

Учреждение образования
«Международный государственный экологический институт
имени А.Д. Сахарова»
Белорусского государственного университета

УТВЕРЖДАЮ

Директор МГЭИ им. А.Д. Сахарова
БГУ


О. И. Родькин
2024

Регистрационный № УД-1608-24/уч.

ЗАЩИТА ОТ ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Учебная программа учреждения образования по учебной дисциплине для
специальности:

1-100 01 01 Ядерная и радиационная безопасность

2024 г.

Учебная программа составлена на основе ОСВО 1-100 01 01-2021 Ядерная и радиационная безопасность от 25.04.2022 и учебного плана учреждения образования Рег.№ 134-21/уч. от 25.06.2021 специальности Ядерная и радиационная безопасность

СОСТАВИТЕЛИ:

А.И. Тимошенко, доцент кафедры ядерной и радиационной безопасности учреждения образования «Международный государственный экологический университет имени А.Д. Сахарова» Белорусского государственного университета, кандидат физико-математических наук, доцент;

Т.В. Дашкевич, старший преподаватель кафедры ядерной и радиационной безопасности учреждения образования «Международный государственный экологический университет имени А.Д. Сахарова» Белорусского государственного университета

РЕЦЕНЗЕНТЫ:

И.Я. Дубовская, доцент кафедры ядерной физики Белорусского государственного университета, кандидат физико-математических наук, доцент;

В.А. Иванюкович, доцент кафедры экологических информационных систем учреждения образования «Международный государственный экологический институт им. А.Д. Сахарова» Белорусского государственного университета, кандидат физико-математических наук, доцент

РЕКОМЕНДОВАНА К УТВЕРЖДЕНИЮ:

Кафедрой ядерной и радиационной безопасности «Международного государственного экологического института им. А.Д. Сахарова» БГУ (протокол № 10 от 20.05.2024);

Научно-методическим советом учреждения образования «Международный государственный экологический институт им. А.Д. Сахарова» БГУ (протокол № 10 от 19.06.2024)

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

Место учебной дисциплины в системе подготовки специалиста с высшим образованием: учебная дисциплина относится к дисциплинам государственного компонента учебного плана специальности 1-100 01 01 Ядерная и радиационная безопасность, входит в модуль «Дозиметрия и радиационная безопасность».

Связи с другими учебными дисциплинами:

Рассматриваемые проблемные вопросы тесно связаны с темами таких учебных дисциплин, как «Физика ядра и ионизирующего излучения», «Дозиметрия», «Радиационная безопасность».

Расчётные методы, применяемые в дисциплине, основаны на знаниях и навыках, полученных студентами при изучении таких дисциплин государственного компонента, как «Математический анализ», «Аналитическая геометрия и линейная алгебра», «Механика», «Молекулярная физика», а также дисциплины компонента учреждения высшего образования «Тензорный анализ и компьютерная геометрия», «Численные методы и математическое моделирование», «Теория вероятностей и математическая статистика», «Дифференциальные и интегральные уравнения», «Методы математической физики», «Теоретическая механика».

Цель учебной дисциплины – формирование у обучающихся систематических знаний в области радиационной защиты в целом и получение навыков по количественному определению характеристик экранирующих материалов, используемых для защиты от ионизирующего излучения.

Задачи учебной дисциплины:

- завершить формирование системных знаний студентов в области физики ионизирующего излучения;
- привить и закрепить базовые навыки решения расчетных задач защиты;
- ознакомить с важнейшими приближениями, используемыми при решении уравнений переноса ионизирующего излучения в веществе и особенностями этого описания в зависимости от вида ионизирующего излучения;
- способствовать развитию научного мировоззрения.

Перед преподавателем ставятся следующие задачи:

- систематически изложить понятия и основные модели, используемые в защите от ионизирующего излучения;
- разъяснить основы применения важнейших методов расчета защиты от ионизирующего излучения;
- ознакомить обучаемых с основными инженерными методами, расчета параметров защиты;
- способствовать развитию научного мировоззрения, культуры безопасности.

Концептуальную основу дисциплины «Защита от ионизирующих излучений» составляют:

- механизмы взаимодействия ионизирующего излучения с веществом;
- основные и операционные дозиметрические характеристики взаимодействия ионизирующего излучения с веществом;

– основные понятия и величины, применяемые в радиационной безопасности, и соответствующие нормативы.

Поэтому дисциплина «Защита от ионизирующего излучения» имеет тесные межпредметные связи и носит прикладной характер. В ней устанавливается связь между характеристиками источника и поля излучения, показаниями детектора или дозовой характеристикой излучения в условиях применения экранирующих излучение материалов, рассматриваются основные инженерные приемы и методы, применяемые в защите персонала, населения и окружающей среды от воздействия ионизирующего излучения сверх установленных нормативных значений соответствующих величин.

Освоение учебной дисциплины «Защита от ионизирующего излучения» должно обеспечить формирование у обучающегося следующих **компетенций**:

БПК-12 – Подбирать материалы для экранирования от различных видов ионизирующего излучения, выполнять инженерные расчеты параметров радиационной защиты с учетом основных подходов к ее проектированию.

УК-5 – Быть способным к саморазвитию и совершенствованию в профессиональной деятельности.

