

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

«УТВЕРЖДАЮ»

И.о. декана Химического факультета,  
д.х.н., проф.



/С.С. Карлов /

«22» декабря 2023 г.

## **ПРОГРАММА ВСТУПИТЕЛЬНОГО ЭКЗАМЕНА**

**(для осуществления приема на обучение по  
образовательным программам высшего образования -  
программам подготовки научных и научно-педагогических  
кадров в аспирантуре)**

### ***1.4.13 Радиохимия***

Программа утверждена  
Ученым советом факультета  
(протокол № 11 от 21 декабря 2023 г.)

Москва - 2024

# I. ОПИСАНИЕ ПРОГРАММЫ

Настоящая программа вступительного экзамена в аспирантуру по специальности 1.4.13 *Радиохимия (по химическим наукам)* предназначена для осуществления приема на обучение по образовательным программам высшего образования - программам подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре и содержит основные темы и вопросы к экзамену, список основной и дополнительной литературы и критерии оценивания.

## II. ОСНОВНЫЕ РАЗДЕЛЫ И ВОПРОСЫ К ЭКЗАМЕНУ

### 1. Ядерно-физические основы радиохимии

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 Вейцзеккера, её составляющие. Энергия возбуждения ядра, ее дискретность.
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 альфа-частиц.
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.
8. Распад и накопление радионуклидов. Радиоактивные равновесия. Кинетика накопления и распада ядер в рядах генетически связанных нуклидов.
9. 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.
10. Взаимодействие бета-излучения с веществом. Соотношение потерь на ионизацию и тормозное излучение. 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.
11. 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.

12. 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.
13. Ядерные реакции, механизм, типы реакций. Энергетические эффекты ядерных реакций. Энергетический порог реакции. Реакции с участием нейтронов. Зависимость эффективного сечения от энергии нейтронов. Радиационный захват тепловых нейтронов. Реакции вынужденного деления. Энергетический эффект. Цепная ядерная реакция.
14. Ядерные реакции с заряженными частицами. Эффективное сечение, зависимость от типа и энергии частиц. Кулоновский потенциальный барьер. Фотоядерные реакции. Пороговая энергия фотонов.
15. 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.
16. Основные методы регистрации и детекторы ионизирующих излучений. Абсолютная и регистрируемая активность. Влияние условий измерений на величину регистрируемой радиоактивности. Коэффициент регистрации.
17. 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.
18. Гамма-спектрометрия. Устройство и принцип работы гамма-спектрометра. Механизм регистрации излучения полупроводниковыми и сцинтилляционными детекторами. Аппаратурный спектр. Относительное энергетическое разрешение. Калибровка спектрометров по энергии и эффективности.
19. 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.
20. 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.
21. Жидкостно-сцинтилляционная спектрометрия. Процессы преобразования энергии ионизирующего излучения в жидких сцинтилляторах. Химическое и оптическое гашение. Применение для спектрометрии альфа- и бета-излучений.
22. Черенковские детекторы. Длительность импульсов черенковского излучения. Радиаторы. Детекторы без фокусировки и с фокусировкой. Энергетическое разрешение детекторов с фокусировкой. Эффективность к различным типам излучения.

## **2. Биологическое действие ионизирующего излучения и радиационная безопасность**

1. Основная концепция радиобиологии. Этапы биологического действия излучения. Проявление радиационного поражения организма при различных дозах облучения.

