

Дисциплина «**Основы радиохимии и радиоэкологии**» относится к базовой части блока химических дисциплин, является обязательным курсом. Курс включает лекции и практические работы по основным аспектам радиохимии: основной закон радиоактивного распада, радиоактивные равновесия, способы регистрации излучения, основы дозиметрии, метод радиоактивных индикаторов и его применение в различных областях, ядерный топливный цикл, обращение с радиоактивными отходами.

Цель дисциплины – содействовать формированию и развитию у слушателей универсальных (общенаучных, инструментальных, системных) и профессиональных знаний о радионуклидах и радиоактивных излучениях, их действии на вещество и организм человека; приобретения слушателями навыков работы с мечеными веществами и применения радиоактивных индикаторов в научных исследованиях.

Задача дисциплины: научить слушателей теоретическим и практическим аспектам обращения с радиоактивными веществами и ионизирующими излучениями.

В результате освоения дисциплины студент должен:

знать основные термины, понятия и законы радиохимии;

уметь использовать радиохимические методы в других областях науки;

владеть техникой измерения различных типов радиоактивного излучения;

иметь опыт деятельности в измерении различных типов радиоактивного излучения, приготовлении образцов для измерения радиоактивности, дозиметрическом контроле.

Структура дисциплины

Общая трудоемкость дисциплины составляет 108 часов, из них 36 ч. – лекции, 36 ч. - лабораторные работы, 36 ч. - самостоятельная работа по подготовке к текущему и промежуточному контролю.

Вид работы	Семестр	Всего
	5	
Общая трудоёмкость, акад. часов	108	108
Аудиторная работа:	72	72
Лекции, акад. часов	36	36
Семинары, акад. часов	-	-
Лабораторные работы, акад. часов	36	36
Самостоятельная работа, акад. часов	36	36
Вид итогового контроля (зачёт, зачёт с оценкой, экзамен)	экзамен	

Основные разделы курса

Понятие радиоактивности

Дозиметрия ионизирующих излучений.

Изотопный обмен.

Применение радиоактивных изотопов.

Радиоактивность окружающей среды

Лабораторные работы

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

Сетевой ресурс поддержки образовательного процесса

<http://www.chem.msu.ru/rus/teaching/radio/welcome.html>

Вопросы к лабораторным работам

Раздел 1

- Сколько альфа- и бета-частиц образуется при переходе $^{238}\text{U} \rightarrow ^{206}\text{Pb}$?
- 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.
- Какая доля бета- и гамма-излучения пройдет через поглотители толщиной в 2 слоя половинного ослабления?
- Имеется цепочка радиоактивных превращений
 $A \rightarrow B \rightarrow C(\text{стаб})$
 А: $N_1, T_{1/2}(1)$; В: $N_2, T_{1/2}(2)$. $T_{1/2}(1) \gg T_{1/2}(2)$
 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 $t = 10 T_{1/2}(2)$?
- 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.
- 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.
- 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 $\phi=0,1$).

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 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 $1,94 \text{ г/см}^3$.
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 $5\cdot 10^{-15} \text{ см}^2$.

Вопросы к экзамену

1. Энергия связи нуклонов в ядре. Причины нестабильности атомных ядер. Нуклидная карта.
2. Понятие радиоактивности. Основные типы радиоактивных превращений.
3. Спонтанное и нейтронно-индуцированное деление ядер. Радионуклиды для ядерной энергетики.
4. Сверхтяжелые элементы. Способы получения и причины нестабильности.
5. Типы радиоактивных превращений. Альфа-распад. Энергетические спектры альфа-излучения.
6. Типы радиоактивных превращений. Бета-распад с испусканием электронов. Энергетические спектры бета-излучения.