В результате усвоения дисциплины обучающийся должен в соответствии с требованиями образовательного стандарта специальностей 1-100 01 01 Ядерная и радиационная безопасность

знать:

- основные математические модели, применяемые при расчете защиты от ионизирующего излучения;
- смысл функции отклика среды на действие ионизирующего излучения;
- концепцию точечного ядра дозы или эквивалента дозы;
- область применимости детерминированных и стохастических моделей расчета переноса излучения методами Монте-Карло;
- основные инженерные методы оценки параметров защиты от ионизирующего излучения;
- специфику и назначение инженерных устройств и средств защиты от ионизирующего излучения;

уметь:

- рассчитывать дозиметрические величины и параметры защиты от ионизирующего излучения для основных моделей источников с учетом вторичного излучения, возникающего в веществе;
- применять теорию переноса излучения для расчета защиты от ионизирующего излучения;

владеть:

- инженерными методами оценки параметров защиты;
- основными индивидуальными средствами защиты от ионизирующего излучения.

Самостоятельная работа обучающихся по дисциплине включает в себя повторение теоретического материала, закрепление его при выполнении расчётных заданий, подготовку отчётов по лабораторным работам и подготовку к их защите, подготовку к зачету и экзамену по дисциплине.

Для организации самостоятельной работы студентов по дисциплине следует использовать информационные технологии: разместить в свободном доступе комплекс учебных и учебно-методических материалов (программа, методические указания к практическим и лабораторным занятиям, список рекомендуемой литературы, задания для самоконтроля, электронные пособия и учебники и др.).

Учебная программа по учебной дисциплине рассчитана на 216 часов, из которых 100 часов отводится на аудиторные занятия. На лекции отводится 56 часов, на лабораторные занятия – 20 часов, на практические занятия – 24 часа.

Текущий контроль знаний рекомендуется осуществлять путём защиты отчётов по лабораторным работам, проведения контрольных работ по практическим занятиям и проверки домашних заданий, подготовкой и защитой рефератов, проведения зачета по лабораторным работам и практическим занятиям. Итоговой формой отчётности по дисциплине является экзамен.

Форма промежуточной аттестации по дисциплине – зачет и экзамен в 7 семестре.
Форма получения высшего образования – очная (дневная).
Трудоемкость дисциплины составляет 6 зачетных единиц.

СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОГО МАТЕРИАЛА

Раздел 1. Ионизирующее излучение

Ионизирующее излучение. Термины и определения. Предмет защиты от ионизирующего излучения. Классификация видов ионизирующего излучения и его источников. Общая характеристика задач расчета параметров защиты от ионизирующего излучения.

Раздел 2. Характеристики источника, поля излучения и радиационного воздействия

Тема 2.1. Классификация характеристик источников и поля ионизирующего излучения

Понятие инфинитезимального пучка. Числовые и энергетические характеристики; дифференциальные, интегральные и глобальные характеристики.

Тема 2.2. Характеристики источника излучения

Дифференциальные, интегральные и глобальные сила и мощность источника. Геометрические модели источников и их математическое описание. Связь мощности радионуклидных источников с активностью радионуклидов, входящих в их состав. Характеристики поля излучения.

Тема 2.3. Основные характеристики поля излучения

Флюенс и мощность флюенса, поток и мощность потока, векторный ток и плотность векторного тока. Связь между дифференциальной мощностью флюенса и векторной плотностью тока. Интегральные и глобальные мощность флюенса и вектор плотности тока частиц ионизирующего излучения. Токовые и потоковые величины.

Тема 2.4. Ослабление первичного излучения в веществе

Линейный коэффициент взаимодействия (макроскопическое сечение взаимодействия). Скорость протекания в единице объема реакций взаимодействия ионизирующего излучения с веществом. Закон ослабления первичного излучения.

Тема 2.5. Связь между дозиметрическими величинами и характеристиками поля излучения

Система дозиметрических величин. Мера радиационного отклика и связь его с характеристикой поля излучения. Функция радиационного отклика. Линейный коэффициент передачи энергии и его виды в зависимости от вида дозы. Применимость данных понятий к различным видам ионизирующего излучения и формам источников. Расширенное и выровненное поле излучения. Функции отклика для тела человека как объекта облучения. Фантомы.

Раздел 3. Аналитические методы расчета защиты

Тема 3.1. Расчет дозы, формируемой первичным излучением

Расчет дозы первичного излучения, создаваемого точечным источником, в вакууме, бесконечной однородной среде, за бесконечной однородной плоской плитой. Изотропные и анизотропные источники. Точечные радионуклидные источники: гамма-постоянные, радиевый эквивалент. Рентгеновские источники: радиационный выход. Расчет дозы первичного излучения, создаваемого изотропными равномерно распределенными линейными источниками стандартной формы (отрезок прямой, окружность), в вакууме, бесконечной однородной среде, а также находящемся за бесконечной однородной плоской плитой. Расчет дозы первичного излучения, создаваемого равномерно распределенными поверхностными источниками стандартной формы (круглый диск, бесконечная плоскость, прямоугольник, сфера), в вакууме, бесконечной однородной среде, а также находящемся за бесконечной однородной плоской плитой. Расчет дозы первичного излучения, создаваемого объемными равномерно распределенными источниками стандартной формы (усеченный конус, цилиндр, бесконечная плита), в вакууме, бесконечной однородной среде, а также находящемся за бесконечной однородной плоской плитой.

Тема 3.2. Связь между дозиметрической величиной и характеристикой источника

Понятие о точечном ядре дозы. Понятие о геометрических факторах.

