

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки  
Ордена Ленина и Ордена Октябрьской Революции Институт геохимии и  
аналитической химии им. В.И. Вернадского Российской академии наук  
(ГЕОХИ РАН)

ПРИНЯТО

Ученым советом ГЕОХИ РАН

Протокол № 8 от 22 октября 2014 г.



УТВЕРЖДАЮ

Зам. директора ГЕОХИ РАН

Д.х.н. Колотов В.П.

22 октября 2014 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**  
**«Ионизирующее излучение: взаимодействие с веществом, радиометрия и**  
**спектроскопия»**

**Направления подготовки:** 04.06.01 - Химические науки

*(указывается код и наименование направления подготовки)*

**Направленности (профили) подготовки:** 02.00.14 «Радиохимия»

*(наименование направленности подготовки)*

**Квалификация:** Исследователь. Преподаватель-исследователь

**Форма обучения:** Очная

**Вид итогового контроля:** Зачет

*(Зачет/Дифференцированный зачет/Экзамен)*

**Москва 2016**

Рабочая программа составлена в соответствии с требованиями Федерального государственного образовательного стандарта высшего образования по направлению подготовки 04.06.01 Химические науки (уровень кадров высшей квалификации). Приказ Минобрнауки РФ №869 от 30 июля 2014г. (зарегистрирован в Минюсте России 20 августа 2014г., регистрационный № 33718).

## 1. Цели и задачи освоения дисциплины

Цель дисциплины – содействовать формированию и развитию у аспирантов универсальных (общенаучных, инструментальных, системных) и профессиональных компетенций посредством приобретения современных знаний по следующим разделам радиохимии: свойства элементарных частиц и атомного ядра, виды и энергия ядерных превращений, ядерные реакции; взаимодействие корпускулярного и фотонного излучений с веществом; доза ионизирующего излучения и основы радиационной безопасности; регистрация и общие принципы измерения ионизирующих излучений, спектрометрия и радиометрия ионизирующих излучений.

Задача дисциплины – расширение и углубление знаний и навыков, определяемых содержанием базовой дисциплины «Радиохимия», и необходимых в дальнейшем для квалифицированной постановки и решения радиохимических задач, а также для последующего изучения других радиохимических спецкурсов.

## 2. Место дисциплины в структуре ООП

Дисциплина «Ионизирующее излучение: взаимодействие с веществом, радиометрия и спектроскопия» входит в вариативную часть ООП и относится к дисциплинам по выбору обучающихся, которые направлены на подготовку к сдаче кандидатского экзамена по специальности.

### Требования к предварительной подготовке обучающегося:

Знать: что такое ионизирующее излучение, его типы, закон радиоактивного распада, механизм взаимодействия различных типов излучения с веществом, основы радиометрии и спектроскопии,

Уметь: представлять научные результаты по теме диссертационной работы в виде публикаций в рецензируемых научных изданиях.

Владеть: методами планирования, подготовки, проведения научно-исследовательской работы по направленности (02.00.14 Радиохимия).

## 3. Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины

Код компетенции	Содержание компетенции	Планируемые результаты обучения по дисциплине
УК-1	способность к критическому анализу и оценке современных научных достижений, генерированию новых идей при решении исследовательских и	<b>Знать:</b> методы критического анализа и оценки современных научных достижений, а также методы генерирования новых идей при решении исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных

	практических задач, в том числе в междисциплинарных областях	областях. <b>Уметь:</b> анализировать альтернативные варианты решения исследовательских и практических задач. <b>Владеть:</b> навыками анализа методологических проблем, возникающих при решении исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях.
<b>ОПК-1</b>	способность самостоятельно осуществлять научно-исследовательскую деятельность в соответствующей профессиональной области с использованием современных методов исследования и информационно-коммуникационных технологий	<b>Знать:</b> современные способы использования информационно-коммуникационных технологий в выбранной сфере деятельности <b>Уметь:</b> выбирать и применять в профессиональной деятельности экспериментальные и расчетно-теоретические методы исследования.
<b>ОПК-2</b>	готовность организовать работу исследовательского коллектива в области химии и смежных наук	<b>Знать:</b> основные принципы организации работы в коллективе и способы разрешения конфликтных ситуаций/ <b>Уметь:</b> планировать научную работу, формировать состав рабочей группы и оптимизировать распределение обязанностей между членами исследовательского коллектива.
<b>ПК-3</b>	способность и готовность к самостоятельному проведению научно-исследовательской работы и получению научных результатов в области радиохимии.	<b>Знать:</b> способность и готовность к самостоятельному проведению научно-исследовательской работы и получению научных результатов в области радиохимии. <b>Владеть:</b> методами планирования, подготовки, проведения научно-исследовательской работы по направленности (02.00.14 Радиохимия)

#### 4. Структура и содержание дисциплины

Приведенная ниже таблица отражает распределение учебного времени, отводимого на освоение основных разделов курса. Общая трудоемкость дисциплины составляет 3 зачетных единиц (108 часов).

№ п/п	Наименование дисциплины	Объем учебной работы (в часах)						Вид итогового контроля	
		Всего	Всего аудит.	Из аудиторных					Сам. работа
				Лекц.	Сем.	Прак.	КСР.		

1	Ионизирующее излучение: взаимодействие с веществом, радиометрия и спектроскопия	108	18	18			-	90	Зачет
---	---	-----	----	----	--	--	---	----	-------

Содержание разделов дисциплины:

Содержание раздела (темы)		Количество часов
<i>Лекции</i>		
<p><b>Раздел 1. Радиоактивность ядра, ионизирующее излучение.</b></p> <p>1. Ядро, основные характеристики. Модели ядра. Ядерные силы. Энергия связи ядра. Ширина уровня и время жизни ядра в возбужденном состоянии.</p> <p>2. Ядерные силы. Энергия связи ядра - полная и удельная. Стабильные и радиоактивные изотопы. Формула Вейцеккера, её составляющие. Энергия возбуждения ядра, её дискретность. Изомеры. Законы сохранения и расчет энергетических эффектов ядерных превращений.</p> <p>3. Типы ядерных превращений. Нуклидная карта. Законы сохранения и расчет энергетических эффектов ядерных превращений. Примеры схем радиоактивных распадов. Спонтанное деление.</p> <p>4. Альфа-распад. Правило сдвига. Кинетическая энергия альфа-частиц, энергия отдачи. Спектр <math>\alpha</math>-частиц, закономерности <math>\beta</math>-распада. Конкуренция видов распада. Устойчивость изобар к бета-распаду. Гамма-излучение. Метастабильное состояние, изомерный переход. Спектр гамма-излучения.</p> <p>5. Основной закон радиоактивного распада. Период полураспада и среднее время жизни. Распад и накопление радионуклидов. Радиоактивные равновесия. Кинетика накопления и распада ядер в рядах генетически связанных нуклидов.</p>	2	
<p><b>Раздел 2. Взаимодействие ионизирующего излучения с веществом.</b></p> <p>Взаимодействие тяжелых заряженных частиц с веществом. Основные механизмы передачи (потери) кинетической энергии. Линейная передача энергии. Кривая Брегга. Трек и пробег альфа-частиц. Взаимодействие бета-излучения с веществом. Соотношение потерь на ионизацию и тормозное излучение (формулы Бете и Гейтлера). Эмпирическая оценка ионизационных и радиационных потерь. Черенковское излучение. Поглощение энергии и трек <math>\beta</math>-частиц в воде. Ослабление потока бета-частиц, максимальный пробег. Взаимодействие нейтронов с веществом. Элементарная теория замедления (рассеяния) быстрых нейтронов. Кинетическая энергия ядер отдачи. Ионизация среды. Диффузия тепловых нейтронов, среднее время жизни теплового нейтрона; поглощение нейтронов. Характеристика различных замедлителей. Взаимодействие <math>\gamma</math>-излучения с веществом. Основные механизмы передачи энергии. Зависимость сечений трех первичных процессов передачи энергии от энергии фотонов и заряда ядер облучаемого материала. Области преобладания отдельных механизмов. Фотоэффект, процессы, сопровождающие фотопоглощение. Резонансное фотопоглощение. Комптоновское рассеяние, энергетическое распределение комптоновских электронов. Обратное рассеяние.</p>	4	
<p><b>Раздел 3. Ядерные взаимодействия.</b></p>	2	

