

Белорусский государственный университет

УТВЕРЖДАЮ
Проректор по учебной работе

 А. Д. Толстик

(подпись)

31.07.2016

(дата утверждения)

Регистрационный № УД-2670/уч.

ИСТОЧНИКИ ИОНИЗИРУЮЩИХ ИЗЛУЧЕНИЙ

Учебная программа для специальности
1-31 05 03 Химия высоких энергий

2016 г.

Учебная программа составлена на основе образовательного стандарта высшего образования ОСВО 1-31 05 03 – 2013 и учебного плана специальности G 31-146/уч «Химия высоких энергий»

СОСТАВИТЕЛИ:

Е. П. Иванов доктор мед наук проф. кафедры радиационной химии и химико-фармацевтических технологий

С.В. Овсянникова, доцент кафедры радиационной химии и химико-фармацевтических технологий, кандидат химических наук

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

РЕКОМЕНДОВАНА К УТВЕРЖДЕНИЮ:

Кафедрой радиационной химии и химико-фармацевтических технологий
Белорусского государственного университета

(протокол № _____ от _____)

Учебно-методической комиссией химического факультета Белорусского
государственного университета

(протокол № _____ от _____)

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

Явление радиоактивного распада во всех случаях сопровождается возникновением излучений, обладающих ионизирующей способностью. Поэтому все радионуклиды являются источниками ионизирующих излучений (ИИИ). Благодаря испусканию ионизирующего излучения радионуклиды нашли широкое применение в различных областях. Однако далеко не все радионуклиды пригодны для практического использования. На основе некоторых радионуклидов созданы аппаратурные источники излучений, которые используются на производстве, в медицине, в научных исследованиях. В дополнение к ним сконструированы разнообразные аппаратурные источники излучений специфического назначения, к которым можно отнести и ускорители.

Объект изучения учебной дисциплины «Источники ионизирующего излучения» — радионуклиды естественного происхождения, а также искусственно созданные радионуклиды и разнообразные аппаратурные источники ионизирующих излучений (ИИИ), используемые человеком. Предмет изучения дисциплины — радиационные свойства радионуклидов и их применение в качестве ИИИ, особенности конструкции и назначение, возможности использования аппаратурных ИИИ, получение и поступление радионуклидов в окружающую среду, закономерности их поведения в различных средах.

Энергия излучений, испускаемых при распаде радионуклидов, намного превышает энергию фотонов видимого света и энергию образования химических связей, что приводит к ионизации любой среды, в которую попадают радионуклиды, включая биологические ткани организмов. Степень воздействия радионуклидов на биологические объекты и окружающую среду зависит от химической природы радионуклидов, энергии излучения, сопровождающего их распад, и особенностей среды, в которую они попадают.

С развитием ядерных технологий увеличиваются масштабы добычи и переработки природных радиоактивных материалов и получения искусственных радионуклидов для нужд ядерной энергетики, медицинских, научных и производственных целей. Это приводит к увеличению поступления радионуклидов в биосферу, что неизбежно влечет за собой локальное и/или глобальное изменение радиационных свойств окружающей среды, увеличивает степень воздействия радиации на живые организмы и среду их обитания.

Аппаратурные источники излучений вносят свой вклад в увеличение дозовой нагрузки на обслуживающий персонал и обследуемых людей.

В этих условиях возникает потребность в углублении знаний студентов химических специальностей о назначении аппаратурных ИИИ и специфике работы с ними, о способах обнаружения радионуклидов, особенностях физико-химических форм их нахождения и поведения в различных средах, о токсичности и безопасных приемах обращения с радионуклидами и другими ИИИ. Из-за ограниченности подобных знаний уже первые исследователи естественных радиоактивных элементов, работавшие без всякой защиты с большими объемами радиоактивных веществ (среди них и Мария Склодовская-Кюри), ощутили на

себе воздействие излучения радионуклидов. Серьезные радиэкологические проблемы возникли после проведения испытаний ядерного оружия в атмосфере. Эти проблемы вновь напомнили о себе после крупных радиационных аварий на предприятиях ядерной энергетики (Чернобыль и Фукусима) и хранилищах ядерных отходов (Кыштым на Урале).

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, широко 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 радиэкологической 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 радиэкологической безопасности окружающей среды,

— выработка гражданской активности при решении возникающих проблем при обращении с радионуклидами.

Материал, включенный в программу курса, дает представление об особенностях ИИИ различного назначения, о свойствах и специфике их применения, о состоянии и поведении радионуклидов в различных средах с позиции радиохимии в ее современном состоянии с учетом знаний и представлений различных химических дисциплин и смежных областей знаний (геохимии, биоло-

гии, экологии и др.). Особое внимание уделяется обучению обращению с радиоактивными веществами, развитию умения объективно оценивать ситуацию, обусловленную присутствием источников ионизирующего излучения в окружающей среде, выбору оптимальных способов снижения воздействия радионуклидов на человека и окружающую среду. Важная роль в преподавании дисциплины отводится формированию единого химического образовательного пространства, составляющего основу фундаментальной подготовки специалистов-химиков, соответствующих современным запросам государства, конкурентоспособных на рынке труда.