2. Детерминированные и стохастические эффекты радиационного поражения.
3. Теория мишени. Летальность, выживаемость, различные виды кривых доза-эффект.
4. Радиационно-химический выход. Действие плотно- и редко-ионизирующих излучений. Продукты радиолиза воды. Радиационные повреждения биологических молекул.
5. Механизмы повреждения клеток при облучении. Радиочувствительность.
6. Радиационные повреждения нуклеотидов, РНК и ДНК. Одно- и двухнитевые разрывы ДНК. Репарационные процессы, роль ДНК-полимераз. Радиационные мутации.
7. Радиопротекторы и радиосенсибилизаторы. Механизмы действия, условия применения. Количественная характеристика известных радиопротекторов.
8. Дозиметрия. Предмет исследования и круг задач. Основные характеристики поля ионизирующего излучения. Средняя энергия ионизации веществ. Теория Брэгга-Грея.
9. Механизмы передачи энергии ионизирующего излучения веществу и формирование дозы облучения.
10. Механизмы передачи энергии фотонного излучения веществу, формирующие дозу. Связь между KERMA и поглощенной дозой для фотонного излучения. Амбиентный эквивалент дозы.
11. Тормозная способность (линейная передача энергии). Связь между тормозной способностью (ЛПЭ) и биологической эффективностью излучений. Связь между поглощенной и эквивалентной дозами для разных типов излучения.
12. Эффективная доза. Взвешивающие коэффициенты для различных тканей. Влияние возраста, пола и других факторов на пожизненный риск заболевания при облучении.
13. Основные типы дозиметров. Способы определения поглощенной дозы.
14. Сопоставление различных типов дозиметров (полупроводниковые, термолюминисцентные, на основе ионизационных камер). Достоинства и недостатки. Области применения.
15. Эффективная доза и эффективная коллективная доза. Способы оценки и нормативная база.
16. Основные принципы радиационной безопасности. Пределы доз для персонала и населения.
17. Радиационный контроль. Объекты радиационного контроля и контролируемые параметры. Надзор за ядерной и радиационной безопасностью. Нормативные документы, регламентирующие работу с источниками ионизирующих излучений и радиоактивными веществами.
18. Радиационная безопасность населения. Естественные и техногенные источники облучения. Вклад в среднюю годовую дозу. Сопоставление с установленными пределами доз.
19. Основные принципы организации работы с источниками ионизирующих излучений. Группы радионуклидов и классы работ. Радиоактивные отходы.
20. Радиационные аварии. Классификация, причины возникновения, фазы протекания. Критерии вмешательства при радиационных авариях.

### **3. Методы разделения, концентрирования и определения радионуклидов**

1. Классификация и общая характеристика методов разделения и концентрирования в радиохимии.
2. Осаждение и со-осаждение. Типы носителей. Типы изоморфного замещения.

Практическое применение методов осаждения/со-осаждения в радиохимической промышленности и радиоэкологии.

3. Жидкостная экстракция. Механизмы экстракции. Основные типы экстрагентов. Эффект высаливания. Многократная экстракция. Способы реализации многократной экстракции. Типы экстракторов. Пурекс-процесс. Применение методов жидкостной экстракции для генераторов радионуклидов.

4. Ионообменное концентрирование. Механизмы ионного обмена. Основные типы сорбентов. Порядок элюирования.

5. Экстракционная хроматография. Механизмы сорбции в экстракционной хроматографии. Основные типы сорбентов. Примеры практического применения для радиохимического анализа и очистки радионуклидов для ядерной медицины.

6. Методы проточного и мембранного фракционирования. Принципы функционирования устройств. Основные представители мембран. Область применения.

7. Принципы регистрации ионизирующего излучения и типы детекторов. Измерение низких уровней радиоактивности. Фон и холостой эксперимент.

8. Масс-спектрометрическое определение радионуклидов. Преимущества и ограничения метода.

9. Трековые детекторы и метод радиографии для определения радионуклидов. Принципы формирования изображений. Типы детекторов. Примеры использования.

#### **4. Производство изотопов и ядерная медицина**

1. Общая характеристика применения радиоактивных излучений в медицине. Ядерная медицина.

2. Общая характеристика методов радионуклидной диагностики. Радионуклиды, используемые для ее проведения (требования к радионуклидам и характерные примеры).

3. Общая характеристика методов радионуклидной терапии. Радионуклиды, используемые для ее проведения (требования к радионуклидам и характерные примеры).

4. Ядерно-физические основы получения радионуклидов в ядерных реакциях с заряженными частицами (кинетика процесса, сечение реакции, влияние на выход энергии частиц, состава и физико-химических свойств мишени). Использование ускорителей для этих целей.

5. Ядерно-физические основы получения радионуклидов в ядерных реакциях с нейтронами (кинетика процесса, сечение реакции, влияние на выход энергии нейтронов, состава и физико-химических свойств мишени). Использование ядерных реакторов для этих целей.

6. Получение  $^{18}\text{F}$ . Используемые ядерные реакции, мишени, химические формы стабилизации  $^{18}\text{F}$ . Радиофармпрепараты на основе  $^{18}\text{F}$ .

7. Получение  $^{11}\text{C}$ . Используемые ядерные реакции, мишени, химические формы стабилизации  $^{11}\text{C}$ . Радиофармпрепараты на основе  $^{11}\text{C}$ .

