



**Источники ионизирующих излучений**

**Учебная программа учреждения высшего образования  
по учебной дисциплине для специальности:**

1-31 05 03 Химия высоких энергий

Учебная программа составлена на основе ОСВО 1-31 05 03-2021 и учебного плана G 31-1-009/уч. 2021г.

**СОСТАВИТЕЛИ:**

И.М.Кимленко, доцент кафедры радиационной химии и химико-фармацевтических технологий химического факультета, кандидат химических наук, доцент;

С.Л. Лейнова, доцент кафедры радиационной химии и химико-фармацевтических технологий БГУ, кандидат химических наук.

**РЕЦЕНЗЕНТ:**

Т.А.Тимофеева, доцент кафедры экологии Гомельского государственного университета имени Ф. Скорины, кандидат биологических наук, доцент.

Г.А. Ксендзова, ведущий научный сотрудник лаборатории свободно-радикальных процессов учреждения БГУ «НИИ физико-химических проблем», кандидат химических наук.

**РЕКОМЕНДОВАНА К УТВЕРЖДЕНИЮ:**

Кафедрой радиационной химии и химико-фармацевтических технологий химического факультета Белорусского государственного университета (протокол № 13 от 26.06.2023 г. )

Научно-методическим советом Белорусского государственного университета (протокол № 9 от 29.06.2023 г.)

Зав. кафедрой,  
к.х.н., доцент



Р.Л. Свердлов

## ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

Учебная программа по учебной дисциплине «Источники ионизирующих излучений» разработана в соответствии с учебным планом по специальности 1-31 05 03 Химия высоких энергий, с учетом учебных программ по таким дисциплинам как «Дозиметрия и защита от ионизирующих излучений», «Радиометрия», «Ядерный топливный цикл и обращение с радиоактивными отходами» и др.

**Цель преподавания** учебной дисциплины «Источники ионизирующего излучения» — подготовка высококвалифицированных специалистов с глубокими знаниями о назначении и потенциальных возможностях и применении разнообразных ИИИ; о путях поступления радионуклидов в биосферу и особенностях поведения радионуклидов в различных средах; о методах получения, идентификации и использования радионуклидов, а также о способах минимизации радиационных рисков при обращении с ИИИ и в результате нахождения радионуклидов в окружающей среде.

### **Задачи учебной дисциплины:**

— получение представлений о назначении, конструкционных особенностях, потенциальных возможностях аппаратурных ИИИ, применяемых на практике, и специфике обращения с ними;

— систематизация знаний о естественных и техногенных источниках радионуклидов, радиационных и химических свойствах радионуклидов, особенностями их состояния и поведения в биосфере;

— получение представлений о современных методах получения радионуклидов;

— ознакомление с энергетикой ядерных превращений и перспективными способами преобразования ядерной энергии в тепловую и электрическую энергию, применением радионуклидов в военных, производственных, медицинских и исследовательских целях;

— получение углубленных представлений о физико-химических формах нахождения радионуклидов в основных элементах биосферы (почва, природные воды, атмосфера) и способах оценки их подвижности в зависимости от химической природы радионуклидов и особенностей миграционной среды;

— овладение приемами анализа радиоэкологической ситуации в зависимости от содержания и форм нахождения радионуклидов в почве, природных водах и атмосфере;

— развитие умения выбирать наиболее рациональные приемы обращения с радиоактивными веществами для минимизации радиационного риска;

- воспитание чувства ответственности за сохранение радиозэкологической безопасности окружающей среды,
- выработка гражданской активности при решении возникающих проблем при обращении с радионуклидами.

В системе подготовки специалиста с высшим образованием учебная дисциплина относится к модулю «Введение в специальность» компонента УВО.

### **Требования к компетенциям**

Освоение учебной дисциплины «Источники ионизирующих излучений» должно обеспечить формирование следующих компетенций:

#### ***специализированных компетенций:***

СК-1. Понимать суть ядерных превращений и последствия этих процессов, включая природные радиоактивные процессы, законы и энергетику ядерного распада, механизмы ядерных реакций, процессы, протекающие в ядерном реакторе, для дальнейшего более глубокого изучения общих и специализированных курсов.

В результате освоения дисциплины обучаемый должен:

#### **знать:**

- основные типы излучения радионуклидов и источники их поступления в окружающую среду;
- принципы, лежащие в основе создания и использования аппаратурных ИИИ, их назначение и потенциальные возможности применения;
- основные типы ядерных превращений в природе и используемых для получения энергии в мирных и военных целях;
- особенности реакций термоядерного синтеза, условия их протекания и перспективы использования для получения электрической энергии;
- радиационные свойства основных изотопов радиоактивных элементов (радона, урана, плутония, америция и других) и одиночных радионуклидов биогенной природы ( $^3\text{H}$ ,  $^{40}\text{K}$ ,  $^{14}\text{C}$ ), особенности их химического состояния и поведения в различных элементах биосферы;
- принципы, лежащие в основе применения радионуклидов в геохронологии, калий-аргоновый, радиоуглеродный и другие методы датирования природных образований;
- современные методы получения и применение радионуклидов в ядерной энергетике, научных исследованиях, промышленности, сельском

хозяйстве и медицине;

- крупнейшие радиационные аварии, их причины и последствия;
- влияние испытаний ядерного оружия и Чернобыльской катастрофы на радиационную обстановку в Республике Беларусь и других странах;
- основные дозообразующие радионуклиды в регионах, пострадавших от Чернобыльской катастрофы, факторы, влияющие на перераспределение радионуклидов в окружающей среде;
- миграционные свойства радионуклидов цезия, стронция, плутония и америция на территории, загрязненной радионуклидами, и способы их оценки;
- пути поступления радионуклидов в организм человека, их поведение в организме, особенности распределения по органам и биологическим тканям в зависимости от химической природы и формы поступления;
- защитные мероприятия, направленные на снижение внешнего и внутреннего облучения жителей Беларуси в результате присутствия техногенных и/или антропогенных радионуклидов в окружающей среде;