В результате изучения дисциплины студенты

должны знать:

- что такое природные, техногенные, антропогенные радионуклиды, источники их поступления в окружающую среду;
- основные типы излучения радионуклидов;
- принципы, лежащие в основе создания и использования аппаратурных ИИИ;
- назначение и потенциальные возможности применения аппаратурных ИИИ;
- 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 (^3H , ^{40}K , ^{14}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;
- радиационные аварии и их классификация;
- 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;

понимать:

- виды и потенциальные возможности ИИИ различного назначения;
- особенности обращения с ИИИ и степень радиационной опасности при работе с ними;
- степень радиационной и химической опасности для человека и биогеоценозов, обусловленную присутствием тех или иных радионуклидов в окружающей среде;
- как протекают процессы перераспределения радионуклидов в различных элементах биосферы;
- какие факторы определяют интенсивность миграции радионуклидов и их накопление в отдельных компонентах экосистем;
- как оценить опасность для человека, обусловленную присутствием радионуклидов в окружающей среде;
- как можно ограничить поступление радионуклидов в организм человека и минимизировать радиационные риски;

Формируемые компетенции

Специалист должен:

АК-1. Владеть основными понятиями радиационной химии, радиохимии и радиоэкологии и оперировать ими;

АК-4. Уметь находить и пользоваться справочной информацией о радиационных и химических свойствах радионуклидов, методах их получения и идентификации;

АК-6. Владеть информацией об особенностях, назначении и потенциальных возможностях аппаратурных ИИИ;

АК-7. Обладать приемами оценки изменения во времени активности радионуклидных ИИИ;

АК-8. Уметь оценивать возможности методов и измерительного оборудования для определения содержания конкретных радионуклидов в образцах различной природы;

ПК-4. Подбирать подходящие индикаторы и носители радионуклидов для радиохимического анализа образцов на содержание радионуклидов;

ПК-5. Формировать и решать задачи, возникающие в процессе производственно-технологической деятельности.

ПК-14. Контролировать соблюдение норм охраны труда, техники безопасности и пожарной безопасности.

Программа разработана специалистами в области радиохимии, физической химии, радиоэкологии и радиационной медицины. Это позволяет реализовать на практике взаимосвязь между различными научными дисциплинами, по-

могает готовить специалистов, способных комплексно использовать знания различных областей науки, разрабатывать инновационные подходы при решении конкретных практических задач.

Курс преподается в VII семестре в объеме 36 часов, в том числе:

22 часа – лекции,

10 часов – семинары и практические занятия,

4 часа – УСР,

и в VIII семестре в объеме 56 часов, в том числе:

36 часов – лекции,

10 часов – семинары,

6 часов – УСР.

Форма контроля знаний – зачет.

Занятия сопровождаются демонстрацией иллюстративных материалов (таблицы, рисунки, диаграммы, плакаты, схемы реакций, микрофотографии и др.). Для закрепления знаний студентам предлагаются вопросы и задачи по материалам лекций.

СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОГО МАТЕРИАЛА

Введение

Основные понятия и терминология. Природные и техногенные источники ионизирующих излучений. Энергия излучения радионуклидов в сравнении с другими видами энергии. Эффекты ускоренных электронов, протонов и ионов, быстрых и медленных нейтронов, альфа- и бета-частиц, позитронов, мюонов, пионов, атомов и молекул при сверхзвуковых скоростях и др. Объекты изучения и рассматриваемые вопросы.

Раздел 1. Источники ионизирующих излучений на основе радионуклидов

Тема 1.1. Источники α - и β -излучения

Источники α - излучения. Их типы, особенности конструкции и применение. Источники β -излучения. Ампулированные источники β -излучения и их виды. Источники β -излучения для радиационно-химических установок и их виды. Основные характеристики, особенности устройства и условия эксплуатации β -источников.

Тема 1.2. Источники рентгеновского и γ -излучения.

Рентгеновские и γ -установки и их применение

Источники γ -излучения и их виды. Спектры излучения, возможности и допустимость применения, условия эксплуатации, особенности конструкции. Источники рентгеновского излучения и их виды. Основные энергетические характеристики. Рентгеновские и γ - установки, их типы и применение. Требования, предъявляемые к γ - установкам. Основные принципы проектирования. Расчет полей доз. Конфигурация облучателей. Самопоглощение в источниках излучения. Общая и удельная активность облучателя. Случай «прозрачного облучателя», «прозрачной» среды, поглощающего облучателя, поглощающей среды. Общий ход расчета полей доз γ - облучателей. Энергетический и материальный КПД радиационно-химических аппаратов.

Тема 1.3. Источники нейтронов

Источники нейтронов. Плутоний-бериллиевые источники быстрых нейтронов. Полоний-бериллиевые и полоний-борные источники нейтронов. Конструкция, назначение и условия эксплуатации нейтронных источников.