<p>Ядерные реакции. Эффективное сечение, зависимость от типа и энергии частиц. Резонансные ЯР. Энергетический порог реакции. Кулоновский потенциальный барьер. Ядерные реакции с участием тепловых нейтронов. Фотоядерные реакции, пороговая энергия фотонов. Превращения ядер при взаимодействии с тяжелыми заряженными частицами. Цепная ядерная реакция. Критическая масса. Общая характеристика методов получения радионуклидов. Реакторные радионуклиды. Накопление радионуклида в облучаемой мишени. Случай тонкой мишени. Получение радионуклидов на ускорителях заряженных частиц. Выбор мишени и условий облучения. Расчет наработки радионуклидов.</p>	
<p><b>Раздел 4. Детекторы и регистрация ионизирующих излучений.</b>  Основные методы регистрации и детекторы ионизирующих излучений. Абсолютная и регистрируемая активность. Влияние условий измерений на величину регистрируемой радиоактивности. Коэффициент счета ф. Ионизационная камера. Устройство, принцип работы, применение. Принцип работы счетчика Гейгера-Мюллера. Фон и разрешающее время. Пропорциональный счетчик, конструкция. Механизм и коэффициент газового усиления. Эффективность счетчика к различным видам излучения.</p>	2
<p><b>Раздел 5. Спектрометрия излучения.</b>  Гамма-спектрометрия. Устройство и принцип работы гамма-спектрометра. Механизм регистрации излучения полупроводниковыми и сцинтилляционными детекторами. Аппаратурный спектр. Пики ППЭ и комптоновский континуум. Относительное энергетическое разрешение. Калибровка спектрометров по энергии и эффективности. Полупроводниковый детектор. Собственная и примесная проводимость. Полупроводник как рабочее вещество детектора – процессы преобразования энергии, формирование импульса тока. Конструкции детекторов альфа- и гамма- излучения. Энергетическое разрешение. Применение ППД в гамма-спектрометрии. Жидкостно-сцинтилляционная спектрометрия. Химическое и оптическое тушение люминесценции. Аппаратура для ЖС измерений. Спектрометрия β-излучения. Черенковские детекторы. Оборудование и программное обеспечение для гамма-спектрометрии. Гамма-спектры реальных образцов, их обработка и интерпретация. Оборудование и программное обеспечение для альфа-спектрометрии. Особенности и способы подготовки мишеней для альфа спектрометрии. Альфа-спектры реальных образцов, их обработка и интерпретация.</p>	8

### 5. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы аспирантов

Самостоятельная работа подкрепляется учебно-методическим и информационным обеспечением, включающим учебники, учебно-методические пособия, конспекты лекций.

Основные виды самостоятельной работы: в читальном зале библиотеки, в домашних условиях с доступом к ресурсам Интернет.

Основной контроль знаний осуществляется в процессе участия в практических занятиях (обсуждения, ответов на вопросы, выполнение расчетных заданий).