7. Типы радиоактивных превращений. Бета-распад ядер с испусканием позитронов. Энергетические спектры бета-излучения.
8. Типы радиоактивных превращений. Электронный захват. Вторичные процессы в атоме, происходящие при электронном захвате.
9. Испускание гамма-квантов при радиоактивном распаде. Изомерные переходы. Энергетические спектры гамма-излучения.
10. Стохастический характер радиоактивного распада. Виды распределений, описывающие статистику радиоактивного распада и регистрации излучений.
11. Основной закон радиоактивного распада. Период полураспада. Способы определения периода полураспада. Единицы измерения радиоактивности.
12. Цепочки радиоактивных превращений. Радиоактивные равновесия.
13. Ядерные реакции. Энергетический эффект и энергетический порог ядерных реакций.
14. Ядерные реакции. Эффективное сечение. Расчет выходов ядерных реакций.
15. Получение радионуклидов с помощью ядерных реакций под действием заряженных частиц.
16. Ядерные реакции под действием нейтронов. Получение радионуклидов с помощью различных источников нейтронов.
17. Применение ядерных реакций и современной энергетике. Реакции деления и реакции нуклеосинтеза.
18. Взаимодействие ионизирующих излучений с веществом. Эффекты, сопровождающие прохождение излучения через вещество.
19. Взаимодействие альфа-частиц с веществом. Пробег альфа-частиц в веществе. Кривая Брэгга.
20. Взаимодействие бета-частиц с веществом. Ослабление бета-излучения.
21. Взаимодействие бета-частиц с веществом. Тормозное излучение. Черенковское излучение.
22. Механизмы взаимодействия гамма-излучения с веществом.
23. Взаимодействие гамма-излучения с веществом. Ослабление гамма-излучения различными материалами.
24. Общая характеристика методов регистрации ионизирующих излучений. Типы детекторов.
25. Регистрация ионизирующих излучений. Влияние свойств радионуклида и условий измерений на величину регистрируемой активности.
26. Газовые ионизационные детекторы.
27. Методы регистрации гамма-излучения. Гамма-спектрометрия.
28. Регистрация альфа- и бета-излучений с помощью жидкостной сцинтилляционной спектрометрии.
29. Физические и химические последствия воздействия ионизирующего излучения. Радиолиз воды.
30. Действие ионизирующих излучений на живые организмы. Негативные эффекты облучения. Взаимосвязь эффект–доза.
31. Понятие доза облучения. Дозы, характеризующие непосредственно ионизирующие и косвенно ионизирующие излучения.
32. Поглощенная доза. Единицы измерения. Способы определения.
33. Керма. Экспозиционная доза. Единицы измерения. Связь между ионизацией воздуха гамма-излучением и поглощенной дозой в биологической ткани.
34. Доза от точечного источника со сложным составом гамма-излучения. Керма-постоянная.
35. Эквивалентная и эффективная дозы. Допустимые уровни облучения для различных категорий населения.
36. Защита от ионизирующих излучений. Защита временем, расстоянием, с использованием экранов. Расчет защиты от внешнего бета- и гамма-излучения.