Тема 1.4. Образцовые и контрольные ИИИ

Типы образцовых и контрольных ИИИ. Их назначение и использование.

Раздел 2. Ускорители заряженных частиц

Тема 2.1. Выбор энергии и специфика работы ускорителей.

Линейные ускорители. Электронная стационарная установка (ЭСУ) под давлением. Каскадные генераторы

Ускоритель как источник излучения. Типы ускорителей, применяемые в радиационной химии. Сравнение с источниками излучений на основе радионуклидов. Классификация ускорителей. Линейные ускорители. Электростатический ускоритель Ван де Граафа. Устройство и особенности работы. ЭСУ под давлением. ЭСУ с перезарядкой. Диапазон энергий и особенности устройства ЭСУ с пе-

резарядкой. Каскадный ускоритель. Принцип действия схемы удвоения напряжения. Симметричная схема каскадного ускорителя. Импульсный ускоритель. Особенности работы импульсного ускорителя. Инжекция электронов. Линейный резонансный ускоритель с трубками дрейфа. Линейный индукционный ускоритель (ЛИУ). Принцип построения ускоряющей системы. Основные параметры ЛИУ. Линейный резонансный ускоритель электронов с бегущей волной. Устройство волновода. Диапазон энергий получаемых на ускорителе и особенности конструкций.

Тема 2.2. Циклические ускорители с постоянным во времени магнитным полем

Принцип действия циклического ускорения. Вид траекторий. Резонансное ускорение. Энергия частиц. Орбитальная устойчивость. Слабая и сильная фокусировка частиц. Особенности расположения и вид сечения секторов электромагнита в ускорителях с сильной фокусировкой. Преимущества сильной фокусировки. *Принцип действия и устройство циклотрона*. Выводное устройство циклотрона. Энергия ускоренных ионов. Магнитная жесткость. Условия резонанса. Циклотрон с пространственной вариацией магнитного поля. Особенности устройства. Виды полюсных накладок. Характер изменения магнитной индукции изохронного циклотрона. Принцип автофазировки. Способы сохранения условий резонансного ускорения в циклотроне. *Фазотрон* (синхроциклотрон). Ускоряющая система фазотрона. Особенности конструкции, преимущества. *Микротрон*. Принцип действия. Схема ускорения электронов. Режим кратного ускорения. Условия резонансного ускорения. Циклотронное поле.

Тема 2.3. Циклические ускорители с изменяющимся во времени магнитным полем. Импульсные и сверхпроводящие ускорители

Бетатрон. Принцип действия и устройство бетатрона. Предельная энергия электронов. *Синхротрон*. Разновидности синхротронов. Строение магнитопровода. Особенности процесса ускорения электронов в синхротроне. *Синхрофазотрон*. Конструкция ускоряющих устройств синхрофазотрона. Объемные резонаторы, дрейфовые трубки. Характеристики синхрофазотрона. *Большой адронный коллайдер*. Принцип действия, устройство и назначение. Защита ускорителей. Тормозное излучение. Фотонейтроны. Биологическая защита.

Тема 2.4. Использование ускорителей

Использование ускорителей для проведения радиационно-химических процессов. Радиационно-химические процессы в тонких слоях. Сшивание полиэтилена. Отверждение покрытий. Модифицирование текстильных материалов. Прививочная полимеризация. Радиационно-химические процессы в толстых слоях.

Раздел 3. Ядерный реактор как источник излучения

Тема 3.1. Общие принципы работы и классификация реакторов

Принцип работы ядерного реактора. Типы реакторов и их основные физические характеристики. Использование кинетической энергии осколков деления. Использование смешанных потоков нейтронного и γ -излучений. Гамма-излучение продуктов деления «отработанных» тепловыделяющих элементов ядерных реакторов. Радиационный контур ядерного реактора. Основные расчеты

контуров с различными активированными веществами. Циркуляция ТВЭЛов как частный случай радиационного контура.

Тема 3.2. Использование излучений ядерного реактора в радиационной химии

Специализированные ядерные реакторы для проведения радиационно-химических процессов. Использование кинетической энергии осколков деления, нейтронного и γ - излучений для реализации радиационно-химических процессов. Конвектирование нейтронных потоков в другие виды ионизирующих излучений. Хемоядерное топливо. Петлевые установки. Хемоядерные реакторы. Примеры расчета радиационной мощности в ядерно-химическом реакторе. Вопросы радиационной безопасности при использовании источников ядерных излучений в радиационной химии.

Тема 3.3. Конструктивные особенности российских и зарубежных ядерных реакторов

Особенности конструкции российских и зарубежных реакторов на основе ядерного деления и их сравнительная характеристика.

Раздел 4. Производство и специфика применения ИИИ

Тема 4.1. Производство ИИИ

Производство радионуклидов для научных, производственных и медицинских целей. Изготовление ускорителей различного назначения.

Тема 4.2. Специфика применения ИИИ

Особенности использования излучения радионуклидов и ускорителей в различных областях промышленности, науки и медицины.