Тема 3.3. Факторы, используемые в аналитических расчетах параметров защиты

Фактор накопления. Фактор ослабления. Их применимость к различным видам ионизирующего излучения.

Тема 3.4. Концепция альбедо

Условия применимости концепции альбедо. Числовое и дозовое альбедо. Другие характеристики, связанные с описанием «отражения» частиц ионизирующего излучения от поверхностей.

Тема 3.5. Эффект «скайшайн»

Физические явления, лежащие в основе эффекта «скайшайн». Аналитические методы оценки эффекта «скайшайн» для фотонов и нейтронов.

Тема 3.6. Распространение фотонов и нейтронов в каналах

Постановка задачи. Доза прямой видимости. Учет ослабления части излучения в материале защитного экрана. Учет однократного отражения в цилиндрическом канале. Распространение фотонов в двухколенном канале прямоугольного сечения. Распространение нейтронов в каналах. Учет многократного рассеяния нейтронов в каналах.

Раздел 4. Защита от фотонного ионизирующего излучения

Тема 4.1. Основные модельные представления, используемые при расчете параметров защитных экранов от фотонного ионизирующего излучения

Приближение Бергера, приближение Тейлора, приближение геометрической прогрессии. Роль неоднородности защиты. Многослойные защитные экраны. Фактор ослабления для гамма- и рентгеновского излучения. Выбор материала защиты.

Тема 4.2. Инженерные методы определения параметров защитных экранов от фотонного ионизирующего излучения

Метод слоев половинного ослабления. Метод конкурирующих линий. Инженерные методы расчета защиты от рентгеновского излучения. Экспериментальная проверка законов экранирования фотонного излучения.

Раздел 5. Аналитические методы расчета защиты от нейтронного излучения

Тема 5.1. Материалы для экранирования нейтронного излучения

Учет особенностей взаимодействия нейтронов различных энергий с веществом. Классификация нейтронов по энергиям с точки зрения расчета параметров защитных экранов. Материалы для экранирования нейтронного излучения. Активация материалов защиты нейтронами. Вторичное гамма-излучение.

Тема 5.2. Аналитические оценки ослабления потоков быстрых нейтронов в веществе

Сечение выведения для быстрых нейтронов. Учет ослабления потока быстрых нейтронов в веществе. Выбор материала защиты от быстрых нейтронов. Границы применимости понятия фактора накопления к нейтронам.

Тема 5.3. Аналитические оценки ослабления потоков медленных нейтронов в веществе

Необходимость использования уравнения переноса нейтронного излучения для оценки параметров защиты от медленных нейтронов. Материалы, используемые для защиты от медленных нейтронов.

Тема 5.4. Инженерные методы расчета защиты от нейтронного излучения

Метод длин релаксации и область его применимости. Учет вторичного излучения при расчете защиты.

Раздел 6. Защита от непосредственно ионизирующего излучения

Тема 6.1. Общие принципы, применяемые при защите от потоков быстрых заряженных частиц. Защита от потоков быстрых электронов и позитронов

Особенности взаимодействия быстрых заряженных частиц с веществом. Приближение непрерывного замедления. Различные виды пробега заряженных

частиц в среде. Тяжелые и легкие частицы. Точечные ядра поглощенной дозы для электронов и позитронов: случаи моноэнергетических и полиэнергетических источников. Материалы и оценка толщины защиты от пучков электронов. Учет тормозного излучения. Особенности выбора материала и расчета толщины защиты от бета-излучения радионуклидных источников.

Тема 6.2. Защита от потоков быстрых тяжелых заряженных частиц

Особенности взаимодействия тяжелых заряженных частиц с веществом. Расчет параметров защитных экранов от протонов и ионов различных энергий.

Раздел 7. Уравнения переноса излучения и расчет параметров защиты

Тема 7.1. Уравнение переноса ионизирующего излучения

Уравнение переноса излучения для дифференциальной мощности флюенса. Граничные условия. Решение уравнения переноса для дифференциальной мощности флюенса первичного излучения. Интегральная форма уравнения переноса и область ее применимости. Уравнение переноса ионизирующего излучения в стационарной среде. Стационарное уравнение переноса. Теорема Фано. Понятие о скейлинге стационарного поля излучения. Переход от объемных источников к эквивалентным поверхностным источникам. Стационарное уравнение переноса в приближении экспоненциального ослабления.

Тема 7.2. Уравнения переноса для интегральных величин

Представление уравнения переноса ионизирующего излучения в многогрупповом приближении. Стационарное односкоростное уравнение переноса (задача Милна). Метод моментов. Понятие об угловых разложениях характеристик поля излучения. Бесконечная система уравнений переноса для энергетических распределений характеристик поля излучения. Граничные условия. P_N -приближение в бесконечной системе уравнений переноса для энергетических распределений характеристик поля излучения. Диффузионное приближение в уравнении переноса. Роль неоднородности поля излучения и анизотропии вылета вторичных частиц излучения, возникающих при взаимодействии с веществом.

Тема 7.3. Уравнение переноса для фотонного ионизирующего излучения

Сечения реакций взаимодействия фотонного ионизирующего излучения с веществом. Применение уравнения переноса фотонного ионизирующего излучения к расчету защиты.

Тема 7.4. Уравнения переноса для нейтронов

Сечения реакций взаимодействия нейтронов с веществом. Диффузионное приближение. Граничные условия. Замедление нейтронов в экранирующем материале. Уравнение переноса нейтронов в диффузионно-возрастном приближении. Применение уравнений переноса нейтронов для расчета параметров защитных экранов.

