

Программа утверждена на заседании
Ученого Совета химического факультета
МГУ имени М.В.Ломоносова
Протокол № 4 от 03 июня 2015 г.

Рабочая программа дисциплины (модуля)

1. Код и наименование дисциплины (модуля) – **Ионизирующее излучение: взаимодействие с веществом, радиометрия и спектроскопия.**

Краткая аннотация:

Дисциплина «Ионизирующее излучение: взаимодействие с веществом, радиометрия и спектроскопия» относится к вариативной части блока химических дисциплин. Курс рассчитан на аспирантов, выполняющих экспериментальную часть диссертационной работы на кафедре радиохимии. Курс включает 36 аудиторных часов занятий лекционного типа и 8 часов занятий семинарского типа

2. Уровень высшего образования– подготовка научно-педагогических кадров в аспирантуре

3. Направление подготовки: 04.06.01 Химические науки, направленность (Профиль) Радиохимия.

4. Место дисциплины (модуля) в структуре ООП: вариативная часть ООП, блок 1 «Дисциплины».

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

Формируемые компетенции (код компетенции)	Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю)
<i>УК-1</i> способность к критическому анализу и оценке современных научных достижений, генерированию новых идей при решении исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях	<i>В1 (УК-1)</i> Владеть навыками анализа методологических проблем, возникающих при решении исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях
<i>УК-2</i> способность проектировать и осуществлять комплексные исследования, в том числе междисциплинарные, на основе целостного системного научного мировоззрения с использованием знаний в области исто-	<i>З1 (УК-2)</i> Знать методы научно-исследовательской деятельности

рии и философии науки	
ОПК-1 способность самостоятельно осуществлять научно-исследовательскую деятельность в соответствующей профессиональной области с использованием современных методов исследования и информационно-коммуникационных технологий	У1 (ОПК-1) Уметь выбирать и применять в профессиональной деятельности экспериментальные и расчетно-теоретические методы исследования
ПК-12 способность к самостоятельному проведению научно-исследовательской работы и получению научных результатов, удовлетворяющих установленным требованиям к содержанию диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук по направленности (научной специальности) 02.00.14 Радиохимия	З1 (ПК-12) Знать современные теоретические представления и концепции радиохимии У1 (ПК-12) Уметь формулировать актуальные теоретические и экспериментальные проблемы в области современной радиохимии, определять возможные подходы к их решению на основе фундаментальных знаний

Оценочные средства для промежуточной аттестации по дисциплине (модулю) приведены в Приложении 1.

6. Объем дисциплины (модуля) в зачетных единицах с указанием количества академических или астрономических часов, выделенных на контактную работу обучающихся с преподавателем (по видам учебных занятий) и на самостоятельную работу обучающихся:

Объем дисциплины (модуля) составляет 3 зачетных единиц, всего 108 часов, из которых 60 часов составляет контактная работа аспиранта с преподавателем (36 часов занятия лекционного типа, 8 часов занятия семинарского типа (семинары, научно-практические занятия, лабораторные работы и т.п.), 4 часа групповые консультации, 4 часа индивидуальные консультации, 4 часа мероприятия текущего контроля успеваемости, 4 часа - мероприятия промежуточной аттестации), 48 часов составляет самостоятельная работа аспиранта.

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

В специалитете или магистратуре должна быть освоена дисциплина «Основы радиохимии и радиозологии»

8. Образовательные технологии (отметить если применяется электронное обучение и дистанционные технологии).

Используются следующие технологии: проблемно-ориентированные лекции, лекции-демонстрации. Лекции читаются ведущими учеными Московского университета и приглашенными профессорами, специализирующимися в области современной радиохимии

9. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических или астрономических часов и виды учебных занятий

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 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
Ионизирующее излучение.	8	6	-	-	1	1	8	8		
Взаимодействие ионизирующего излучения с веществом.	15	8	4	2		1	15	10		
Ядерные взаимодействия.	10	8			2		10	8		
Детекторы и регистрация ионизирующих излучений.	14	8	4		1	1	14	12		
Спектрометрия излучения.	9	6		2		1	9	10		

Промежуточная аттестация, зачет	56						4			48
Итого	108	36	8	4	4		4	60	48	48

8. Образовательные технологии

Используются следующие технологии: проблемно-ориентированные лекции, лекции-демонстрации, интерактивные лекции. Лекции читаются ведущими учеными Московского университета и приглашенными профессорами – российскими и зарубежными учеными с мировым именем, специализирующимися в области современной радиохимии

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

Аспирантам предоставляется программа курса, план занятий и перечень домашних заданий. По теме каждой лекции указывается материал в источниках из списков основной и вспомогательной литературы. Аспиранты также снабжаются инструкциями по практической работе.

10. Ресурсное обеспечение:

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. 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.
6. 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)
7. 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)
8. Сарычева Л.И. // Введение в физику микромира – физика частиц и ядер. НИИЯФ МГУ, 2008, 221 с. (разделы 1,2)
9. Машкович В.П., Кудрявцев А.В. // Защита от ионизирующих излучений. М., Энергоатомиздат, 1995, 496 с. (раздел 2)
10. Болоздыня А.И., Ободовский И.М. // Детекторы ионизирующих частиц и излучений. М.: изд-во Интеллект, 2012, 208 с. (разделы 4)

11. 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)

Периодическая литература

Журналы «Химия высоких энергий», "Радиохимия".