Раздел 5. Космическая радиация и облучение жителей Земли.

Защита биосферы от космической радиации

Тема 5.1. Первичные и вторичные космические лучи

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.

Тема 5.2. Защита биосферы от космической радиации

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

Раздел 6. Ядерные превращения и ядерные реакции

Тема 6.1. Основные типы ядерных превращений

Альфа-распад. Постоянные распада и энергии альфа-частиц. Бета-распад и его виды. Гамма-переходы и их виды. Ядерные реакции с участием частиц и гамма-квантов. Входной и выходной каналы ядерной реакции. Классификация ядерных реакций по типу частиц в выходном канале. Реакции радиационного захвата. Классификация ядерных реакций по типу частиц во входном канале.

Тема 6.2. Взаимодействие космических лучей с земной атмосферой.

Ядерные превращения в литосфере Земли

Ядерные реакции в атмосфере Земли. Взаимодействие нейтронов с ядрами атомов атмосферы. Космогенные радионуклиды. Происхождение радионуклидов земной литосферы. Ядерные превращения в литосфере Земли. Классификация радионуклидов в зависимости атомной массы. Терригенные радионуклиды.

Тема 6.3. Реакции ядерного деления и термоядерного синтеза

Пороговая энергия и параметр деления атомных ядер. Спонтанное и вынужденное деление. 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. Термоядерные реакции и условия их протекания. Энергетический выход реакций термоядерного синтеза.

Раздел 7. Термоядерный синтез и перспективы его использования

Тема 7.1. Термоядерные реакции и образование химических элементов

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.

Тема 7.2. 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 8. Радиоактивные элементы.

Особенности состояния в окружающей среде

Тема 8.1. Уран

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.

Тема 8.2. Плутоний и америций

Источники поступления плутония и америция в окружающую среду. Химические особенности элементов, определяющие формы их нахождения в почвах и природных водах. Трансформация химических форм техногенных радионукли-

дов 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 8.3. 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.

Раздел 9. Одиночные радионуклиды. Источники их поступления и поведение в биосфере. Применение радионуклидов в геохронологии

Тема 9.1. Тритий

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.

Тема 9.2. Радиоактивный калий (^{40}K).

Калий – аргоновый метод датирования

Радиоактивный калий в составе природных изотопов калия. Распространенность и нахождение ^{40}K в окружающей среде. Особенности радиоактивного распада и радиационные свойства радионуклида. ^{40}K как источник ^{40}Ar в атмосфере Земли. Роль ^{40}K в генерации радиогенного тепла. Калий - аргоновый метод датирования природных образований.

Тема 9.3. Радиоактивный углерод. Радиоуглеродный метод датирования

Радиоактивный углерод в составе природной смеси изотопов углерода. Искусственные изотопы углерода и их радиационные свойства. Образование ^{14}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}C в атмосфере Земли. Калибровка метода радиоуглеродного датирования. Использование ^{14}C в геохронологии подземных вод.

Раздел 10. Применение радионуклидов

Тема 10.1. Использование радионуклидов для получения ядерной энергии в военных целях

Понятие «ядерное оружие». Процессы, лежащие в основе действия ядерного оружия. Основные типы ядерного оружия и принцип их действия. Испытательные ядерные полигоны. Испытания ядерного оружия и загрязнения окружающей среды радионуклидами.

Тема 10.2. 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.

Тема 10.3. Применение радионуклидов в медицине, промышленности, сельском хозяйстве, научных исследованиях

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

Раздел 11. Радиоактивные частицы в окружающей среде

Тема 11.1. 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 11.2. 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. Опасность радиоактивных частиц для человека.

Тема 11.3. 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.

Тема 11.4. Авария на ЧАЭС и ее последствия для Республики Беларусь

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

Раздел 12. Миграция радионуклидов в окружающей среде

Тема 12.1. Факторы, определяющие состояние и подвижность радионуклидов в основных элементах биосферы

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, поступ-

ление в грунтовые и поверхностные воды и растительность наземных экосистем.

Тема 12.2. Оценка подвижности и биологической доступности радионуклидов в наземных экосистемах

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 12.3. Миграционные свойства радионуклидов цезия, стронция, плутония и америция

Особенности загрязнения различных экосистем радиоактивным цезием. Состояния радиоактивного цезия в почве. Изменение со временем его подвижности в почвенно-растительном покрове. Формы нахождения радиоактивного стронция в почве и его подвижность в экосистемах. Формы нахождения радионуклидов плутония и америция в почве, их подвижность и биологическая доступность растениям.

Раздел 13. Воздействие радионуклидов на организм человека

Тема 13.1. 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 13.2. 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 13.3. 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 13.4. Защитные мероприятия, направленные на снижение

поступления радионуклидов в организм 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 14. Особенности анализа образцов на содержание радионуклидов

Тема 14.1. Особенности подготовки образцов различной природы к исследованию

Методы гомогенизации и отбора представительных проб. Методы концентрирования радионуклидов. Особенности термической обработки твердофазных образцов и концентрирования растворов упариванием.