Тема 7.5. Уравнения переноса для быстрых электронов и позитронов

Особенности взаимодействия легких заряженных частиц с веществом. Область применимости уравнения переноса к описанию распространения легких заряженных частиц в веществе. Граничные условия. Замедление и диффузия легких заряженных частиц в экранирующем материале. Применение уравнений переноса легких заряженных частиц для расчета параметров защитных экранов.

Тема 7.6. Методы моделирования Монте-Карло и их применение к расчету параметров защитных экранов

Аналоговые и неаналоговые методы Монте-Карло. Применение методов Монте-Карло к приближенному решению задач расчета параметров защитных экранов.

Раздел 8. Защитные параметры для ядерных и радиационных установок

Тема 8.1. Расчет защиты от излучения ядерных реакторов

Ядерные реакторы как источники ионизирующего излучения. Материалы биологической защиты ядерных реакторов. Применение инженерных методов оценки параметров биологической защиты ядерных реакторов. Применение методов Монте-Карло к оценке параметров биологической защиты ядерных установок.

Тема 8.2. Оценка защитных параметров экранирующих устройств и помещений для нейтронных источников

Оценка защитных параметров экранирующих устройств и помещений для радионуклидных источников нейтронов. Оценка защитных параметров экранирующих устройств и помещений для нейтронных генераторов.

Тема 8.3. Оценка защитных параметров экранирующих устройств и помещений для промышленных облучателей и радиографических источников

Категории облучателей. Расчет параметров целостной защиты облучателей 1 категории по международной классификации. Расчет экранирующих параметров места хранения и помещения для эксплуатации облучателя 2 – 4 категорий по международной классификации. Классификация радиографических аппаратов. Расчет параметров помещений для стационарных рентгеновских радиографических аппаратов. Расчет параметров средств защиты от излучения, создаваемого мобильными рентгеновскими аппаратами. Расчет параметров защитных контейнеров переносных радиографических радионуклидных аппаратов.

Тема 8.4. Оценка защитных параметров экранирующих устройств и помещений лучевой диагностики и терапии

Установки для лучевой диагностики: расчет параметров экранов и помещений. Расчет параметров помещений для стационарных установок лучевой терапии: рентгеновские аппараты, ускорители электронов и установки адронной терапии.

Тема 8.5. Оценка параметров защитных контейнеров для перевозки источников ионизирующего излучения

Требования к контейнерам для перевозки радионуклидных источников ионизирующего излучения. Расчет параметров защитных контейнеров для перевозки источников ионизирующего излучения.

Тема 8.6. Оценка защитных параметров экранирующих устройств и помещений, используемых для хранения радионуклидных источников, а также при обращении с отработавшим ядерным топливом и радиоактивными отходами

Оценка защитных параметров экранирующих устройств и помещений для хранения гамма-излучающих источников. Оценка защитных параметров экранирующих устройств и помещений для хранения источников бета-излучения.

Отработавшее ядерное топливо: основные параметры и методы расчета защитных характеристик контейнеров и помещений для хранения. Категоризация радиоактивных отходов. Основные параметры и методы расчета защитных характеристик контейнеров и помещений для хранения радиоактивных отходов различных категорий.

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКАЯ КАРТА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

(для очной (дневной) формы получения образования)

Номер раздела, темы	Название раздела, темы	Количество аудиторных часов					Количество часов УСР	Форма контроля
		Лекции	Практические занятия	Семинарские занятия	Лабораторные занятия	Иное		
1	Ионизирующее излучение	1						
1.1.	Ионизирующее излучение: термины и определения. Предмет защиты от ионизирующего излучения	1						Устный опрос, дискуссия, зачет, экзамен
2	Характеристики источника, поля излучения и радиационного воздействия	5						
2.1, 2.2	Классификация характеристик источников и поля ионизирующего излучения. Характеристики источника излучения	1						Устный опрос, дискуссия; Тест 1 по разделам 1 и 2, зачет, экзамен
2.3.	Основные характеристики поля излучения	1						
2.4.	Ослабление первичного излучения в веществе	1						
2.5.	Связь между дозиметрическими величинами и характеристиками поля излучения	2						Устный опрос, дискуссия; Тест 2 по разделу 2, зачет, экзамен

Номер раздела, темы	Название раздела, темы	Количество аудиторных часов					Количество часов УСР	Форма контроля
		Лекции	Практические занятия	Семинарские занятия	Лабораторные занятия	Иное		
3.	Аналитические методы расчета защиты	13						
3.1.	Расчет дозы, формируемой первичным излучением							Устный опрос, дискуссия; Тест 2 по разделу 2, зачет, экзамен
3.1.1.	Расчет дозы первичного излучения, создаваемого точечным источником	1						
3.1.2.	Расчет дозы первичного излучения, создаваемого изотропными равномерно распределенными линейными источниками стандартной формы	1						
3.1.3.	Расчет дозы первичного излучения, создаваемого равномерно распределенными поверхностными источниками стандартной формы	2						
3.1.4.	Расчет дозы первичного излучения, создаваемого объемными равномерно распределенными источниками стандартной формы	2						Устный опрос, дискуссия; Тест 3 по разделу 3 (темы 3.1 – 3.3), зачет, экзамен
3.2.	Связь между дозиметрической величиной и характеристикой источника	2						
3.3.	Факторы, используемые в аналитических расчетах параметров защиты	1						
3.4.	Концепция альбедо	1						Устный опрос, дискуссия; Тест 4 по разделу 3 (темы 3.4, 3.5.), зачет, экзамен
3.5.	Эффект «скайшайн»	1						
3.6.	Распространение фотонов и нейтронов в каналах	2						