**уметь:**

- выбирать наиболее рациональные приемы обращения с ИИИ для минимизации радиационного риска;
- определять интенсивность миграции радионуклидов и их накопление в отдельных компонентах экосистем;
- оценивать опасность для человека, обусловленную присутствием радионуклидов в окружающей среде;

**владеть:**

- принципами обращения с ИИИ с учетом степени радиационной опасности при работе с ними;
- приемами оценки радиоэкологической ситуации в зависимости от содержания и форм нахождения радионуклидов в почве, природных водах и атмосфере;
- подходами по ограничению поступления радионуклидов в организм человека и минимизации радиационных рисков.

**Структура содержания учебной дисциплины**

Преподавание учебной дисциплины «Источники ионизирующих излучений» предусматривает проведение лекций и семинарских занятий, которые должны быть обеспечены методическими пособиями, техническими средствами обучения, соответствующим лабораторным оборудованием и реактивами.

Дисциплина структурно разделена на девять разделов, которые отражают его внутреннюю логику и включают отдельные темы ядерной физики, радиохимии.

На лекциях рассматриваются теоретические вопросы учебной дисциплины. Семинарские занятия проводятся с целью обобщения и систематизации знаний по учебной дисциплине и освоения методов решения типовых и комбинированных расчетных задач. Самостоятельная работа вне аудитории предполагает использование студентами учебной литературы, выполнение домашних заданий, подготовку к семинарским занятиям.

Список рекомендуемой литературы включает в себя наиболее доступные и написанные на современном уровне учебные пособия, причем по своей значимости для данной учебной дисциплины литература подразделяется на основную и дополнительную. Часть современных источников по отдельным вопросам учебной дисциплины не включена в список дополнительной литературы и рекомендуется студентам непосредственно в ходе занятий. Предусматривается также активное использование студентами сетевых образовательных ресурсов, баз данных, информационно-справочных и поисковых систем.

Для общей оценки усвоения студентами учебного материала рекомендуется использование рейтинговой системы контроля учебных достижений.

В соответствии с учебным планом по специальности 1-31 05 03 Химия высоких энергий программа по учебной дисциплине рассчитана на – 102 часа, из них 54 аудиторных: лекции – 36 часов, семинарские занятия – 10 часов, УСР – 8 часов.

Трудоемкость учебной дисциплины составляет 3 зачетных единиц.

Форма текущей аттестации – экзамен (в устной форме).

# СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

## Введение

Основные понятия и терминология. Природные и техногенные источники ионизирующих излучений. Энергия излучения радионуклидов в сравнении с другими видами энергии. Основные типы ядерных превращений. Ядерные реакции с участием частиц и гамма-квантов. Вопросы радиационной безопасности при работе с источниками излучений.

## Раздел 1. Естественный радиационный фон

Первичные и вторичные космические лучи. Особенности галактических космических лучей (ГКЛ). Влияние магнитных полей Солнечной системы на интенсивность ГКЛ. Космические лучи солнечного происхождения (СКЛ). Интенсивность СКЛ в зависимости от солнечной активности. Особенности вторичного космического излучения.

Магнитное поле гелиосферы как первая линия защиты от ГКЛ. Магнитосфера и радиационные пояса Земли и их роль в ослаблении космической радиации. Ядерные реакции в атмосфере Земли. Космогенные радионуклиды. Защитная роль земной атмосферы от космических лучей. Космическая радиация и эффективная доза облучения жителей Земли.

Земная радиация. Ядерные превращения в литосфере Земли. Происхождение радионуклидов земной литосферы. Терригенные радионуклиды.

## Раздел 2. Техногенные источники ионизирующих излучений

### Тема 2.1. Источники ионизирующих излучений на основе радионуклидов

Использование радионуклидов для создания ИИИ и их применение в технических и научных целях.

Источники  $\alpha$ - и  $\beta$ -излучения. Их типы, особенности конструкции, условия эксплуатации и применение. Источники  $\gamma$ -излучения и их виды. Спектры излучения, возможности, условия эксплуатации, особенности конструкции. Источники рентгеновского излучения и их виды. Основные энергетические характеристики. Рентгеновские и  $\gamma$ -установки, их типы и применение. Источники нейтронов. Плутоний-бериллиевые источники быстрых нейтронов. Полоний-бериллиевые и полоний-борные источники нейтронов. Конструкция, назначение и условия эксплуатации нейтронных источников.

### Тема 2.2. Ускорители заряженных частиц

Ускоритель как источник излучения. Типы ускорителей. Сравнение с источниками излучений на основе радионуклидов. Особенности конструкции и специфика работы ускорителей (линейные, каскадные, импульсные, циклические ускорители). Диапазон энергий получаемых на ускорителе.

Циклическое ускорение. Вид траекторий. Принцип действия и устройство циклотрона. Циклотрон с пространственной вариацией магнитного поля. Большой адронный коллайдер. Принцип действия, устройство и назначение. Защита ускорителей. Тормозное излучение. Фотонейтроны. Биологическая защита.

Использование ускорителей для проведения радиационно-химических процессов. Сшивание полиэтилена, отверждение покрытий, модифицирование текстильных материалов, прививочная полимеризация.

Использование ускорителей при производстве радионуклидов для научных, производственных и медицинских целей.