Тема 14.2. Индикаторы и носители радионуклидов в радиохимическом анализе

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}Sr , альфа-излучающих изотопов плутония, ^{241}Am чернобыльского происхождения.

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКАЯ КАРТА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ
(Примерный тематический план)

Номер раздела, темы	Название раздела, темы	Количество аудиторных часов					Количество часов УСП	Материальное обеспечение	Форма контроля знаний
		Лекции	Практические занятия	Семинарские занятия	Лабораторные занятия	Иное			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1.	Введение	1							
2.	Раздел 1. Источники ионизирующих излучений на основе радионуклидов Тема 1.1. Источники α - и β -излучения. Тема 1.2. Источники рентгеновского и γ -излучения. Рентгеновские и γ -установки и их применение. Тема 1.3. Источники нейтронов. Тема 1.4. Образцовые и контрольные ИИИ.	1 2 1 1		2			1	Электронная презентация Аудиофильмы	Контрольная работа

3.	<p>Раздел 2. Ускорители заряженных частиц</p> <p>Тема 2.1. Выбор энергии и специфика работы ускорителей. Линейные ускорители. Электронная стационарная установка (ЭСУ) под давлением. Каскадные генераторы.</p> <p>Тема 2.2. Циклические ускорители с постоянным во времени магнитным полем.</p> <p>Тема 2.3 Циклические ускорители с изменяющимся во времени магнитным полем. Импульсные и сверхпроводящие ускорители.</p> <p>Тема 2.4. Использование ускорителей.</p>	2 2 2 2	1 1 1 1				1	Электронная презентация схемы, таблицы	Контрольная работа Рефераты (1, 2)
4.	<p>Раздел 3. Ядерный реактор как источник излучения</p> <p>Тема 3.1. Общие принципы работы и классификация реакторов.</p> <p>Тема 3.2. Использование излучений ядерного реактора в радиационной химии.</p> <p>Тема 3.3. Конструктивные особенности российских и зарубежных реакторов.</p>	1 1 2	1 1				1	Электронная презентация схемы, таблицы	Контрольная работа Рефераты (16, 17)
5.	<p>Раздел 4. Производство и специфика применения ИИИ</p> <p>Тема 4.1. Производство ИИИ.</p> <p>Тема 4.2. Специфика применения ИИИ.</p>	2 2	1 1				1	Электронная презентация схемы, таблицы	Контрольная работа
6.	<p>Раздел 5. Космическая радиация и облучение жителей Земли. Защита биосферы от космической радиации</p> <p>Тема 5.1. Первичные и вторичные космические лучи.</p> <p>Тема 5.2. Защита биосферы от космической радиации.</p>	2 2					0,5	Рисунки, таблицы	Контрольная работа Реферат (3)

7.	Раздел 6. Ядерные превращения и ядерные реакции Тема 6.1. Основные типы ядерных превращений. Тема 6.2. Взаимодействие космических лучей с земной атмосферой. Ядерные превращения в литосфере Земли. Тема 6.3. Реакции ядерного деления и термоядерного синтеза.	2 2 2					0,5	Электронный вариант лекций, схемы, таблицы	
8.	Раздел 7. Термоядерный синтез и перспективы его использования Тема 7.1. Термоядерные реакции и образование химических элементов. Тема 7.2. Перспективы использования управляемого термоядерного синтеза (УТС).	2 2					1	Схемы ядерных реакций, таблицы	Контрольная работа Реферат (4)
9.	Раздел 8. Радиоактивные элементы. Особенности состояния в окружающей среде Тема 8.1. Уран. Тема 8.2. Плутоний и америций Тема 8.3. Радон.	2 2					1	Электронный вариант лекций, плакаты, схемы	Контрольная работа Рефераты (5–10)
10.	Раздел 9. Одиночные радионуклиды: источники их поступления и поведение в биосфере. Применение радионуклидов в геохронологии. Тема 9.1. Тритий. Тема 9.2. Радиоактивный калий (^{40}K). Калий – аргоновый метод датирования. Тема 9.3. Радиоактивный углерод. Радиоуглеродный метод датирования.							Схемы, рисунки, таблицы	Рефераты (11–15) Коллоквиум
11.	Раздел 10. Применение радионуклидов Тема 10.1. Использование радионуклидов для получения ядерной энергии в военных целях.	2						Схемы, рисунки, таблицы	Рефераты (4, 6, 11,13-15) Коллоквиум

Тема 10.2. Использование радионуклидов для получения ядерной энергии в мирных целях.	2							
Тема 10.3. Применение радионуклидов в промышленности, сельском хозяйстве, медицине, научных исследованиях.	2							