8. Получение  $^{99}\text{Mo}$  и  $^{131}\text{I}$ . Преимущества и недостатки различных способов. Применение этих радионуклидов в ядерной медицине.

9. Получение и применение радиоактивных изотопов галлия в ядерной медицине. Радиофармпрепараты на основе изотопов галлия.

10. Радионуклидные генераторы. Общая характеристика. Генераторы  $^{90}\text{Y}$  и  $^{188}\text{Re}$ .

11. Получение  $^{99\text{m}}\text{Tc}$  с помощью радионуклидных генераторов. Радиофармацевтическая химия  $^{99\text{m}}\text{Tc}$ .

12. Современные требования к производству радиофармпрепаратов. Автоматизация процессов синтеза. Контроль качества.

### **5. Применение радиоактивных индикаторов**

1. Изотопные методы в научных исследованиях. Метод радиоактивных индикаторов (МРИ): принципы применения, достоинства метода, возможные ограничения.
2. Физико-химические особенности поведения индикаторных количеств веществ.
3. Изотопные эффекты и их использование в научных исследованиях.
4. Меченое соединение как основа МРИ. Радионуклиды для МРИ. Общая характеристика методов получения и выделения.
5. Номенклатура меченых соединений.
6. Общая характеристика методов получения меченых соединений.
7. Изотопный обмен. Его роль в получении меченых соединений и при их применении в МРИ.
8. Причины протекания изотопного обмена. Равнораспределение изотопов. Кинетика гомогенного изотопного обмена. Изотопное разбавление. Степень обмена.
9. Общие принципы химического синтеза меченых соединений.
10. Биосинтез меченых соединений.
11. Ядерно-химические методы синтеза меченых соединений.
12. Специфика метода термической активации трития как способа получения меченых соединений и изучения структуры макромолекул и адсорбционных слоев поверхностно-активных веществ.
13. Радионуклиды биогенных элементов. Общая характеристика свойств, методов регистрации и областей применения.
14. Применение метода радиоактивных индикаторов в аналитической химии.
15. Применение метода радиоактивных индикаторов в физической химии.
16. Применение радиоактивных индикаторов в органической химии и биохимии.
17. Радиометрический анализ. Активационный анализ.

### **6. Химия актинидов**

1. Сходство и различие свойств лантаноидов и актинидов. Актиниды как 5f-элементы. Особенности электронного строения. Лантаноидное и актиноидное сжатие. Причины, следствия.
2. Общая характеристика свойств актинидов в различных степенях окисления. Растворимость, комплексообразование, гидролиз.
3. Природные изотопы тория и области их применения. Важнейшие соединения тория, их получение и области их применения.
4. Кларк урана, изотопный состав, радиоактивность. Применение урана в ядерно-топливном цикле.
5. Степени окисления и ионные формы урана. Окислительно-восстановительные свойства ионов урана. Гомологический ряд оксидов урана и их основные свойства. Схема взаимных превращений оксидов урана. Синтез и свойства уранатов.
6. Роль плутония в ядерно-топливных циклах. Нарботка плутония.

7. Окислительно-восстановительные превращения ионов плутония. Стабилизация плутония в степенях окисления (3+), (4+), (4+) и (6+). Получение и химические свойства диоксида плутония.
8. Получение нептуния. Ионные формы нептуния. Окислительно-восстановительные превращения ионов нептуния. Комплексообразование различных ионов нептуния.

### **7. Современные методы диагностики материалов**

1. Общая классификация методов диагностики материалов.
2. Спектроскопические методы. Явление резонанса. Виды спектров и методы их регистрации.
3. Рентгеновское излучение РФА, РФС, РФЭС, EXAFS, SAXS.
4. Методы исследования, использующие синхротронное излучение.
5. Ядерные методы диагностики материалов.
6. Сверхтонкие взаимодействия. Методы исследования СВЗ.
7. ЯМР, ЯКР. СВЗ в спектрах ЭПР.
8. Мессбауэровская спектроскопия
9. Позитронный распад.
10. Метод угловых  $\gamma$ -корреляций.
11. Электронная микроскопия.
12. Ионно-пучковые методы