### **Тема 2.3. Ядерный реактор как источник излучения**

Реакция ядерного деления. Деление тяжелых ядер под действием тепловых нейтронов и нейтронов высоких энергий. Делящиеся радионуклиды и ядерное сырье. Цепной процесс ядерного деления и условия его протекания. Мгновенные и запаздывающие нейтроны и их роль в поддержании цепного процесса деления ядер. Продукты и выход нуклидов в результате ядерного деления. Энергетический выход и практическое значение реакций ядерного деления.

Принцип работы ядерного реактора. Типы реакторов и их основные физические характеристики. Конструктивные особенности ядерных реакторов различного типа. Использование кинетической энергии осколков деления. Использование смешанных потоков нейтронного и  $\gamma$ - излучений. Гамма-излучение продуктов деления «отработанных» тепловыделяющих элементов ядерных реакторов. Радиационный контур ядерного реактора. Исследовательские энергетические и импульсные реакторы. Атомные ледоколы, авианосцы и подводные лодки.

### **Раздел 3. Термоядерный синтез и перспективы его использования**

Термоядерные реакции и условия их протекания. Энергетический выход реакций термоядерного синтеза. Современные процессы нуклеосинтеза в недрах звезд. Термоядерный синтез гелия из водорода и его энергетический выход. Превращение гелия в более тяжелые ядра. Процесс Солпитера, альфа-процесс. Равновесный процесс. Медленный и быстрый нейтронный захват и образование тяжелых нуклидов. Протонный захват и образование «обойденных» нуклидов. Образование дейтерия, лития, бериллия и бора.

Перспективы использования управляемого термоядерного синтеза (УТС). Осуществление реакций термоядерного синтеза в условиях Земли. Управляемый термоядерный синтез на основе дейтерия и трития. Недостатки термоядерного горючего на основе дейтерия и трития. Альтернативные виды горючего для термоядерного синтеза и проблемы, связанные с их



использованием. Радиационная безопасность термоядерных реакторов. Аргументы в пользу использования УТС для производства электроэнергии. Другие возможности использования УТС.

## **Раздел 4. Радиоактивные элементы и особенности их состояния в окружающей среде**

### **Тема 4.1. Уран и трансурановые элементы**

Источники поступления урана в окружающую среду. Природный фон и антропогенное загрязнение ураном. Химические особенности урана, определяющие формы его нахождения в почвах и природных водах. Радиационная и химическая токсичность урана. Биологическая опасность урана.

Источники поступления плутония и америция в окружающую среду. Химические особенности элементов, определяющие формы их нахождения в почвах и природных водах. Трансформация химических форм техногенных радионуклидов плутония и америция после поступления на земную поверхность. Подвижность америция в наземных экосистемах в сравнении с подвижностью плутония. Биологическая опасность радионуклидов плутония и америция.

### **Тема 4.2. Радон**

Природные изотопы радона и их радиационные свойства. Источники поступления радона в окружающую среду. Физические свойства радона. Химические свойства, получение и идентификация радона. Воздействие радона на организм человека. Ограничение на облучения техногенным радоном и дочерними продуктами его распада. Защита от излучения природного радона и его дочерних продуктов в производственных условиях и в быту.

### **Тема 4.3. Одиночные радионуклиды: источники поступления, поведение в биосфере и применение в геохронологии**

Тритий в составе природных изотопов водорода. Радиационные свойства трития. Происхождение природного трития. Термоядерный тритий. Образование трития в производственных процессах. Химические формы и поведение трития в окружающей среде. Фракционирования изотопов водорода в природных условиях. Применение трития. Использование трития в геохронологии подземных вод. Искусственное получение и методы определения трития. Радиологические свойства трития.

Радиоактивный калий в составе природных изотопов калия. Распространенность и нахождение  $^{40}\text{K}$  в окружающей среде. Особенности радиоактивного распада и радиационные свойства радионуклида.  $^{40}\text{K}$  как источник  $^{40}\text{Ar}$  в атмосфере Земли. Роль  $^{40}\text{K}$  в генерации радиогенного тепла.

Калий - аргонный метод датирования природных образований. Радиоактивный углерод в составе природной смеси изотопов углерода. Искусственные изотопы углерода и их радиационные свойства. Образование  $^{14}\text{C}$  и его участие в круговороте углерода на Земле. Геохимический цикл углерода и роль карбонатно-кальциевой системы в этом цикле. Биологический и биотехногенный циклы радиоактивного углерода. Радиоуглеродный метод датирования. Факторы, определяющие вариабельность содержания  $^{14}\text{C}$  в атмосфере Земли. Калибровка метода радиоуглеродного датирования. Использование  $^{14}\text{C}$  в геохронологии подземных вод.

## **Раздел 5. Применение радионуклидов**

Использование радионуклидов для получения ядерной энергии в военных целях. Понятие «ядерное оружие». Процессы, лежащие в основе действия ядерного оружия. Атомные бомбы пушечного и имплозивного типа. Термоядерные и водородные бомбы. Испытательные ядерные полигоны. Испытания ядерного оружия и загрязнение окружающей среды.

Использование радионуклидов для получения ядерной энергии в мирных целях. Управляемые ядерные реакции. Атомные электростанции. Основные виды ядерного топлива. Атомные электростанции в странах Европы и других континентов. Оценка состояния окружающей среды при нормальном режиме работы АЭС.

Применение ядерной энергии на других объектах военного и промышленного назначения. Проекты возможного использования ядерной энергии на самолетах, бомбардировщиках, локомотивах (поездах), атомных модульных модифицированных реакторах, атомных тачках и др.