12.	Раздел 11. Радиоактивные частицы в окружающей среде Тема 11.1. Экологические последствия ядерных взрывов и деятельности предприятий ядерного топливного цикла. Тема 11.2. Радиоактивные частицы в атмосфере Земли. Тема 11.3. Радиационные аварии и их классификация. Тема 11.4. Авария на ЧАЭС и ее последствия для Республики Беларусь.	2 2 2 2					Микрофотографии, радиографические снимки	Коллоквиум
13.	Раздел 12. Миграция радионуклидов в окружающей среде Тема 12.1. Факторы, определяющие состояние и подвижность радионуклидов в основных элементах биосферы. Тема 12.2. Оценка подвижности и биологической доступности радионуклидов в наземных экосистемах. Тема 12.3. Миграционные свойства радионуклидов цезия, стронция, плутония и америция.		0,5 0,5 1			1	Схемы, рисунки, диаграммы	Рефераты (18–20) Контрольная работа
14.	Раздел 13. Воздействие радионуклидов на организм человека Тема 13.1. Внешнее облучение. Тема 13.2. Поступление радионуклидов в организм человека и их накопление биологическими тканями и органами. Тема 13.3. Последствия воздействия ионизирующего излу-	2 2					Электронный вариант лекции	Контрольная работа

	чения на организм человека. Тема 13.4. Защитные мероприятия, направленные на снижение поступления в организм и воздействия радионуклидов на человека.			1					
				2			1		

15.	Раздел 14. Особенности анализа образцов на содержание радионуклидов. Тема 14.1. Особенности подготовки образцов различной природы к исследованию. Тема 14.2. Индикаторы и носители радионуклидов в радиохимическом анализе.			0,5			1	Демонстрация измерительного оборудования, измерительных мишеней для бета-радиометрии и альфа-спектрометрии, образцовых источников излучения	Контрольная работа
				0,5					

ИНФОРМАЦИОННАЯ ЧАСТЬ РЕКОМЕНДУЕМАЯ УЧЕБНАЯ ЛИТЕРАТУРА

Основная:

1. Баранов, В. Ю. Изотопы: свойства, получение, применение / В. Ю. Баранов. Т. 1, 2. – М.: 2005.
2. Брегер, А. Х. Основы радиационно-химического аппаратостроения / А. Х. Брегер. – М.: Атомиздат, 1967.
3. Владимиров, В. И. Физика ядерных реакторов: Практические задачи по их эксплуатации / В. И. Владимиров. – М.: Книжный дом «Либроком», 2009. – 480 с.
4. Жуковский, М. В. Радон: Измерение, дозы, оценка риска / М. В. Жуковский, И. В. Яρμοшенко. – Екатеринбург: УрО РАН ИПЭ, 1997. – 237 с.
5. Ишханов, Б.С. Частицы и атомные ядра / Б. С. Ишханов, И. М. Капитонов, Н. П. Юдин. – М.: ЛКИ, 2007. – 584 с.
6. Кувшинов В. И. Энергия атома – энергия современности / И. В. Кувшинов В. Т. Казазян, Д. М. Максимович. – Мн.: Беларусь, 2012. –136 с.
7. Кутьков, В.А., Поляков Б.В., Черкашин В.А. Радиационная безопасность и радиационный контроль: Учебное пособие / В. А. Кутьков, Б. В. Поляков, В. А. Черкашин, под общей ред. В. А. Кутькова. – Обнинск: НОУ «ЦИПК», 2008. – Т. 1 – 244 с. – Т. 2. – 354 с.
8. Лебедев, В. М. Ядерный топливный цикл. Технология, безопасность, экономика / В. М. Лебедев. – М.: Энергоатомиздат, 2005. – 206 с.
9. Линейные ускорители ионов. – М.: Атомиздат, 1963.
10. Основы радиоэкологии и безопасной жизнедеятельности: Пособие для учителей общеобразовательных учреждений / Г. А. Соколик [и др.], под ред. Г. А. Соколик, С. В. Овсянниковой, Т. Н. Ковалевой. Мн.: Тонпик, 2008. – 368 с.
11. Сапожников, Ю. А. Радиоактивность окружающей среды: Теория и практика: Учебное пособие для вузов. (Методы в химии) / Ю. А. Сапожников, Р. А. Алиев, С. Н. Калмыков. – М.: Бинوم. Лаборатория знаний, 2006. – 289 с.
12. Трансурановые элементы в окружающей среде / У. С. Хэнсон [и др.], под ред. У. С. Хэнсона. – М.: Энергоатомиздат, 1985. – 345 с.
13. Ушаков, К. З. Безопасность жизнедеятельности / К. З. Ушаков. – М.: МГУ, 2000 – 427 с.
14. Физические основы использования кинетической энергии осколков деления в радиационной химии. – Мн.: 1972.
15. Чепель, Л. В. Применение ускорителей электронов в радиационной химии / Л. В. Чепель. – М.: Атомиздат, 1975.