Номер раздела, темы	Название раздела, темы	Количество аудиторных часов					Количество часов УСР	Форма контроля
		Лекции	Практические занятия	Семинарские занятия	Лабораторные занятия	Иное		
4.	Защита от фотонного ионизирующего излучения	2	2		8			
4.1.	Основные модельные представления, используемые при расчете параметров защитных экранов от фотонного ионизирующего излучения	1			4			Устный опрос, дискуссия;
4.2.	Инженерные методы определения параметров защитных экранов от фотонного ионизирующего излучения	1	2		4			отчеты по лабораторным работам, зачет, экзамены
5.	Аналитические методы расчета защиты от нейтронного излучения	4	2					
5.1.	Материалы для экранирования нейтронного излучения	1						Устный опрос, дискуссия, зачет, экзамены
5.2.	Аналитические оценки ослабления потоков быстрых нейтронов в веществе	1						
5.3.	Аналитические оценки ослабления потоков медленных нейтронов в веществе	1						
5.4.	Инженерные методы расчета защиты от нейтронного излучения	1	2					
6.	Защита от непосредственно ионизирующего излучения	3			4			
6.1.	Общие принципы, применяемые при защите от потоков быстрых заряженных частиц. Защита от потоков быстрых электронов и позитронов	2			4			Устный опрос, дискуссия;
6.2.	Защита от потоков быстрых тяжелых заряженных частиц	1						отчеты по лабораторным

Номер раздела, темы	Название раздела, темы	Количество аудиторных часов					Количество часов УСР	Форма контроля
		Лекции	Практические занятия	Семинарские занятия	Лабораторные занятия	Иное		
								м работа м, зачет, экзамен
7.	Уравнения переноса излучения и расчет параметров защиты	22	10					
7.1.	Уравнение переноса ионизирующего излучения							Устный опрос, дискуссия; Тест 5 по разделу 3 (темы 7.1., 7.2.), зачет, экзамен
7.1.1.	Уравнение переноса излучения для дифференциальной мощности флюенса. Граничные условия. Решение уравнения переноса для дифференциальной мощности флюенса первичного излучения	2						Устный опрос, дискуссия; Тест 5 по разделу 3 (темы 7.1., 7.2.), зачет, экзамен
7.1.2.	Интегральная форма уравнения переноса и область ее применимости	1						Устный

Номер раздела, темы	Название раздела, темы	Количество аудиторных часов					Количество часов УСР	Форма контроля
		Лекции	Практические занятия	Семинарские занятия	Лабораторные занятия	Иное		
7.1.3.	Уравнение переноса ионизирующего излучения в стационарной среде. Стационарное уравнение переноса	2						опрос, дискус-сия; Тест 5 по раздел у 3 (темы 7.1., 7.2.), зачет, экзамен
7.1.4.	Теорема Фано. Понятие о скейлинге стационарного поля излучения. Переход от объемных источников к эквивалентным поверхностным источникам. Стационарное уравнение переноса в приближении экспоненциального ослабления	1						
7.2.	Уравнения переноса для интегральных величин							
7.2.1.	Представление уравнения переноса ионизирующего излучения в многогрупповом приближении. Стационарное односкоростное уравнение переноса (задача Милна)	2						
7.2.2.	Метод моментов. Понятие об угловых разложениях характеристик поля излучения	3	2					
7.2.3.	Бесконечная система уравнений переноса для энергетических распределений характеристик поля излучения. Граничные условия	1						
7.2.4.	Понятие о P_N -приближении. Диффузионное приближение в уравнении переноса. Роль неоднородности поля излучения и анизотропии вылета вторичных частиц излучения, возникающих при взаимодействии с веществом	2						
7.3.	Уравнения переноса для фотонного ионизирующего излучения	1	2					Устный опрос, дискус-сия; Тест 6 по раздел у 7
7.4.	Уравнения переноса для нейтронов	4	2					
7.5.	Уравнения переноса для быстрых электронов и позитронов	1						

Номер раздела, темы	Название раздела, темы	Количество аудиторных часов					Количество часов УСР	Форма контроля
		Лекции	Практические занятия	Семинарские занятия	Лабораторные занятия	Иное		
								(темы 7.3 – 7.5), зачет, экзамен
7.6.	Методы моделирования Монте-Карло и их применение к расчету параметров защитных экранов	2	4					Устный опрос, дискуссия, отчеты по лабораторным работам, зачет, экзамен
8.	Защитные параметры для ядерных и радиационных установок	6	10		8			
8.1.	Расчет защиты от излучения ядерных реакторов	2	4					Устный опрос, дискуссия, зачет, экзамен
8.2.	Оценка защитных параметров экранирующих устройств и помещений для нейтронных источников	1	2					Устный опрос, дискуссия, зачет, экзамен