Применение радионуклидов и ионизирующего излучения в промышленности, сельском хозяйстве, медицине, научных исследованиях. Принципы выбора радионуклидов для использования в различных целях. Примеры использования радионуклидов в промышленности, сельском хозяйстве, медицине и научных исследованиях.

## **Раздел 6. Радиоактивные частицы в окружающей среде**

### **Тема 6.1. Экологические последствия ядерных взрывов и деятельности предприятий ядерного топливного цикла**

Радионуклиды «свежих» и глобальных выпадений после испытаний ядерного оружия. Их перераспределение и воздействие на окружающую среду. Этапы ядерного топливного цикла (ЯТЦ). Оценка возможности загрязнения окружающей среды на каждом этапе ЯТЦ. Основные виды радиоактивных

отходов и обращения с ними. Захоронение отходов и требования к местам захоронения.

### **Тема 6.2. Радиоактивные частицы в атмосфере Земли**

Понятие «радиоактивные частицы». История возникновения проблемы радиоактивных частиц. Радиоактивные частицы при наземных и воздушных ядерных взрывах. Радиоактивные («горячие») частицы, образующиеся в результате аварий на предприятиях ЯТЦ. Основные направления исследования радиоактивных частиц. Способы регистрации радиоактивных частиц. Опасность радиоактивных частиц для человека и пути их поступления в организм.

### **Тема 6.3. Радиационные аварии и их классификация**

Отличие радиационных аварий от других техногенных аварий. Международная шкала ядерных событий (INES). Крупнейшие радиационные аварии в истории развития ядерной энергетики. Загрязнения окружающей среды в результате радиационных аварий. Причины аварий, сопровождавшихся расплавлением активной зоны реактора.

Авария на ЧАЭС и ее последствия для Республики Беларусь. Причины аварии. Формирование радиоактивных выпадений. Радиоэкологическая обстановка на территории Беларуси до и после аварии. Особенности загрязнения радионуклидами различных экосистем. Последствия Чернобыльской катастрофы для Республики Беларусь.

## **Раздел 7. Миграция радионуклидов в окружающей среде**

### **Тема 7.1. Факторы, определяющие состояние и подвижность**

#### **радионуклидов в основных элементах биосферы. Оценка подвижности и биологической доступности радионуклидов в наземных экосистемах**

Почва и ее роль в процессах перераспределения радионуклидов в окружающей среде. Почвенная поровая влага и ее роль в процессах геохимической и биологической миграции радионуклидов. Формы нахождения радионуклидов в почве, определяющие процессы их перераспределения в почвенной среде, поступление в грунтовые и поверхностные воды и растительность наземных экосистем.

Экспериментально определяемые и оценочные показатели миграционной способности радионуклидов. Запас и координата средневзвешенного количества радионуклида в почве. Коэффициент распределения радионуклида между твердой и жидкой фазой почвы. Показатели, характеризующие биологическую доступность радионуклидов: коэффициенты накопления, перехода и биологического поглощения радионуклидов. Другие показатели, используемые для оценки миграционной способности радионуклидов в наземных экосистемах.

## **Тема 7.2. Миграционные свойства радионуклидов цезия, стронция, плутония и америция**

Особенности загрязнения различных экосистем радиоактивными цезием и стронцием. Состояния радиоактивного цезия и радиоактивного стронция в почве. Изменение со временем их подвижности в почвенно-растительном покрове. Формы нахождения радионуклидов цезия и стронция в почвах разного типа и их подвижность в экосистемах. Формы нахождения плутония и америция в почвах с различным составом почвенного комплекса, их подвижность и биологическая доступность растениям.

## **Раздел 8. Воздействие радионуклидов на организм человека**

### **Тема 8.1. Внешнее облучение**

Прямое и косвенное действие ионизирующего излучения на биологические объекты. Действие ионизирующего излучения на биологические молекулы и клетки, на органы, ткани и системы органов человека. Радиочувствительность клеток, органов и биологических тканей. Общая реакция организма человека на внешнее облучение.

### **Тема 8.2. Поступление радионуклидов в организм человека и их накопление биологическими тканями и органами**

Пути поступления радионуклидов в организм человека. Основные параметры, характеризующие опасность радионуклидов при их попадании в организм. Основные дозообразующие радионуклиды чернобыльского происхождения и их поведение в организме человека.

### **Тема 8.3. Последствия воздействия ионизирующего излучения на организм человека**

Внешнее и внутреннее облучение человека за счет естественного радиационного фона, испытаний ядерного оружия и радиационных аварий. Острые и отдаленные последствия облучения. Детерминированные и стохастические эффекты облучения. Линейно-беспороговая гипотеза возникновения радиационных эффектов. Последствия воздействия на организм человека основных дозообразующих радионуклидов.

### **Тема 8.4. Защитные мероприятия, направленные на снижение поступления радионуклидов в организм человека и их воздействия на человека**

Основные принципы регламентирования дозовых нагрузок. Основные и вспомогательные нормативы, регламентирующие облучение жителей Беларуси. Мероприятия по снижению воздействия чернобыльских радионуклидов на население: отселение людей, дезактивация отдельных объектов, соблюдение гигиены, контроль содержания радионуклидов в продуктах питания, меры по уменьшению поступления радионуклидов в

пищевые продукты, лечебные и оздоровительные мероприятия.

## **Раздел 9. Особенности определения содержания радионуклидов в образцах различной природы**

Особенности подготовки образцов различной природы, содержащих радионуклиды, к исследованиям. Методы гомогенизации и отбора представительных проб. Методы концентрирования радионуклидов. Особенности термической обработки твердофазных образцов и концентрирования растворов упариванием.