Дополнительная:

1. Бударков В. А. Радиобиологический справочник / В. А. Бударков, В. А. Киршин, А. Е. Антоненко. – Мн.: Ураджай, 1992.
2. Геохимия техногенных радионуклидов / Э. В. Соботович, Г. М. Бондаренко, Л. В. Кононенко др. – Киев: Наукова думка, 2002. – 328 с.
3. Ллуэллин-Смит. К. На пути к термоядерной энергетике. // Материалы лекции в ФИАН 17.05.2009.
4. Моисеев, А.А., Иванов В.И. Справочник по дозиметрии и радиационной гигиене / А. А. Моисеев, В. В/ Иванов – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 252 с.
5. Новиков, А. П. / Формы существования и миграции актиноидов в окружающей среде / А. П. Новиков, С. Н. Калмыков, В. В. Ткачев // Ж. Рос. хим. общ-ва им. Д. И. Менделеева. – 2005. – Т. 49, № 2. – С. 119–126.
6. Хрусталева В. А., Антропов П.Г. Физические основы ядерных энергетических установок / В. А. Хрусталева, П. Г. Антропов. – 2005. – 116 с.
7. Фор Х. Основы изотопной геологии /Х. Фор. – М.: Мир, 1989.
8. Radiation, People and the Environment. – Viena: IAEA, 2004.
9. UNSCEAR-2000. Report to the General Assembly: Sources and Effects of Ionizing Radiation. UN Report, New York, 2000.

Тематика семинарских занятий:

1. **Источники ионизирующих излучений на основе радионуклидов и их использование в технических научных и медицинских целях.**
2. **Линейные ускорители. Их использование.**
3. **Циклические ускорители (бетатрон, циклотрон, микротрон). Их устройство и назначение.**
4. **Принципы фокусировки частиц. Импульсные ускорители. Сверхпроводящие ускорители. Их устройство и назначение.**
5. **Использование современных ускорителей.**
6. **Основы ядерной энергетики. Типы современных ядерных реакторов и их безопасность.**
7. **Сравнительный анализ современных российских и зарубежных ядерных реакторов.**
8. **Уран.** Особенности форм нахождения и миграционная способность в наземных и водных экосистемах.
9. **Плутоний и америций.** Особенности форм нахождения в почвах и природных водах.
10. **Радон и дочерние продукты распада.** Оценка радиологической опасности. Методы снижения воздействия радона и продуктов его распада на организм человека.
11. **Одиночные радионуклиды: ^3H , ^{40}K , ^{14}C .** Радиационные свойства. Источники поступления, формы нахождения и поведение в биосфере. Калий-аргоновый и радиоуглеродный методы датирования.
12. **Факторы, определяющие состояние и подвижность радионуклидов в основных элементах биосферы.**
13. **Оценка подвижности и биологической доступности радионуклидов в наземных экосистемах.**
14. **Миграционные свойства радионуклидов цезия, стронция, плутония и америция в почвенно-растительном покрове.**

Тематика реферативных работ:

1. **Использование ускорителей в медицине и научных исследованиях.**
2. **Сравнительная характеристика ядерных реакторов типа РБМК, ВВЭР, БВР, реакторов на быстрых нейтронах.**
3. **Космогенные радионуклиды.** Ядерные реакции образования и распада ^{14}C , ^3H и других космогенных радионуклидов. Радиационные свойства и особенности поведения космогенных радионуклидов в биосфере.
4. **Управляемый термоядерный синтез и возможности его применения.** Условия реализации термоядерных реакций. Управляемый термоядерный синтез на основе дейтерия и трития. Перспективные виды термоядерного горючего. Возможности использования УТС для производства электроэнергии. Другие возможности применения УТС.
5. **Изотопы урана.** Местонахождение и перераспределение урана в окружающей среде. Физико-химические формы нахождения урана, определяющие интенсивность его миграции в наземных и водных экосистемах.
6. **Использование изотопов урана в мирных и военных целях.** Природные изотопы урана и их радиационные характеристики. Ободеженный (истощенный) уран и его применение. Пути поступления урана в организм человека и его биологическая опасность.
7. **Плутоний.** Искусственное получение, радиационные свойства и применение изотопов плутония. Источники поступления в биосферу. Физико-химические формы нахождения плутония в почвах и природных водах, определяющие его подвижность в окружающей среде. Биологическая опасность плутония.
8. **Америций.** Изотопы америция и их радиационные свойства. Источники поступления и поведение америция в окружающей среде. Факторы, определяющие подвижность америция в наземных и водных экосистемах.
9. **Природные изотопы радона.** Реакции образования и источники радона в окружающей среде. Радиационные свойства природных изотопов радона. Биологическая опасность радона и способы снижения облучения людей в результате его присутствия в окружающей среде.
10. **Радон.** Искусственное получение радона и его применение. Химические особенности и способы определения содержания радона в объектах окружающей среды.
11. **Природный тритий.** Радиационные характеристики радионуклида. Уравнение реакции радиоактивного распада. Природные источники поступления трития в окружающую среду. Фракционирования изотопов водорода в природных условиях. Использование трития в геохронологии подземных вод.
12. **Техногенный тритий.** Источники поступления трития в окружающую среду в результате антропогенной деятельности. Искусственное получение и методы определения трития. Применение трития. Поступление трития в организм человека и его биологическая опасность.