## 6. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

### Основная литература

1. Алиев Р.А., Калмыков С.Н. // Радиоактивность, С.-Петербург, изд-во Лань, 2013, 304 с.
2. Бекман И.Н. // Радиохимия, том I. Радиоактивность и радиация. М.: Онтопринт, 2011, 397 с.
3. Ершова О.Д., Ишханов Б.С., Капитонов И.М. // Взаимодействие частиц и излучений с веществом. Учебное пособие. М., изд-во МГУ, 2007, 71 с. (разделы 1,2)
4. Ишханов Б.С., Капитонов И.М., Кебин Э.И. // Частицы и атомные ядра Учебное пособие. М., изд-во МГУ, 2005, 142 с. (разделы 1,2)
5. Сарычева Л.И. // Введение в физику микромира – физика частиц и ядер. НИИЯФ МГУ, 2008, 221 с. (разделы 1,2)
6. Машкович В.П., Кудрявцев А.В. // Защита от ионизирующих излучений. М., Энергоатомиздат, 1995, 496 с. (раздел 2)
7. Болоздыня А.И., Ободовский И.М. // Детекторы ионизирующих частиц и излучений. М.: изд-во Интеллект, 2012, 208 с. (разделы 4)
8. Сапожников Ю.А., Алиев Р.А., Калмыков С.Н. // Радиоактивность окружающей среды. Теория и практика. М.: БИНОМ, 2006, 286 с. (разделы 2-4)

### Дополнительная литература

1. Клайнкнехт К. // Детекторы корпускулярных излучений. М.: Мир, 1990, 462 с (раздел 4)
2. Физические величины (Справочник) // Под ред. Григорьева И.С., Мейлихова Е.З., М.:Атомиздат, 1991, 1189 с. (по всем разделам)

### Интернет-ресурсы

1. Бекман И.Н. Радиоактивность и радиация. Курс лекций. М., 2006  
<http://profbecman.narod.ru>
2. База ядерных данных Лундского университета (Decay Data Search)  
<http://nucldata.nuclear.lu.se/database/nudat/>
3. Схемы энергетических уровней ядер, энергии излучений  
<http://www.nndc.bnl.gov/nudat2/>
4. Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009) [www.ritverc.ru/normadoc](http://www.ritverc.ru/normadoc)
5. Бекман И.Н. Радиоактивность и радиация. Курс лекций. М., 2006  
<http://profbecman.narod.ru>

## 7. Образовательные технологии

Кроме очных лекций проводятся практические занятия на базе аналитических лабораторий ГЕОХИ, используется самостоятельная работа и выполнение расчетных заданий. При осуществлении образовательного процесса по дисциплине используются следующие информационно-телекоммуникационные технологии:

- Персональный компьютер (или ноутбук) с необходимым программным обеспечением для работы устройства, а также для демонстрации презентаций MS PowerPoint.

## **8. Материально-техническое обеспечение дисциплины**

8.1. Радиохимическая лаборатория ГЕОХИ РАН имеет лицензию на право работ с радиоактивными веществами по второму классу. Лаборатория оснащена необходимыми приборами и оборудованием:

- приборы: гамма-спектрометр (Canberra) и полупроводниковый (HPGe) детектор, альфа-спектрометр (Canberra) с системой полупроводниковых PIPS детекторов.
- лабораторное оборудование: центрифуги разного типа, микроволновые системы разложения проб, дистилляторы, весы технические, весы аналитические, лабораторная посуда, химические реактивы, растворы радионуклидов.

8.2. Лекционная аудитория, оборудованная проекционным оборудованием и доступом в сеть «Интернет».

## **9. Оценочные средства для текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины**

9.1. Форма контроля знаний:

9.1.1. Текущий контроль знаний в течение всего курса осуществляется с помощью контрольных вопросов.

9.1.2. Зачет по дисциплине в конце курса обучения, который проходит в виде собеседования по реферату, подготовленному аспирантом по предложенной преподавателем теме заранее.

9.2. Оценочные средства (в виде устных вопросов, тем реферата).

9.2.1. Перечень примерных вопросов для текущего контроля знаний

1. Ядро, основные характеристики. Модели ядра. Ядерные силы.
2. Ядерные силы. Энергия связи ядра - полная и удельная. Стабильные и радиоактивные изотопы. Изомеры. Законы сохранения и расчет энергетических эффектов ядерных превращений.
3. Типы ядерных превращений. Нуклидная карта. Законы сохранения и расчет энергетических эффектов ядерных превращений. Примеры схем радиоактивных распадов. Спонтанное деление.
4. Альфа-распад. Туннельный эффект. Правило сдвига.
5. Закономерности  $\beta$ -распада. Конкуренция видов распада. Устойчивость изобар к бета-распаду. Энергетический спектр  $\beta$ -частиц, средняя энергия. Аннигиляционное излучение.