Роль индикаторов («меток») и носителей радионуклидов в радиохимическом анализе. Принципы выбора индикаторов и носителей радионуклидов для радиохимического анализа образцов. Индикаторы для радиохимического анализа образцов на содержание  $^{90}\text{Sr}$ , альфа-излучающих изотопов плутония,  $^{241}\text{Am}$  чернобыльского происхождения.



	поступления, поведение в биосфере и применение в геохронологии							
<b>5</b>	<b>Применение радионуклидов</b>	2					2	Контрольная работа
<b>6</b>	<b>Радиоактивные частицы в окружающей среде</b>							
6.1	Экологические последствия ядерных взрывов и деятельности предприятий ядерного топливного цикла	2		2				Диалог вопрос-ответ
6.2	Радиоактивные частицы в атмосфере Земли	2						Экспресс-опрос
6.3	Радиационные аварии и их классификация	1						Экспресс-опрос
<b>7</b>	<b>Миграция радионуклидов в окружающей среде</b>							
7.1	Факторы, определяющие состояние и подвижность радионуклидов в основных элементах биосферы. Оценка подвижности и биологической доступности радионуклидов в наземных экосистемах	2		2				Диалог вопрос-ответ
7.2	Миграционные свойства радионуклидов цезия, стронция, плутония и америция	2						Экспресс-опрос
<b>8</b>	<b>Воздействие радионуклидов на организм человека</b>							
8.1	Внешнее облучение	1						Экспресс-опрос
8.2	Поступление радионуклидов в организм человека и их накопление биологическими	2		2				Диалог вопрос-ответ

	тканями и органами							
8.3	Последствия воздействия ионизирующего излучения на организм человека	2						Экспресс-опрос
8.4	Защитные мероприятия, направленные на снижение поступления радионуклидов в организм человека и их воздействия на человека	2						Экспресс-опрос
<b>9</b>	<b>Особенности определения содержания радионуклидов в образцах различной природы</b>	2		2				Диалог вопрос-ответ
	Итого	36		10			8	



## ИНФОРМАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

### Основная литература

1. Бекман, И.Н. Атомная и ядерная физика. Радиоактивность и ионизирующие излучения : учебник для вузов / И. Н. Бекман. – 2-е изд., испр. и доп. – Москва : Юрайт, 2021. – 493 с.
2. Герменчук М. Г. Радиационный мониторинг окружающей среды : учеб. пособие / М. Г. Герменчук. - Мн : Вышэйшая школа, 2021. - 278 с.
3. Гулаков, И. Р. Регистрация ионизирующих излучений : учеб. пособие / И. Р. Гулаков. – Минск : Вышэйшая школа, 2021. - 287 с.
4. Ободовский, И.М. Источники ионизирующих излучений / И. М. Ободовский. – Долгопрудный : Интеллект, 2016. – 142 с.
5. Общая и медицинская радиология: радиационные технологии : учеб. пособие для вузов / [РНИМУ им. Н. И. Пирогова ; сост.: В. Н. Кулаков и др.]; под ред. А. Н. Усенко. – 2-е изд. – Москва : Юрайт, 2023. – 217 с.

### Дополнительная литература

1. Абрамов, А.И. Основы ядерной физики / А. И. Абрамов. – Изд. 2-е. – Москва : URSS : ЛЕНАНД, 2021. – 256 с.
2. Беспалов, В.И. Лекции по радиационной защите. – 6-е изд., доп. – Томск : Изд-во Томского политехнического ун-та, 2020. – 722 с.
3. Боровой, А. А. Чернобыль и Фукусима. Некоторые итоги / А. А. Боровой, Е. П. Велихов. – Москва : Курчатовский институт, 2021. – 75 с.
4. ВВЭР-1200: эволюция классики. Физические основы эксплуатации, системы и элементы, ядерное топливо, безопасность / [авт.: С. А. Андрушечко и др.]. – Москва : Логос, 2020. – 671 с.
5. Зорин, В. М. Атомные электростанции. Вводный курс : учебное пособие / В. М. Зорин. – 3-е изд., стер. – Москва : МЭИ, 2022. – 184 с.
6. Иоффе, Б. Л. История науки: атомные проекты : монография для вузов / Б. Л. Иоффе. - 2-е изд., перераб. и доп. - Москва : Юрайт, 2021. - 191 с.
7. Кудряшов, Ю. Б. Радиационная биофизика (ионизирующие излучения) : учебник для студ. / Ю. Б. Кудряшов ; под ред. В. К. Мазурика, М. Ф. Ломанова. – Москва : Физматлит, 2004. – 443с.
8. Лизунов, А.В. Получение изотопов / А. В. Лизунов, И. Г. Тананаев. – Москва : Издательский дом МЭИ, 2015. – 253 с.
9. Основы радиоэкологии и безопасной жизнедеятельности : пособие для учителей общеобразовательных учреждений / [Г. А. Соколик и др. ; под. общ. ред. Т. Н. Ковалевой, Г. А. Соколик, С. В. Овсянниковой]. – Минск : ИВЦ Минфина, 2019. – 366 с.
10. Ролевич, И.В. Защита населения и объектов от чрезвычайных ситуаций. Радиационная безопасность / И. В. Ролевич, Г. И. Морзак, Е. В. Зеленухо. – Минск : БНТУ, 2020. – 109 с.
11. Радиационная безопасность после техногенных аварий : курс лекций / [И. В. Ролевич и др.]. – Минск : Амалфея, 2013. – 632 с.