### **8. Ядерный топливный цикл**

1. Различные ядерные топливные циклы. Преимущества и недостатки. Уран-плутониевый цикл. Ториевый цикл.
2. Уран в природе, его минералы и месторождения. Способы добычи урановых руд, обогатительные и аффинажные процессы. Конечные продукты урановых горно-обогатительных комбинатов.
3. Технология конверсии в  $UF_6$ . Химические аспекты конверсии.
4. Виды урана по степени его изотопного обогащения. Математические основы обогатительных процессов. Газодиффузионный способ обогащения. Газоцентрифужный способ обогащения. Лазерно-оптические и электромагнитные процессы обогащения. Сравнение методов обогащения.
5. Виды топливных композиций для фабрикация ядерного топлива. Диоксид урана как основная форма топлива реакторов на тепловых нейтронах. Технологические стадии фабрикация топлива от обогащенного  $UF_6$  до керамического  $UO_2$ . Смешанное МОКС и СНУП топливо, особенности производства, преимущества и недостатки. ТВЭЛ и ТВС, их материалы и конструкционные особенности.
6. Физические основы процессов получения энергии при работе реакторной установки. Запаздывающие и мгновенные нейтроны. Сечение реакции деления ядра в зависимости от энергии налетающих нейтронов. Накопление продуктов деления ядра и продуктов захвата нейтронов ядром. Деградация топлива при облучении, радиационные повреждения материала топлива и конструкционных материалов.
7. Классификация реакторов на установки на тепловых и быстрых нейтронах. Типы реакторов на тепловых нейтронах по виду замедлителя, теплоносителя и топлива. Основы конструкции реакторов ВВЭР и РБМК, их отличия. Реакторы на быстрых нейтронах, их особенности, основы конструкции реакторов типа БН и БРЕСТ.

8. Хранение и выдержка ОЯТ, виды хранилищ. Транспортировка ОЯТ, понятие о транспортно-упаковочном контейнере. Классификация способов вскрытия ТВЭЛ. Метод «рубка-выщелачивание», стадия рубки. Стадия растворения ОЯТ, условия процесса. Осветление растворов после растворения. Возможные модификации головной операции переработки ОЯТ.
9. Историческая ретроспектива процессов переработки ОЯТ. Пурекс-процесс. Виды используемых восстановителей. Деграция ТБФ и его регенерация. Поведение Np, Tc, Ru, Zr в Пурекс-процессе. Улучшенный (Advanced) Пурекс-процесс.
10. Переработка рафината Пурекс-процесса, обоснование с точки зрения радиотоксичности. Основные проблемы разделения. Процессы извлечения Cs-Sr, их основы. Извлечение Am-Cm, используемые для этого системы.
11. Классификация РАО, образующихся в ЯТЦ по их агрегатному состоянию и активности. Глубинное захоронение. Принцип многобарьерной защиты окружающей среды при захоронении. Типы вмещающих пород глубинных хранилищ. Материалы контейнеров для захоронения. Виды матриц для иммобилизации ВАО: стекло, цемент, керамические матрицы, их преимущества и недостатки. Способы оценки нестойкости матриц: степень выщелачивания и прочность.
12. Пирохимические технологии переработки ОЯТ. Необходимость их использования и область применения. Газофторидная технология, её физико-химические основы, преимущества и недостатки. Пироэлектрохимическая переработка в расплавах солей, классификация методов. Переработка оксидного топлива с графитовым катодом (DDP-процесс). Переработка металлического топлива с жидкометаллическим катодом. Поведение продуктов деления в этих процессах, очистка электролита.

### **III. РЕФЕРАТ ПО ИЗБРАННОМУ НАПРАВЛЕНИЮ ПОДГОТОВКИ**

Реферат по избранному направлению подготовки представляет собой обзор литературы по теме будущего научного исследования и позволяет понять основные задачи и перспективы развития темы будущей диссертационной работы. Реферат включает титульный лист, содержательную часть, выводы и список литературных источников. Объем реферата 10-15 страниц машинописного текста. В отзыве к реферату предполагаемый научный руководитель дает характеристику работы и рекомендуемую оценку, входящую в общий экзаменационный балл.

### **IV. ПРИМЕР ЭКЗАМЕНАЦИОННОГО БИЛЕТА**

**Вопрос 1.** Распад и накопление радионуклидов. Радиоактивные равновесия. Кинетика накопления и распада ядер в рядах генетически связанных нуклидов.

**Вопрос 2.** Общая характеристика методов радионуклидной терапии. Радионуклиды, используемые для ее проведения (требования к радионуклидам и характерные примеры).

