионуклидная и радиохимическая чистота.
31. Методы выделения радионуклидов (экстракция, хроматография, осаждение и соосаждение).
32. Меченые соединения. Основные правила написания названий и химических формул. Особенности синтеза соединений, меченных радионуклидами.
33. Общая характеристика методов синтеза меченых органических соединений (химический синтез, биосинтез, специфические радиохимические методы, физико-химические методы).
34. Изотопный обмен. Причины протекания изотопного обмена. Степень обмена. Кинетика гомогенного изотопного обмена. Период полуробмена.
35. Механизмы реакций изотопного обмена. Использование изотопного обмена для синтеза меченых соединений.
36. Изотопные эффекты. Использование в научных исследованиях и для обогащения урана.
37. Особенности поведения радионуклидов в ультраразбавленных растворах.
38. Эффекты, обусловленные энергией отдачи. Химия горячих атомов. Реакции Сцилларда–Чалмерса.
39. Радионуклиды как изотопные метки. Принципы применения и возможные ограничения. Метод радиоактивных индикаторов.
40. Применение радионуклидов в аналитической химии. Минимальная определяемая масса. Метод изотопного разбавления. Анализ, основанный на использовании избытка осадителя, радиометрическое титрование.
41. Нейтронный активационный анализ.
42. Применение радиоактивных индикаторов в неорганической и физической химии. Определение растворимости малорастворимых веществ, плотности насыщенных паров, удельной поверхности, коэффициентов диффузии и самодиффузии.
43. Радионуклиды биогенных элементов, их применение в биохимии и медицине.
44. Получение короткоживущих позитрон-испускающих радионуклидов и их применение в медицине. Радиохимические синтезы в ПЭТ-лаборатории.
45. Получение радионуклидов для однофотонной эмиссионной томографии. Изотопные генераторы для этих целей.
46. Радионуклиды, применяемые в медицине для терапии. Средства доставки радионуклидов.
47. Спонтанное и нейтронно-индуцированное деление ядер. Радионуклиды для ядерной энергетики. Типы ядерных реакторов.
48. Ядерный топливный цикл. Регенерация ядерного топлива, радиоактивные отходы.
49. Экологические проблемы ядерного топливного цикла. Радиационные аварии. Сопоставление радиационных рисков от различных источников техногенных радиоактивных загрязнений и ионизирующих излучений.

50. Радиоактивные отходы, их переработка, хранение и захоронение. Многобарьерная защита хранилищ радиоактивных отходов.

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 непринципиального характера)	Успешное и систематическое 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 основные термины, понятия и законы радиохимии	мероприятия текущего контроля успеваемости, устный опрос на экзамене
уметь использовать радиохимические методы в других областях науки уметь выделить и сформулировать основную составляющую профессиональной проблемы в области радиохимии	мероприятия текущего контроля успеваемости, устный опрос на экзамене
иметь опыт деятельности в измерении различных типов радиоактивного излучения, приготовлении образцов для измерения радиоактивности, дозиметрическом контроле.	мероприятия текущего контроля успеваемости, устный опрос на зачете экзамене