12. Радиационная безопасность технологических источников ионизирующего излучения (в вопросах и ответах). – Минск : БНТУ, 2017. – 129 с.
13. Радиационная безопасность медицинских источников ионизирующего излучения (в вопросах и ответах). – Минск : БНТУ, 2017. – 127 с.
14. Радиобиология: медико-экологические проблемы / С. А. Маскевич [и др.] ; под ред. С. А. Маскевича. – Минск : ИВЦ Минфина, 2019. – 255 с.
15. Ташлыков, О. Л. АЭС: продление ресурса и снятие с эксплуатации : учебник для студентов вуза / О. Л. Ташлыков ; [науч. ред. С. Е. Щеклеин]. – Екатеринбург : Изд-во Уральского ун-та, 2020. – 214 с.
16. Тошинский, Г. И. Беседы о ядерной энергетике. Физика реакторов и технологии модульных быстрых реакторов с теплоносителем свинец-висмут (для начинающих и не только) / Г. И. Тошинский. – Москва : Проспект, 2022. – 475 с.
17. Черняев, А.П. Ускорители в современном мире / А. П. Черняев. – Москва : Изд-во Московского ун-та, 2012. – 367 с.

## **Перечень рекомендуемых средств диагностики и методика формирования итоговой отметки**

1. Экспресс-опрос по темам «Введение», «Источники ионизирующих излучений на основе радионуклидов», «Радон», «Одиночные радионуклиды: источники поступления, поведение в биосфере и применение в геохронологии», «Радиоактивные частицы в атмосфере Земли», «Радиационные аварии и их классификация», «Миграционные свойства радионуклидов цезия, стронция, плутония и америция», «Внешнее облучение», «Последствия воздействия ионизирующего излучения на организм человека», «Защитные мероприятия, направленные на снижение поступления радионуклидов в организм человека и их воздействия на человека».

2. Диалог вопрос–ответ по темам «Экологические последствия ядерных взрывов и деятельности предприятий ядерного топливного цикла», «Факторы, определяющие состояние и подвижность радионуклидов в основных элементах биосферы. Оценка подвижности и биологической доступности радионуклидов в наземных экосистемах», «Поступление радионуклидов в организм человека и их накопление биологическими тканями и органами», «Особенности анализа образцов на содержание радионуклидов».

3. Эвристический диалог по теме «Термоядерный синтез и перспективы его использования».

4. Контрольные работы по темам «Естественный радиационный фон», «Ядерный реактор как источник излучения», «Уран и трансурановые элементы», «Применение радионуклидов».

5. Подготовка тематической презентации по теме «Ускорители заряженных частиц».

При оценке в формате экспресс-опроса и диалога вопрос-ответ учитывается вовлеченность студента в беседу, наличие грамотной аргументации, привлечение знаний, полученных в ходе предыдущих лекционных занятий.

При проведении эвристического диалога будет соблюдаться формат "студент-преподаватель", в котором вопрошающая доминанта принадлежит обучающемуся, а не педагогу. Будут созданы условия для горизонтальных коммуникаций студентов. Студентам будет предоставлена возможность самим оценить уровень своих компетенций и наметить самостоятельную образовательную траекторию.

При оценивании тематической презентации обращается внимание на самобытность (оригинальность) созданного образовательного продукта,

содержание и полноту раскрытия темы, структуру и последовательность изложения, источники и их интерпретацию.

При оценивании контрольной работы учитывается полнота и логичность ответа, грамотность и стиль изложения, корректность оформления.

Форма текущей аттестации – экзамен. Итоговая отметка формируется на основе:

1. Правил проведения аттестации студентов (Постановление Министерства образования Республики Беларусь № 53 от 29 мая 2012 г.);
2. Положения о рейтинговой системе оценки знаний обучающихся по учебной дисциплине в БГУ (Приказ ректора БГУ от 31.03.2020 № 189 – ОД)
3. Критериев оценки знаний студентов (письмо Министерства образования от 22.12.2013).

При формировании итоговой отметки используется рейтинговая система оценки знаний студента, дающая возможность проследить и оценить динамику процесса достижения целей обучения. Рейтинговая система предусматривает использование весовых коэффициентов для текущего контроля знаний и текущей аттестации студентов по дисциплине.

Формирование отметки за текущую успеваемость:

- ответы на семинарских занятиях, в том числе участие в эвристическом диалоге – 40 %;
- участие в экспресс-опросах – 10 %.
- выполнение заданий (тематическая презентация, контрольные работы) – 50 %;

Итоговая отметка по дисциплине рассчитывается на основе отметки текущей успеваемости (рейтинговой системы оценки знаний) и экзаменационной отметки с учетом их весовых коэффициентов. Вес отметки по текущей успеваемости составляет 50 %, экзаменационной отметки – 50 %.

### **Примерный перечень заданий**

#### **для управляемой самостоятельной работы**

1. Тема «Естественный радиационный фон», 2 часа.

*Задание 1.* Изучить состав и особенности первичных и вторичных космических лучей.

*Задание 2.* Рассмотреть ядерные реакции в атмосфере и литосфере Земли и проанализировать происхождение радионуклидов.

*Задание 3.* Рассмотреть роль магнитного поля гелиосферы, магнитосферы и радиационных поясов Земли в ослаблении космической

радиации. Проанализировать данные по эффективным дозам облучения жителей различных регионов планеты.

Перечень средств диагностики:

Контрольная работа.

2. Тема «Ядерный реактор как источник излучения», 2 часа.

*Задание 1.* Рассмотреть типы реакторов и их основные физические характеристики.

*Задание 2.* Изучить особенности конструкции современных ядерных реакторов на основе деления тяжелых атомных ядер.

*Задание 3.* Изучить подходы к обеспечению безопасной работы ядерных реакторов.

Перечень средств диагностики:

Контрольная работа.

3. Тема «Уран и трансурановые элементы», 2 часа.