Номер раздела, темы	Название раздела, темы	Количество аудиторных часов					Количество часов УСР	Форма контроля
		Лекции	Практические занятия	Семинарские занятия	Лабораторные занятия	Иное		
8.3.	Оценка защитных параметров экранирующих устройств и помещений для промышленных облучателей и радиографических источников	1	1					Устный опрос, дискуссия, зачет, экзамен
8.4.	Оценка защитных параметров экранирующих устройств и помещений лучевой диагностики и терапии	1	1					Устный опрос, дискуссия, зачет, экзамен
8.5.- 8.6	Оценка параметров защитных контейнеров для перевозки источников ионизирующего излучения. Оценка защитных параметров экранирующих устройств и помещений для хранения радионуклидных источников и при обращении с отработавшим ядерным топливом и радиоактивными отходами	1	2		8			Устный опрос, дискуссия, зачет, экзамен
	ИТОГО	56	24		20			

ИНФОРМАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Инновационные методы и подходы к преподаванию учебной дисциплины

При организации образовательного процесса из множества эффективных педагогических методик и технологий, которые способствуют вовлечению студентов в поиск и управление знаниями, приобретению опыта самостоятельного решения разнообразных задач, следует использовать:

- технологии проблемно-модульного обучения;
- технологии научно-исследовательской деятельности;
- проблемно-ориентированный междисциплинарный подход;
- интенсивное обучение;
- моделирование проблемных ситуаций и их решение.

Для формирования современных социально-профессиональных компетенций выпускника вуза в практику проведения занятий целесообразно внедрять методики активного обучения и дискуссионные формы.

В рамках данной дисциплины предполагается использовать проектный подход к ее преподаванию, а также метод проблемного обучения.

При организации образовательного процесса используется:

- практико-ориентированный метод, который предполагает освоение материала, приобретения студентами знаний и умений, через решение практических задач;
- метод учебной дискуссии, который предполагает участие студентов в целенаправленном обмене мнениями, согласованию существующих позиций по определенной проблеме. Использование метода обеспечивает появления нового уровня понимания изучаемой темы, применения знаний для решения различных исследовательских, творческих и технических задач.

Рекомендуемая литература

Основная

1. Гулаков, И. Р. Регистрация ионизирующих излучений : учебное пособие для студентов учреждений высшего образования / И.Р. Гулаков. – Минск : Вышэйшая школа, 2021. – 287 с. : ил. - (Для студентов учреждений высшего образования). - Библиогр.: с. 285. - ISBN 978-985-06-3309-5.
2. Ионизирующие излучения [Текст] : лаб. практикум / Э. А. Авданина, А. Р. Барткевич, М. Д. Дежурко [и др.] ; под ред. А. И. Тимощенко. – Минск : РИВШ, 2018. – 254 с. - Библиогр. в конце разделов. - ISBN 978-985-586-201-8.
3. Ишханов, Б. С. Частицы и атомные ядра [Текст] : учебник / Б. С. Ишханов, И. М. Капитонов, Н. П. Юдин. – Изд. стер. - М. : Кн-й дом "ЛИБРОКОМ", 2017. – 584 с. - (Классический университетский учебник). - Библиогр.: с. 578. - ISBN 978-5-397-05579-6.
4. Машкович, В.П. Защита от ионизирующих излучений [Текст] : справочник / В. П. Машкович, А. В. Кудрявцева. – 5-е изд. – М. : Столица, 2013. – 496 с. : ил. - Библиогр.: с. 479-489. - ISBN 978-5-90537-925-3.

5. Романцова, И. В. Сборник задач по дозиметрии и защите от ионизирующих излучений : учебное пособие / И. В. Романцова, В. В. Ткаченко, В. А. Кутыков ; Мино науки и высшего образования РФ, Нац. исследовательский ядерный ун-т "МИФИ". - 3-е изд., доп. и перераб. - Москва : НИЯУ МИФИ, 2022. - 208 с. - ISBN 978-5-7262-2874-7.

Дополнительная

1. Батурицкий, М.А. Взаимодействие ионизирующего излучения с веществом / М.А.Батурицкий, И.Я.Дубовская. – Минск: РИВШ, 2010. – 220 с.
2. Беспалов, В.И. Лекции по радиационной защите. / В.И. Беспалов. – Учебное пособие. – Томск : Из-во ТПУ, – 2018. – 695 с.
3. Беспалов, В. И. Надзор и контроль в сфере безопасности. Радиационная защита [Текст] : учеб. пособие для бакалавриата и магистратуры / В. И. Беспалов. - 5-е изд., доп. - М. : Юрайт, 2020. – 507 с. - (Высшее образование). - Библиогр. в конце разделов. - ISBN 978-5-534-11595-6.
4. Голубев, Б.П. Дозиметрия и защита от ионизирующих излучений/ Б.П. Голубев. -- М., Энергоатомиздат, 1986. – 464 с.
5. Дозиметрия и защита от ионизирующих излучений [Текст] : учеб. пособие : в 2 ч. Ч. 2 : Нормирование облучения человека. Прикладная дозиметрия и защита от ионизирующих излучений / В. В. Ткаченко [и др.]. - Обнинск : ИАТЭ НИЯУ МИФИ, 2015. – 148 с. : ил., табл. - Библиогр.: с. 145.
6. Зарипова Л.Д. Защита от ионизирующего излучения: Учебно-методическое пособие для студентов физического факультета/ Л.Д Зарипова. – Казань : Изд-во Казанск. гос. ун-та. 2008. – 48 с.
7. Защита от ионизирующих излучений: в 2 т. Т.1. Физические основы защиты от излучений: Учебник для вузов / Н.Г. Гусев, В.А. Климанов, В.П. Машкович, А.П. Суворов; Под ред. Н.Г. Гусева. – 3-е изд., пераб. и доп. М. : Энергоатомиздат, 1989. – 511 с.
8. Защита от ионизирующих излучений: в 2 т. Т.2. Защита от излучений ядерно-технических установок: Учебник для вузов / Н.Г. Гусев, В.П. Машкович, А.П. Суворов; Е.Е. Ковалёв. Под ред. Н.Г. Гусева. – 2-е изд., пераб. и доп. М. : Энергоатомиздат, 1990. – 353 с.
9. Иванов, В.И. Курс дозиметрии: Учебник для вузов/ В.И. Иванов. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1988. – 400 с.
- 10.Иванов, И.В. Сборник задач по дозиметрии и защите от ионизирующих излучений/ И.В. Иванов, Е.И. Константинов, В.П. Машкович. – М.: Атомиздат, 1964. – 136 с.
- 11.Излучения ионизирующие и их измерения. Термины и определения. Рекомендации по межгосударственной стандартизации РМГ 78-2005. – М.: Стандартинформ, 2006. – 53 с.
- 12.Кейз, К. Линейная теория переноса / К.Кейз, П.Цвайфель. – Пер. с англ. М.Г.Кузьминой, под. ред. М.В.Масленникова. – М.: «Мир», 1972. – 383 с.
- 13.Кирюшкин А.И. Инженерные методы расчета и проектирования биологической защиты атомных паропроизводящих установок. / А.И.Кирюшкин, Е.А.Шлокин. Горький : ГПИ им. А.А.Жданова, 1979. – 56 с.