**Вопрос 3.** Содержание реферата по теме диссертационного исследования (с приложением реферата и отзыва на реферат с отметкой предполагаемого научного руководителя).



## V. РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

### 1. ОСНОВНАЯ

1. Р.А. Алиев, С.Н. Калмыков Радиохимия. М.: Лань. 2013, 304 с
2. Г. Чоппин, Я. Ридберг. Ядерная химия. Основы теории и применения. М.: Энергоатомиздат, 1984, 304 с.
3. Сапожников Ю.А., Алиев Р.А., Калмыков С.Н. Радиоактивность окружающей среды. Бином, 2006, 268 с.
4. 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.
5. 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.
6. Ан.Н. Несмеянов. Радиохимия. 2-е изд., перераб. М.: Химия, 1978. 560 с.
7. И. Н. Бекман. Радиохимия. Том 1. Радиоактивность и радиация. Учебное пособие. Издательство ОНТОПРИНТ, 2011 - 398 с.
8. И.Н. Бекман. Радиохимия. Том 2. Радиоактивные элементы. Учебное пособие. Издательство ОНТОПРИНТ, 2014 - 400 с.
9. И.Н. Бекман. Радиохимия. Том 4. Ядерная индустрия и промышленная радиохимия. Учебное пособие. Издательство ОНТОПРИНТ, 2013 - 400 с.
10. Машкович В.П., Кудрявцева А.В. Защита от ионизирующих излучений: справочник. 4-е изд., перераб. и доп. М.: Энергоатомиздат, 1995. 496 с.
11. Иванов В.И. Курс дозиметрии. 4-изд., перераб. и доп. М.: Энергоатомиздат, 1988. 400 с.
12. С.П. Ярмоненко, А.А. Вайнсон. Радиобиология человека и животных. М.: Высшая школа. 2004. 549 с.
13. Кнотько А.В., Пресняков И.А., Третьяков Ю.Д. Химия твердого тела, Москва, изд-во Академия, 2006, 302 с.
14. Л.В. Вилков, Ю.А. Пентин. Физические методы исследования в химии, Москва, Высшая школа, 1987, 368 с.

### 2. ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ

1. В.Д. Нефедов, Е.Н. Текстер, М.А. Торопова. Радиохимия. М.: Высшая школа. 1987, 267 с.
2. Сарычева Л.И. Введение в физику микромира – физика частиц и ядер. НИИЯФ МГУ, 2008, 221 с.
3. Золотов Ю.А. Экстракция в неорганическом анализе. – М.: Издательство МГУ. 1988. 82 с.
4. Золотов Ю.А. Экстракция внутримомплексных соединений. М.: Наука. 1968. 295 с.
5. Ершова О.Д., Ишханов Б.С., Капитонов И.М. Взаимодействие частиц и излучений с веществом. Учебное пособие. М., изд-во МГУ, 2007, 71 с.
6. Болоздыня А.И., Ободовский И.М. Детекторы ионизирующих частиц и излучений. М.: изд-во Интеллект, 2012, 208 с.
7. Чернышева М.Г., Бадун Г.А. Меченые соединения в физико-химических и биохимических исследованиях. Лекции и практикум. М.: изд-во Московского университета, 2018, 56 с.
8. Козлов В.Ф. Справочник по радиационной безопасности. 5-е изд. М.: Энергоатомиздат, 1999. 520 с.

9. Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности (ОСПОРБ – 99/2010)
10. Нормы радиационной безопасности (НРБ – 99/2009)
11. Биохимия. Под ред. Е.С.Северина. М. ГЭОТАР-Медиа. 2004. 784 с.
12. Иванов В.К., Цыб А.Ф. Медицинские радиологические последствия Чернобыля для населения России: оценка радиационных рисков. М.: Медицина, 2002. 392 с.
13. Беспалов В.И. Лекции по радиационной защите. 3-е изд., испр. Томск: Изд-во Томского политехнического университета. 2011. 348 с.
14. Защита от ионизирующих излучений: В 2 т. / Под ред. Н. Г. Гусева. Т. 1: Физические основы защиты от излучений / Н. Г. Гусев, В. А. Климанов, В. П. Машкович, А. П. Суворов. - М. : Энергоатомиздат, 1989. 509 с.
15. Ленинджер А. Основы биохимии. Том 1 В 3-х т. Т.1. Пер. с англ. М.: Мир, 1985. 367 с.
16. Н.В.Тимофеев-Ресовский, А.В.Савич, М.И.Шальнов. Введение в молекулярную радиобиологию. М. Медицина. 1981. 320 с.
17. А. К. Пикаев. Современная радиационная химия: Основные положения. Эксперим. техника и методы Отв. ред. В. И. Спицын. - М.: Наука, 1985. - 374 с.
18. Тальдеши Ю. Радиоаналитическая химия. 1987. 184 с.
19. А. К. Пикаев. Современная радиационная химия. Радиолиз жидкостей и газов. М.: "Наука", 1986. 439 с.
20. Соболев А.В., Пресняков И.А. Магнетизм и основы мессбауэровской спектроскопии, Москва, МГУ, 2011, 44 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>