6. Гамма-излучение. Спектр  $\gamma$ -излучения.
7. Основной закон радиоактивного распада. Период полураспада и среднее время жизни. Распад и накопление радионуклидов. Радиоактивные равновесия.
8. Взаимодействие тяжелых заряженных частиц с веществом. Кинетическая энергия  $\alpha$ -частиц и скорость их перемещения в веществе. Основные механизмы передачи (потери) кинетической энергии.
9. Взаимодействие  $\beta$ -излучения с веществом. Удельная ионизация воздуха. Поглощение энергии и трек  $\beta$ -частиц в воде. Ослабление потока бета-частиц, максимальный пробег.
10. Взаимодействие нейтронов с веществом. Элементарная теория замедления (рассеяния) быстрых нейтронов; поглощение нейтронов. Характеристика различных замедлителей.
11. Взаимодействие  $\gamma$ -излучения с веществом. Области преобладания отдельных механизмов. Фотоэффект, процессы, сопровождающие фотопоглощение. Обратное рассеяние.
12. Ядерные реакции. Эффективное сечение, зависимость от типа и энергии частиц.
13. Ядерные реакции с участием тепловых нейтронов. Фотоядерные реакции, пороговая энергия фотонов.
14. Общая характеристика методов получения радионуклидов. Реакторные радионуклиды. Накопление радионуклида в облучаемой мишени. Расчет наработки радионуклидов.
15. Гамма-спектрометрия. Устройство и принцип работы гамма-спектрометра. Механизм регистрации излучения полупроводниковыми и сцинтилляционными детекторами. Аппаратурный спектр. Пики ППЭ и комптоновский континуум. Относительное энергетическое разрешение. Калибровка спектрометров по энергии и эффективности.
16. Классификация и характеристика основных типов сцинтилляторов: спектр испускаемых фотонов, время высвечивания, световой выход, прозрачность.
17. Полупроводниковый детектор. Полупроводник как рабочее вещество детектора – процессы преобразования энергии, формирование импульса тока. Конструкции детекторов альфа- и гамма- излучения. Энергетическое разрешение.
18. Жидкостно-сцинтилляционная спектрометрия. Процессы преобразования энергии ионизирующего излучения в жидких сцинтилляторах. Коктейли для различных видов ЖС измерений. Спектрометрия  $\beta$ -излучения.
19. Черенковские детекторы. Энергетическое разрешение детекторов с фокусировкой. Эффективность к различным типам излучения.

#### 9.2.2. Домашние задания

1. Используя базу ядерных данных (<http://nucldata.nuclear.lu.se/database/nudat/>), определить энергию моноэнергетических нейтрино, испускаемых при распаде  $^{44}\text{Sc}$ .
2. Решение расчетных по темам «радиоактивность», «радиационная безопасность и дозиметрия», «получение радионуклидов в реакторах и при облучении на ускорителях».

### 9.2.3. Список примерных тем для рефератов

1. Гамма-спектрометрия: теория и практическая реализация
2. Методология идентификации радионуклидов и определения их абсолютной активности с использованием гамма-спектрометрии
3. Альфа-спектрометрия: теория и практическая реализация
4. Трековая автордиография как инструмент для определения распределения альфа-излучающих радионуклидов
5. Автордиография- метод изучения пространственного распределения радионуклидов

## ЛИСТ РЕГИСТРАЦИИ ИЗМЕНЕНИЙ

№ листа изменений или наименование элемента приложения	№ протокола Ученого Совета (секции Уч. Совета)	Дата заседания Ученого Совета (секции Уч. Совета)	Всего листов в документе	Подпись зам. директора по научной работе
	Рабочая программа обсуждена и принята на заседании Ученого совета ГЕОХИ РАН, протокол № 8	22 октября 2014 года	10	
--	Обновленный текст программы принят на заседании Ученого совета РАН, Протокол №11(8)	28 декабря 2016 года	10	