14. Кирюшкин, А.И. Проектирование и оптимизация биологической защиты атомных паропроизводящих установок. / А.И.Кирюшкин, Е.А.Шлокин. Горький : ГПИ им. А.А.Жданова, 1981. – 64 с.
15. Кутьков, В. А. Радиационная защита персонала организаций атомной отрасли [Текст] : учеб. пособие / В. А. Кутьков, В. В. Ткаченко, В. П. Романцов. - М. : Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2011. – 400 с. : ил. - Библиогр.: с. 393-395. - ISBN 978-5-7038-3533-3.
16. Крянев, А.В. Аналитические и численные методы теории переноса: Учебное пособие/ А.В. Крянев. М.: МИФИ, 1991. – 112 с.
17. Лощаков, И.И. Введение в дозиметрию и защита от ионизирующих излучений. / Учебное пособие для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлениям подготовки и специальностям техники и технологии/ И.И Лощакоа. – СПб : Изд-во Политех. ун-та, 2008. – 145 с.
18. Матвеев, А.В. Практикум по дозиметрии и радиационной безопасности. / А.В. Матвеев, В.И. Козаченко, В.П. Котов. Под ред. А.В. Матвеева. СПб. : ГУАП, 2006. – 88 с.
19. Петрушанский, М.Г. Проектирование радиационной защиты электронных средств генерирования рентгеновского излучения. / Методические указания / М.Г. Петрушанвский. – Оренбург : ГОУ ОГУ, 2009. – 17 с.
20. Переверзенцев, В.В. Основы инженерных методов расчета защиты от ионизирующих излучений ядерных энергетических установок/ В.В. Перевезенцев. – М. : МГТУ им. Н.Э. Баумана, 1994. – 68 с.
21. Рекомендации МКРЗ 2007 года по радиационной защите. Публикация МКРЗ 103. М.: Труды МКРЗ, 2009. – 344 с.
22. Физические величины. Справочник. / Под ред. И.С. Григорьева, Е.З. Мейлихова. М.: Энергоатомиздат, 1991. – 1232 с.
23. Шлокин, Е.А. Защита от ионизирующего излучения. Курс лекций/ Е.А. Шлокин. – Нижний Новгород : НГТУ, 2011. – 51 с.
24. Сборник задач по теории переноса, дозиметрии и защите от ионизирующих излучений: Учебное пособие / А.А. Званцев [и др.]; под ред. В.А. Климанова. М. : НИЯУ МИФИ, 2011. – 196 с.
25. Сборник задач по радиационной безопасности и защите от излучений [Текст] : учеб. пособие / В. П. Карамзин [и др.]. - М. : Форум, 2015. - 64 с. : ил. - (Профессиональное образование). - Библиогр.: с. 62. - ISBN 978-5-91134-431-3.
26. Тарутин, И. Г. Радиационная защита в лучевой терапии [Текст] : монография / И. Г. Тарутин, Е. В. Титович, Г. В. Гацкевич. - Минск : Бел. навука, 2015. - 212 с. - Библиогр.: с. 199-209. - ISBN 978-985-08-1914-7.
27. Физические величины: Справочник / А. П. Бабичев, Н. А. Бабушкина, А. М. Братковский и др.; Под. ред. И. С. Григорьева, Е. З. Мейлихова. — М.; Энергоатомиздат, 1991. — 1232 с.
28. Шаров, Ю. Н. Дозиметрия и радиационная безопасность/ Ю.Н. Шаров, Н.В. Шубин М. : Энергоатомиздат, 1991. – 280 с.
29. Handbook on radioactivity analysis. Ed. by M.F.L'Annunziata. 2nd edition, Elsevier Academic Press: 2003. – 1283 p.