37. Принципы, лежащие в основе радиационной защиты. Правила работы с радиоактивными веществами.
38. Естественный радиационный фон на Земле. Вклад различных факторов в дозу облучения населения.
39. Естественный радиационный фон на Земле. Радон как фактор облучения.
40. Радионуклиды в окружающей среде. Естественные ряды первичных радионуклидов и их вклад в дозу облучения населения.
41. Радионуклиды в окружающей среде. Космогенные радионуклиды и их вклад в дозу облучения населения.
42. Методы изотопной геохронологии. Определение возраста Земли.
43. Космогенные радионуклиды в геохронологии. Радиоуглеродное датирование
44. Поступление техногенных радионуклидов в окружающую среду, их вклад в дозу облучения населения.
45. Миграция радионуклидов в природе. Атмосферные выпадения. Распространение и концентрирование радионуклидов в водных экосистемах, в почвах, в растениях.
46. Общая характеристика методов получения радионуклидов. Радионуклидная и радиохимическая чистота.
47. Получение радионуклидов на ускорителях заряженных частиц.
48. Получение радионуклидов в ядерных реакторах.
49. Изотопные генераторы.
50. Экстракционные методы выделения радионуклидов.
51. Хроматографические методы выделения радионуклидов.
52. Особенности синтеза меченых соединений и их номенклатура.
53. Основные принципы синтеза меченых органических соединений (прямой химический синтез, специфические радиохимические методы, биосинтез, физико-химические методы).
54. Изотопный обмен. Причины протекания изотопного обмена. Равнораспределение изотопов.
55. Изотопный обмен. Кинетика гомогенного изотопного обмена. Степень обмена.
56. Изотопный обмен. Механизмы реакций изотопного обмена.
57. Изотопный обмен. Использование изотопного обмена для синтеза меченых соединений.
58. Особенности поведения радионуклидов в ультраразбавленных растворах.
59. Эффекты, обусловленные радиационной отдачей. Химия горячих атомов. Реакции Сцилларда–Чалмерса.
60. Изотопные эффекты. Их использование в научных исследованиях и для обогащения урана.
61. Радионуклиды как изотопные метки. Принципы применения и возможные ограничения. Метод радиоактивных индикаторов.
62. Применение радионуклидов в аналитической химии. Метод изотопного разбавления.
63. Применение радионуклидов в аналитической химии. Методы анализа, основанные на использовании стехиометрических реакций (анализ, основанный на использовании избытка осадителя; радиометрическое титрование).
64. Применение радионуклидов в аналитической химии. Активационный анализ.
65. Применение радиоактивных индикаторов в неорганической и физической химии. Определение растворимости малорастворимых веществ. Определение давления насыщенных паров.
66. Применение радиоактивных индикаторов в неорганической и физической химии. Определение коэффициентов диффузии и самодиффузии в твердых телах и в жидкостях. Определение удельной поверхности.
67. Применение радионуклидов биогенных элементов в биохимии и медицине.
68. Применение короткоживущих позитрон-испускающих радионуклидов в медицине. Радиохимические синтезы в ПЭТ-лаборатории.

69. Применение радионуклидов для однофотонной эмиссионной томографии. Изотопные генераторы для этих целей.
70. Применение радионуклидов в медицине для терапии.
71. Ядерная энергетика, топливный ядерный цикл. Типы ядерных реакторов.
72. Ядерный топливный цикл. Регенерация ядерного топлива, радиоактивные отходы.
73. Экологические проблемы ядерного топливного цикла. Радиационные аварии. Сопоставление радиационных рисков от различных источников техногенных радиоактивных загрязнений и ионизирующих излучений.
74. Радиоактивные отходы, их переработка, хранение и захоронение. Многобарьерная защита хранилищ радиоактивных отходов.

Рекомендуемая литература

Основная литература

1. 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.
2. 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.
3. Р.А. Алиев, С.Н. Калмыков Радиоактивность. М.: Лань. 2013, 304 с.
4. G. Choppin, J. Rydberg, J.-O. Liljenzin. Radiochemistry and Nuclear Chemistry. Third Edition, Butterworth-Heinemann, 2002, 709с.
5. Г. Чоппин, Я. Ридберг. Ядерная химия. Основы теории и применения. М.: Энергоатомиздат, 1984, 304 с.
6. М.И. Афанасов, А.А. Абрамов, С.С. Бердоносков. Основы радиохимии и радиоэкологии. Сборник задач. М.: типография МГУ, 2012, 116 с.
7. Практикум «Основы радиохимии и радиоэкологии». Под ред. М.И. Афанасова. М.: Типография МГУ. 2012.
8. 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.

Дополнительная литература

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

Интернет-ресурсы

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

Методические указания к лабораторным занятиям

1. Практикум «Основы радиохимии и радиоэкологии». Под ред. М.И. Афанасова. М.: Типография МГУ. 2012. Методические указания к практическим занятиям