## **V. КРИТЕРИИ ОЦЕНИВАНИЯ**

Уровень знаний поступающих в аспирантуру МГУ оценивается по десятибалльной шкале. Вступительное испытание считается пройденным, если абитуриент получил семь баллов и выше. При отсутствии поступающего на вступительном экзамене в качестве оценки проставляется неявка. Результаты сдачи вступительных экзаменов сообщаются поступающим в течение трех дней со дня экзамена путем их размещения на сайте и информационном стенде структурного подразделения.

### **Критерии и показатели оценивания ответа на вступительном экзамене по специальности поступающих в аспирантуру Химического факультета МГУ**

Вступительный экзамен по специальности в аспирантуру Химического факультета проводится в устной форме, по экзаменационным билетам, и состоит из 3х вопросов (2х вопросов по различным разделам программы вступительного экзамена и вопроса по реферату).

	0	Нет ответа ни на один из трех заданных вопросов, либо отказ от ответа.
Ми ни мал	1	Отсутствуют ответы на оба заданных теоретических вопроса, существенные недочеты при изложении темы реферата,

		выявленные при его экспертной оценке, либо указанные в отзыве.
	2	Отсутствуют ответы на оба заданных теоретических вопроса, незначительные недочеты при изложении темы реферата, выявленные при его экспертной оценке, либо указанные в отзыве.
Низкий уровень знаний	3	Отсутствует ответ на один из заданных теоретических вопросов, фрагментарный ответ на второй заданный теоретический вопрос, значительные трудности в сопоставлении и анализе сведений из различных разделов программы, за исключением изложения темы реферата (на основе его экспертной оценки, либо отзыва).
	4	Отсутствует ответ на один из заданных теоретических вопросов, неполный ответ на второй заданный теоретический вопрос, значительные трудности в сопоставлении и анализе сведений из различных разделов программы, за исключением изложения темы реферата (на основе его экспертной оценки, либо отзыва).
Средний уровень знаний	5	Отсутствует ответ на один из заданных теоретических вопросов, полный ответ на второй заданный теоретический вопрос, значительные трудности в сопоставлении и анализе сведений из различных разделов программы, за исключением изложения темы реферата (на основе его экспертной оценки, либо отзыва).
	6	Неполные ответы на оба заданных теоретических вопроса, значительные трудности в сопоставлении и анализе сведений из различных разделов программы, за исключением изложения темы реферата (на основе его экспертной оценки, либо отзыва).
Достаточный уровень знаний	7	Полные ответы на оба заданных теоретических вопроса, незначительные трудности в сопоставлении и анализе сведений из различных разделов программы, либо незначительные недочеты при изложении темы реферата (на основе его экспертной оценки, либо отзыва).
	8	Полные ответы на оба заданных теоретических вопроса, незначительные трудности в сопоставлении и анализе сведений из различных разделов программы, либо незначительные недочеты при изложении темы реферата (на основе его экспертной оценки, либо отзыва).
Высокий уровень знаний	9	Исчерпывающие ответы на все заданные вопросы, свободное владение материалом, имеются недочеты при сопоставлении и анализе сведений из различных разделов программы, либо незначительные недочеты при изложении темы реферата (на основе его экспертной оценки, либо отзыва).
	10	Исчерпывающие ответы на все заданные вопросы, свободное владение материалом, грамотное сопоставление и анализ сведений из различных разделов программы, уверенное владение темой реферата (на основе его экспертной оценки, либо отзыва).

## VI. АВТОРЫ

1. д.х.н., профессор Афанасов М.И.
2. к.х.н., доцент Бадун Г.А.
3. к.х.н., доцент Петров В.Г.
4. д.х.н., доцент Чернышева М.Г.