

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования

«Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова»

Химический факультет

УТВЕРЖДАЮ

Декан химического факультета,

Акад. РАН, профессор


/С.Н.Калмыков/
«30» августа 2022 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

Ионизирующее излучение: взаимодействие с веществом, радиометрия и спектроскопия

Ionizing radiation: interaction with matter, radiometry and spectroscopy

Уровень высшего образования:

Программа подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре
Радиохимия (104-01-00-1413-хн)

Москва 2022

Рабочая программа дисциплины разработана в соответствии с Требованиями к основным программам подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре, самостоятельно устанавливаемыми Московским государственным университетом имени М.В. Ломоносова (приказ №1216 от 24 ноября 2021 г.)

1. Наименование дисциплины – Ионизирующее излучение: взаимодействие с веществом, радиометрия и спектроскопия (Ionizing radiation: interaction with matter, radiometry and spectroscopy).

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.

2. Уровень высшего образования – подготовка кадров высшей квалификации

3. Научная специальность: **1.4.13** Радиохимия, область науки: 1. Естественные науки

4. Место дисциплины в структуре Программы аспирантуры: дисциплина по выбору

5. Объем дисциплины (модуля) составляет 2 зачетные единицы, всего 72 часа, из которых 56 часов составляет контактная работа аспиранта с преподавателем (18 часов занятия лекционного типа, 2 часа мероприятия текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации, 36 часов занятий семинарского типа), 16 часов составляет самостоятельная работа учащегося.

6. Входные требования для освоения дисциплины (модуля), предварительные условия. В специалитете или магистратуре должна быть освоена дисциплина

1. «Математический анализ»,
2. «Линейная алгебра»,
3. «Теория вероятностей»,
4. «Информатика»,
5. «Основы радиохимии и радиозологии»

7. 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					Самостоятельная работа обучающегося, часы			
		из них					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.	12	3	6			9	3		3	
Взаимодействие ионизирующего излучения с веществом.	16	4	8			12	4		4	
Ядерные взаимодействия.	12	3	6			9	3		3	
Детекторы и регистрация ионизирующих излучений.	15	4	8			12	3		3	
Спектрометрия излучения.	15	4	8			12	3		3	
Промежуточная аттестация, зачет	2				2					
Итого	72	18	36			2	16		16	

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.: Онтонпринт, 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://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

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).

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

Фонды оценочных средств, необходимые для оценки результатов обучения

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 аппаратурный 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.

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 аппаратурного гамма-спектра с использованием специализированного программного обеспечения.

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, ее 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 альфа-распада с разностью масс и уровнями возбуждения исходного и конечного ядер. Кинетическая энергия альфа-частиц, энергия отдачи. Спектр α -частиц, тонкая структура спектра. Длиннопробежные частицы.
5. Закономерности бета-распада. Конкуренция видов распада. Устойчивость изобар к бета-распаду. Энергетический спектр бета-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 гамма-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 альфа -

частиц и скорость их перемещения в веществе. Основные механизмы передачи (потери) кинетической энергии. Линейная передача энергии. Кривая Брегга. Трек и пробег альфа-частиц. Ослабление потока альфа-частиц.

9. Взаимодействие бета-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 бета- 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 гамма-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.

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

ШКАЛА И КРИТЕРИИ ОЦЕНИВАНИЯ РЕЗУЛЬТАТА ОБУЧЕНИЯ по дисциплине (модулю)				
Оценка Результат	Незачёт (2)	Зачёт (3)	Зачёт (4)	Зачёт (5)
Знания	Отсутствие базовых знаний о современных концепциях и направлениях развития радиохимии	Общие, но неглубокие знания о современных концепциях и направлениях развития радиохимии	Общие, но не структурированные знания о современных концепциях и направлениях развития радиохимии	Сформированные систематические знания о современных концепциях и направлениях развития радиохимии
Умения	Отсутствие умения применять знания о современном состоянии радиохимии для решения научных задач	В целом успешное, но не систематическое умение применять знания о современном состоянии радиохимии для решения научных задач	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы умение применять знания о современном состоянии радиохимии для решения научных задач (допускает неточности непринципиального характера)	Успешное и систематическое умение применять знания о современном состоянии радиохимии для решения научных задач
Навыки (владения)	Отсутствие навыков решения задач современной радиохимии	Наличие навыков решения задач современной радиохимии	В целом, сформированные навыки решения задач современной радиохимии, но не в активной форме	Сформированные навыки решения задач современной радиохимии, применяемые при решении практических задач

Зачет *(или экзамен)* проходит по билетам, каждый из которых включает три теоретических вопроса. Уровень знаний аспиранта *оценивается* по каждому вопросу на «отлично», «хорошо», «удовлетворительно», «неудовлетворительно».

В случае, если на все вопросы был дан ответ, оцененный не ниже, чем «удовлетворительно», аспирант получает общую оценку «зачтено» *(или средний балл в случае экзамена)* и допускается к итоговой аттестации.