Интернет-ресурсы

1. Бекман И.Н. Радиоактивность и радиация. Курс лекций. М., 2006 <http://profbecman.narod.ru>
2. База ядерных данных Лундского университета (DecayDataSearch) <http://nucleardata.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

- Описание материально-технической базы.

Лекционные занятия проводятся в специально оборудованных аудиториях.

Вспомогательный материал в виде презентаций доступен аспирантам на сайте <http://chem.msu.ru/>

12. Язык преподавания.

Русский

13. Преподаватель (преподаватели).

Афанасов Михаил Иванович, д.х.н., профессор, miafanasov@yahoo.com

Куликов Леонид Алексеевич, к.х.н., lakulikov@mail.ru

Фонды оценочных средств, необходимые для оценки результатов обучения

1. Планируемые результаты обучения для формирования компетенций п.5 и соответствующие им критерии оценивания приведены в Приложении 1.

2. Примеры контрольных вопросов:

1. Опишите вторичные процессы в электронной оболочке атома после электронного захвата.
2. Дайте определение понятия «коэффициент внутренней конверсии».
3. Как рассчитывается средняя логарифмическая потеря энергии при замедлении быстрых нейтронов.
4. Как формируется аппаратный спектр сцинтилляционного детектора?
5. Сравните относительное энергетическое разрешение ППД и сцинтилляционного детектора
6. Сформулируйте принцип (схему) расчета защиты от внешнего источника со сложным спектром гамма-излучения.

3. Примеры домашних заданий:

1. Выбрать радионуклид и, используя базу ядерных данных, рассчитать полный спектр частиц (фотонов), появляющихся при его распаде.
2. Самостоятельно предложить задачу и рассчитать состав смеси генетически связанных радионуклидов для различных временных интервалов.
3. Самостоятельно предложить задачу и провести расчет аппаратного гамма-спектра с использованием специализированного программного обеспечения.

4. Полный перечень вопросов к зачёту:

1. Ядро, основные характеристики. Модели ядра. Ядерные силы. Энергия связи ядра. Ширина уровня и время жизни ядра в возбужденном состоянии.
2. Ядерные силы. Энергия связи ядра - полная и удельная. Стабильные и радиоактивные изотопы. Формула Вейцеккера, её составляющие. Энергия возбуждения ядра, её дискретность. Изомеры.
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. Связь энергии α -распада с разностью масс и уровнями возбуждения исходного и конечного ядер. Кинетическая энергия α -частиц, энергия отдачи. Спектр α -частиц, тонкая структура спектра. Длиннопробежные частицы.

5. Закономерности β -распада. Конкуренция видов распада. Устойчивость изобар к бета-распаду. Энергетический спектр β -частиц, средняя энергия. Нейтрино и антинейтрино. Аннигиляционное излучение. Вторичные процессы в электронной оболочке атома после электронного захвата.
6. Гамма-излучение. Ширина энергетического уровня и время жизни ядра в возбужденном состоянии. Метастабильное состояние, изомерный переход. Спектр γ -излучения. Внутренняя конверсия и процессы разрядки возбужденной электронной системы.
7. 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.
8. Взаимодействие тяжелых заряженных частиц с веществом. Кинетическая энергия α -частиц и скорость их перемещения в веществе. Основные механизмы передачи (потери) кинетической энергии. Линейная передача энергии. Кривая Брегга. Трек и пробег α -частиц. Ослабление потока α -частиц.
9. Взаимодействие β -излучения с веществом. Соотношение потерь на ионизацию и тормозное излучение (формулы Бете и Гейтлера). Эмпирическая оценка ионизационных и радиационных потерь. Черенковское излучение. Удельная ионизация воздуха. Поглощение энергии и трек β -частиц в воде. Ослабление потока бета-частиц, максимальный пробег.
10. Взаимодействие нейтронов с веществом. Элементарная теория замедления (рассеяния) быстрых нейтронов. Средняя логарифмическая потеря энергии. Пробег (проникающая способность) быстрых нейтронов. Кинетическая энергия ядер отдачи. Ионизация среды. Диффузия тепловых нейтронов, среднее время жизни теплового нейтрона; поглощение нейтронов. Характеристика различных замедлителей. Конструкция защитных экранов при работе с нейтронными источниками.
11. Взаимодействие γ -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.
12. 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.
13. 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.
14. Косвенно ионизирующее излучение. Электронное равновесие. Базовые величины: флюенс, керма, поглощенная доза. Предельно допустимые дозы облучения. Расчет защиты.
15. Основные методы регистрации и детекторы ионизирующих излучений. Абсолютная и регистрируемая активность. Влияние условий измерений на величину регистрируемой радиоактивности. Коэффициент счета ϕ .

16. 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.

17. 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.