*Задание 1.* Рассмотреть источники поступления урана в окружающую среду и его химические особенности, определяющие формы его нахождения в почвах и природных водах.

*Задание 2.* Рассмотреть источники поступления плутония и америция в окружающую среду и их химические особенности, определяющие формы его нахождения в почвах и природных водах.

*Задание 3.* Проанализировать биологическую опасность радионуклидов.

Перечень средств диагностики:

Контрольная работа.

4. Тема «Применение радионуклидов», 2 часа.

*Задание 1.* Рассмотреть использование радионуклидов для получения ядерной энергии в военных целях и процессы, лежащие в основе действия ядерного оружия. Описать конструкцию атомных бомб пушечного и имплозивного типа.

*Задание 2.* Рассмотреть использование радионуклидов для получения ядерной энергии в мирных целях. Оценить состояние окружающей среды при нормальном режиме работы АЭС.

*Задание 3.* Проанализировать возможность применения радионуклидов и ионизирующего излучения в промышленности, сельском хозяйстве, медицине, научных исследованиях и привести примеры использования.

Перечень средств диагностики:

Контрольная работа.

### **Примерная тематика семинарских занятий**

1. Использование ускорителей при производстве радионуклидов для научных, производственных и медицинских целей.
2. Аргументы в пользу использования УТС для промышленного получения электрической энергии.
3. Загрязнение окружающей среды в результате радиационных аварий.
4. Миграционная способность основных дозообразующих радионуклидов.
5. Мероприятия по снижению воздействия чернобыльских радионуклидов на население и меры по уменьшению поступления радионуклидов в пищевые продукты
6. Особенности подготовки образцов различной природы, содержащих радионуклиды, к исследованиям.

### **Описание инновационных подходов и методов к преподаванию учебной дисциплины**

При организации образовательного процесса используются:

*методы и приемы развития критического мышления*, которые представляют собой систему, формирующую навыки работы с информацией в процессе чтения и письма; понимания информации как отправного, а не конечного пункта критического мышления.

*метод учебной дискуссии*, который предполагает участие студентов в целенаправленном обмене мнениями, идеями для предъявления и/или согласования существующих позиций по определенной проблеме.

### **Методические рекомендации по организации самостоятельной работы обучающихся**

Для организации самостоятельной работы студентов по учебной дисциплине рекомендуется:

1. Разработка и составления банка групповых или индивидуальных заданий; пояснение основных требований к их выполнению;
2. Использование современных информационных технологий: размещение в сетевом доступе комплекса учебных и учебно-методических материалов (программа учебной дисциплины, задания в тестовой форме, темы кратких рефератов, список рекомендуемой литературы и информационных ресурсов и др.).

## Примерный перечень вопросов к экзамену (в устной форме)

1. Природные и техногенные источники ионизирующих излучений. Вопросы радиационной безопасности при работе с ними.
2. Основные типы ядерных превращений в природе. Ядерные превращения в атмосфере и литосфере Земли. Земная радиация. Терригенные радионуклиды.
3. Первичные и вторичные космические лучи, их состав и особенности. Защитная роль магнитных полей гелиосферы, Земли и земной атмосферы в ослаблении космической радиации. Эффективная доза облучения жителей Земли.
4. Источники  $\gamma$ -,  $\beta$ - и  $\alpha$ -излучения, их виды, особенности конструкции, условия эксплуатации и применение.
5. Источники рентгеновского излучения и их виды. Основные энергетические характеристики. Рентгеновские и  $\gamma$ -установки, их типы и применение.
6. Источники нейтронов. Плутоний-бериллиевые источники быстрых нейтронов. Полоний-бериллиевые и полоний-борные источники нейтронов. Конструкция, назначение и условия эксплуатации нейтронных источников.
7. Ускоритель как источник излучения. Типы ускорителей, особенности конструкции и специфика работы. Диапазон энергий, получаемых на ускорителе. Большой адронный коллайдер. Защита ускорителей.
8. Использование ускорителей для проведения радиационно-химических процессов, при производстве радионуклидов для научных, производственных и медицинских целей.
9. Реакция ядерного деления, энергетический выход и практическое значение. Делящиеся радионуклиды и ядерное сырье. Мгновенные и запаздывающие нейтроны и их роль в поддержании цепного процесса деления ядер. Продукты и выход нуклидов в результате ядерного деления.
10. Принцип работы ядерного реактора. Типы реакторов, их основные характеристики и конструктивные особенности.
11. Термоядерные реакции и условия их протекания. Современные процессы нуклеосинтеза в недрах звезд. Термоядерный синтез гелия из водорода.
12. Превращение гелия в более тяжелые ядра. Процесс Солпитера, альфа-процесс. Равновесный процесс. Медленный и быстрый нейтронный захват и образование тяжелых нуклидов. Образование «обойденных» нуклидов. Образование дейтерия, лития, бериллия и бора.
13. Перспективы использования управляемого термоядерного синтеза в условиях Земли. Управляемый термоядерный синтез на основе дейтерия и трития. Недостатки термоядерного дейтерий-тритиевого горючего.

14. Альтернативные виды горючего для термоядерного синтеза и проблемы, связанные с их использованием. Радиационная безопасность термоядерных реакторов. Аргументы в пользу использования УТС для производства электроэнергии и других целей.

15. Источники поступления урана в окружающую среду. Природный фон и антропогенное загрязнение ураном. Химические особенности урана, определяющие формы его нахождения в почвах и природных водах. Радиационная, химическая токсичность и биологическая опасность урана.

16. Источники поступления плутония и америция в окружающую среду. Химические особенности элементов, определяющие формы их нахождения в почвах и природных водах. Биологическая опасность радионуклидов плутония и америция.