13. **Радиоактивный калий (^{40}K).** Особенности радиоактивного распада. Происхождение, местонахождение в природе и поведение в окружающей среде. Роль ^{40}K в генерации геотермального тепла на разных этапах геологической истории Земли.
14. **Калий-аргоновый метод определения возраста природных образований.** Принцип, способы реализации, возможности и ограничения метода.
15. **Радиоуглеродный метод определения возраста природных образований.** Принцип, способы реализации, возможности и ограничения метода.
16. **Сравнительная радиоэкологическая характеристика аварий на ЧАЭС и Фукусиме 1.**
17. **Онкологические последствия аварий на ЧАЭС и Фукусиме 1.**
18. **Радиоактивный цезий на территории Беларуси.** Источники поступления, радиационные свойства и особенности физико-химических форм нахождения радиоактивного цезия в почвах и природных водах. Поведение радиоактивного цезия в окружающей среде. Биологическая опасность радиоактивного цезия.
19. **Радиоактивный стронций на территории Беларуси.** Источники поступления и особенности физико-химических форм нахождения радиоактивного стронция в почвах и природных водах. Поведение радиоактивного стронция в окружающей среде. Биологическая опасность радиоактивного стронция.
20. **Плутоний на территории Беларуси.** Источники поступления изотопов плутония и их радиационные свойства. Основные районы загрязнения. Трансформация форм нахождения после выпадения на земную поверхность. Особенности поведения в различных экосистемах.
21. **Америций на территории Беларуси.** Источники поступления изотопов америция и их радиационные свойства. Основные районы загрязнения. Изменение во времени радиоэкологической ситуации, обусловленной ^{241}Am . Особенности поведения радионуклида в различных экосистемах.

Примерный перечень заданий УСР

1. Раздел 1. Источники ионизирующих излучений на основе радионуклидов (контрольная работа).
2. Раздел 2. Ускорители заряженных частиц (контрольная работа).
3. Раздел 3. Ядерный реактор как источник излучения (контрольная работа).
4. Раздел 4. Производство и специфика применения ИИИ (контрольная работа).
5. Раздел 5. Космическая радиация и облучение жителей Земли. Защита биосферы от космической радиации (контрольная работа).
6. Раздел 6. Ядерные превращения и ядерные реакции (контрольная работа).
7. Раздел 7. Термоядерный синтез и перспективы его использования (контрольная работа).
8. Раздел 8. Радиоактивные элементы. Особенности состояния в окружающей среде (контрольная работа).
9. Раздел 12. Миграция радионуклидов в окружающей среде (контрольная работа).
10. Раздел 13. Воздействие радионуклидов на организм человека.
Тема 12.4. Защитные мероприятия, направленные на снижение поступления в организм и воздействия радионуклидов на человека (контрольная работа).
11. Раздел 10. Особенности анализа образцов на содержание радионуклидов (контрольная работа).

Пример контрольной работы

Раздел 3. Термоядерный синтез и перспективы его использования

1. Дайте определение термоядерной реакции. Сравните энергетические выходы реакций термоядерного синтеза и ядерного деления? Какие из этих процессов энергетически более выгодны?
2. Какие нуклиды образуются в результате альфа-процесса? Приведите примеры уравнений соответствующих ядерных реакций. Какие условия необходимы для реализации этого процесса? Что мешает его продолжению?
3. Что препятствует осуществлению управляемого термоядерного синтеза для промышленного получения электрической энергии?

Примерный перечень тем коллоквиумов

1. Раздел 9. Одиночные радионуклиды: источники их поступления и поведение в биосфере. Применение радионуклидов в геохронологии.
2. Раздел 10. Применение радионуклидов.
3. Раздел 11. Радиоактивные частицы в окружающей среде.

ПРОТОКОЛ СОГЛАСОВАНИЯ УЧЕБНОЙ ПРОГРАММЫ

Название учебной дисциплины, с которой требуется согласование	Название кафедры	Предложения об изменениях в содержании учебной программы учреждения высшего образования по учебной дисциплине	Решение, принятое кафедрой, разработавшей учебную программу (с указанием даты и номера протокола) ¹
1. Радиационная химия	Радиационной химии и химико-фармацевтических технологий		Принять программу без изменений

¹ При наличии предложений об изменениях в содержании учебной программы УВО.

ДОПОЛНЕНИЯ И ИЗМЕНЕНИЯ К УЧЕБНОЙ ПРОГРАММЕ УВО

на ____/____ учебный год

№ п/п	Дополнения и изменения	Основание

Учебная программа пересмотрена и одобрена на заседании кафедры
_____ (протокол № ____ от _____ 201_ г.)
(название кафедры)

Заведующий кафедрой

_____ (ученая степень, ученое звание) _____ (подпись) _____ (И.О.Фамилия)

УТВЕРЖДАЮ
Декан факультета

_____ (ученая степень, ученое звание) _____ (подпись) _____ (И.О.Фамилия)