18. Классификация и характеристика основных типов сцинтилляторов: спектр испускаемых фотонов, время высвечивания, световой выход, прозрачность. Жидкие сцинтилляторы: растворители, активаторы. Сцинтилляторы для детектирования альфа-, бета, гамма- и нейтронного излучения. Процессы преобразования энергии частиц (фотонов) в сцинтилляционном детекторе, формирование сигнала детектора.

19. 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.

20. Жидкостно-сцинтилляционная спектрометрия. Процессы преобразования энергии ионизирующего излучения в жидких сцинтилляторах. Коктейли для различных видов ЖС измерений. Химическое и оптическое тушение люминесценции. Аппаратура для ЖС измерений. Спектрометрия β -излучения.

21. Черенковские детекторы. Длительность импульсов черенковского излучения. Радиаторы. Детекторы без фокусировки и с фокусировкой. Энергетическое разрешение детекторов с фокусировкой. Эффективность к различным типам излучения.

Примеры ПКЗ.

1. Определите плотность потока частиц (фотонов), испускаемых при распаде ядер X, за экраном заданной толщины.
2. На основании известных (табличных) данных об энергии частиц (фотонов) построить схему распада радионуклида.
3. Рассчитать мощность эквивалентной дозы гамма-излучения точечного источника на внешней (по отношению к источнику) поверхности бетонной стены заданной толщины.

Методические материалы для проведения процедур оценивания результатов обучения

Зачет проводится по билетам; билет включает 2 вопроса. В случае, если на все вопросы были даны удовлетворительные ответы, аспирант получает зачет. Ведомость приема зачета подписывается членами комиссии.

Оценочные средства для промежуточной аттестации по дисциплине «Ионизирующее излучение: взаимодействие с веществом, радиометрия и спектроскопия» на основе карт компетенций выпускников

РЕЗУЛЬТАТ ОБУЧЕНИЯ по дисциплине (модулю)	КРИТЕРИИ ОЦЕНИВАНИЯ РЕЗУЛЬТАТА ОБУЧЕНИЯ по дисциплине (модулю) и ШКАЛА оценивания					ПРОЦЕДУРЫ ОЦЕНИВАНИЯ*
	1	2	3	4	5	
<i>В1 (УК-1) Владеть</i> навыками анализа методологических проблем, возникающих при решении исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях	Отсутствие навыков	Фрагментарное применение навыков анализа методологических проблем, возникающих при решении исследовательских и практических задач	В целом успешное, но не систематическое применение навыков анализа методологических проблем, возникающих при решении исследовательских и практических задач	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы применение навыков анализа методологических проблем, возникающих при решении исследовательских и практических задач	Успешное и систематическое применение навыков анализа методологических проблем, возникающих при решении исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях	ПКЗ на предмет установления последовательности действий при решении поставленной задачи с учетом знаний и навыков, полученных в курсе
<i>З1 (УК-2) Знать</i> методы научно-исследовательской деятельности	Отсутствие знаний	Фрагментарные представления о методах научно-исследовательской деятельности	Неполные представления о методах научно-исследовательской деятельности	Сформированные, но содержащие отдельные пробелы представления о методах научно-исследовательской деятельности	Сформированные систематические представления о методах научно-исследовательской деятельности	Индивидуальное собеседование (экзамен кандидата минимума)

<p><i>У1 (ОПК-1)</i> Уметь выбирать и применять в профессиональной деятельности экспериментальные и расчетно-теоретические методы исследования</p>	Отсутствие умений	Частично освоенное умение работать с ионизирующим излучением	В целом успешное, но не систематическое умение работать с ионизирующим излучением	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы умение работать с ионизирующим излучением	Успешное и систематическое умение работать с ионизирующим излучением	ПКЗ
<p><i>З1 (ПК-12)</i> Знать современные теоретические представления и концепции радиохимии</p>	Отсутствие знаний	Фрагментарные представления о современном состоянии науки в области радиохимии	Неполные представления о современном состоянии науки в области радиохимии	Сформированные, но содержащие отдельные пробелы, представления о современном состоянии науки в области радиохимии	Сформированные систематические представления о современном состоянии науки в области радиохимии	индивидуальное собеседование, письменные ответы на вопросы.
<p><i>У1 (ПК-12)</i> Уметь формулировать актуальные теоретические и экспериментальные проблемы в области современной радиохимии, определять возможные подходы к их</p>	Отсутствие умений	Испытывает затруднения при формулировке основных тенденций развития современной радиохимии	Допускает многочисленные ошибки при выявлении логической взаимосвязи между полученными фундаментальными знаниями в области радиохимии и подходами к решению задач профессиональ-	Допускает отдельные ошибки при выявлении логической взаимосвязи между полученными фундаментальными знаниями в области радиохимии и подходами к решению задач профессиональной деятельности	Умеет установить логическую взаимосвязь между полученными фундаментальными знаниями в области радиохимии и подходами к решению задач профессиональной деятельности	ПКЗ: установление последовательности действий при решении поставленной задачи (описать алгоритм выполнения действия)

решению на основе фундаментальных знаний

ной деятельности