17. Природные изотопы радона и их радиационные свойства. Источники поступления радона в окружающую среду и его воздействие на организм человека. Ограничение на облучения техногенным радоном и дочерними продуктами его распада. Защита от излучения в производственных условиях и в быту.

18. Тритий в составе природных изотопов водорода. Радиационные свойства трития. Происхождение природного трития. Термоядерный тритий. Образование трития в производственных процессах. Химические формы и поведение трития в окружающей среде. Применение трития.

19. Радиоактивный калий в составе природных изотопов калия. Особенности радиоактивного распада и радиационные свойства радионуклида.  $^{40}\text{K}$  как источник  $^{40}\text{Ar}$  в атмосфере Земли. Роль  $^{40}\text{K}$  в генерации радиогенного тепла. Калий - аргонный метод датирования природных образований.

20. Радиоактивный углерод в составе природной смеси изотопов углерода. Образование  $^{14}\text{C}$  и его участие в круговороте углерода на Земле. Геохимический, биологический и биотехногенный циклы радиоактивного углерода. Радиоуглеродный метод датирования.

21. Понятие «ядерное оружие». Процессы, лежащие в основе действия ядерного оружия.

22. Основные типы ядерного оружия и принцип их действия. Атомные бомбы пушечного и имплозивного типа. Термоядерное оружие.

23. Испытательные ядерные полигоны за пределами СССР.

24. Испытания ядерного оружия и загрязнение окружающей среды. Испытательные ядерные полигоны на территории СССР.

25. Использование радионуклидов для получения ядерной энергии в мирных целях. Возможность применения ядерной энергии на военных и промышленных объектах.

26. Атомные электростанции в странах Европы и других континентов. Оценка состояния окружающей среды при нормальном режиме работы АЭС.



27. Использование радионуклидов и ионизирующего излучения в промышленности, сельском хозяйстве, медицине, научных исследованиях.

28. Радионуклиды «свежих» и глобальных выпадений после испытаний ядерного оружия. Их перераспределение и воздействие на окружающую среду.

29. Этапы ядерного топливного цикла (ЯТЦ). Оценка возможности загрязнения окружающей среды на каждом этапе ЯТЦ. Захоронение отходов и требования к местам захоронения.

30. Понятие «радиоактивные частицы». История возникновения проблемы радиоактивных частиц. Радиоактивные частицы при наземных и воздушных ядерных взрывах.

31. Радиоактивные («горячие») частицы, образующиеся в результате аварий на предприятиях ЯТЦ. Основные направления исследования радиоактивных частиц. Способы их регистрации.

32. Отличие радиационных аварий от других техногенных аварий. Международная шкала ядерных событий (INES). Примеры крупнейшие радиационные аварии в истории развития ядерной энергетики.

33. Авария на ЧАЭС и ее последствия для Республики Беларусь. Причины аварии. Формирование радиоактивных выпадений. Радиоэкологическая обстановка на территории Беларуси до и после аварии.

34. Особенности загрязнения различных экосистем радиоактивными цезием. Формы нахождения радионуклидов цезия в почвах разного типа.

35. Особенности загрязнения различных экосистем радиоактивными стронцием. Состояния радиоактивного стронция в почве и изменение со временем его подвижности в почвенно-растительном покрове.

36. Показатели, характеризующие биологическую доступность радионуклидов. Формы нахождения плутония и америция в почвах с различным составом почвенного комплекса.

37. Прямое и косвенное действие ионизирующего излучения на биологические объекты (на биологические молекулы и клетки, на органы, ткани и системы органов человека). Пути поступления радионуклидов в организм человека.

38. Основные дозообразующие радионуклиды чернобыльского происхождения и их поведение в организме. Параметры, характеризующие опасность радионуклидов при их попадании в организм.

39. Внешнее и внутреннее облучение человека за счет естественного радиационного фона, испытаний ядерного оружия и радиационных аварий. Детерминированные и стохастические эффекты облучения. Линейно-беспороговая гипотеза возникновения радиационных эффектов.

40. Основные принципы регламентирования дозовых нагрузок. Мероприятия по снижению воздействия радионуклидов на население при внешнем облучении и меры по уменьшению поступления радионуклидов в пищевые продукты.

## ПРОТОКОЛ СОГЛАСОВАНИЯ УЧЕБНОЙ ПРОГРАММЫ УВО

Название учебной дисциплины, с которой требуется согласование	Название кафедры	Предложения об изменениях в содержании учебной программы по изучаемой дисциплине	Решение, принятое кафедрой, разработавшей учебную программу (с указанием даты и номера протокола)
Радиометрия	Кафедра радиационной химии и химико-фармацевтических технологий	нет	Протокол № 13 от 26.06.2023 г.

## ДОПОЛНЕНИЯ И ИЗМЕНЕНИЯ К УЧЕБНОЙ ПРОГРАММЕ УВО

на \_\_\_\_\_ / \_\_\_\_\_ учебный год

№ п/п	Дополнения и изменения	Основание

Учебная программа пересмотрена и одобрена на заседании кафедры радиационной химии и химико-фармацевтических технологий химического факультета Белорусского государственного университета (протокол № \_\_ от \_\_\_\_ г. )

Заведующий кафедрой

кандидат химических наук,

доцент \_\_\_\_\_

(ученая степень, ученое звание) (подпись)

Р.Л. Свердлов

(И.О.Фамилия)

УТВЕРЖДАЮ

Декан факультета

кандидат химических наук,

доцент \_\_\_\_\_

(ученая степень, ученое звание) (подпись)

А.В. Зураев

(И.О.Фамилия)