30. Quantities and units in radiation protection dosimetry: ICRU Report. Bethesda, Maryland, 1993.
31. Shultis J.K., Faw R.E. Radiation shielding. Prentice Hall, PTR, 2000. – 537 p.
32. Soppera, N. JANIS Book on neutron induced cross-sections / N. Soppera, E. Dupont, M. Fleming. – ECD NEA Data Bank: September, 2020. – 2524 p.
33. Transport and Shielding of Ionising Radiation / Compiled by J. van Rooyen. – Radiation and Reactor Theory (RRT) Section, NECSA (South African Nuclear Energy Corporation), September, 2015. – 542 p.
34. MCNPX network. Интернет-ресурс: <http://mcnpx.net/>.

Методические рекомендации по организации самостоятельной работы обучающихся

Основными направлениями самостоятельной работы обучающегося являются:

- подробное ознакомление с программой учебной дисциплины;
- ознакомление со списком рекомендуемой литературы по дисциплине в целом и ее разделам;
- изучение и расширение лекционного материала преподавателя за счет специальной литературы;
- подготовка к тестам;
- подготовка к контрольной работе;
- подготовка реферата;
- подготовка к экзамену.

Формы контроля знаний

№ п / п	Форма
1.	Выборочный контроль на лекциях (опрос, дискуссия)
2.	Проведение контрольных работ в группе
3.	Написание тестовых заданий
4.	Написание и сдача реферата
5.	Сдача отчетов по лабораторным работам
6.	Зачет
7.	Экзамен

Перечень рекомендуемых средств диагностики и методика формирования итоговой оценки

Формой промежуточной аттестации по дисциплине «Защита от ионизирующего излучения» учебным планом предусмотрен зачет и экзамен.

Для текущего контроля качества усвоения знаний по дисциплине рекомендуется использовать устные опросы, тесты и проведение контрольной работы.

При оценке текущего контроля учитывается:

- активное участие на занятиях и ответы на вопросы;
- дискуссия;

- работа на практических занятиях;
- результаты тестирования;
- подготовка и защита реферата;
- результаты выполнения контрольной работы;
- отметки, полученные по результатам выполнения лабораторных работ и отчетов по ним;
- результаты зачета по лабораторным работам.

Контрольные мероприятия проводятся в соответствии с учебно-методической картой дисциплины. В случае пропуска контрольного мероприятия возможность его выполнения определяется кафедрой, обеспечивающей преподавание данной дисциплины. В случае неявки на занятие по уважительной причине студент вправе по согласованию с преподавателем выполнить нагрузку в дополнительное время. Для студентов, получивших неудовлетворительные отметки за контрольное мероприятие, либо не явившихся по неуважительной причине, по согласованию с преподавателем и с разрешения заведующего кафедрой мероприятие может быть проведено повторно, до сессии.

По результатам выполнения лабораторных работ формой промежуточной аттестации учебным планом предусмотрен **зачет**.

Формой промежуточной аттестации по дисциплине «Защита от ионизирующего излучения» учебным планом предусмотрен **экзамен**.

К экзамену допускаются обучающиеся, успешно сдавшие зачет по дисциплине. Экзамен проводится в виде устного опроса по теоретическому материалу дисциплины в индивидуальном порядке по билетам, утвержденным кафедрой. Ответы на каждый вопрос билета оцениваются по десятибалльной шкале. Экзаменационная оценка, Э, определяется как среднее арифметическое значение оценок, выставленных за вопросы билета и дополнительные вопросы, заданные на экзамене.

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 в ходе проведения контрольных мероприятий текущей аттестации.

Примерные весовые коэффициенты, определяющие вклад текущей аттестации в отметку при прохождении промежуточной аттестации:

Формирование отметки за текущую аттестацию:

- Отметка за ответы при тестировании – 20%;
- Отметка за участие в дискуссии – 10%;
- Отметка контрольной работы – 25 %;
- Отметка за реферат – 20%;
- Средняя арифметическая отметка, округленная до одной десятой, за выполнение и отчетность по лабораторным работам и результатам сдачи зачета – 25%.

Итоговая отметка по дисциплине рассчитывается на основе отметки текущей аттестации (рейтинговой системы оценки знаний) - 40% и экзаменационной отметки - 60%.

Примерный перечень тем практических занятий

Раздел 4. Защита от фотонного ионизирующего излучения

Тема 4.2. Инженерные методы расчета доз от точечных источников фотонного ионизирующего излучения.

Примерный перечень заданий:

1. Решение задач методом слоев половинного ослабления.
2. Решение задач методом конкурирующих линий.
3. Инженерные методы расчета защиты от рентгеновского излучения.

Раздел 5. Аналитические методы расчета защиты от нейтронного излучения

Тема 5.4. Инженерные методы расчета защиты от нейтронного излучения.

Примерный перечень заданий:

1. Метод длин релаксации.
2. Учет границ материалов, используемых для защиты.

Раздел 7. Уравнения переноса излучения и расчет параметров защиты

Тема 7.2. Уравнения переноса для интегральных величин.

Примерный перечень заданий:

Занятие 7.2.2. Метод моментов. Понятие об угловых разложениях характеристик поля излучения.

1. Представление угловой зависимости мощности флюенса в виде разложения по сферическим функциям.
2. Разложение дифференциальной мощности флюенса по степеням произведений компонент единичного вектора направления движения частиц.

Тема 7.3. Уравнения переноса для фотонов.

Примерный перечень заданий:

Применение уравнений переноса фотонного ионизирующего излучения к расчету защиты.

Тема 7.4. Уравнения переноса для нейтронов.

Примерный перечень заданий:

Применение уравнений переноса нейтронного ионизирующего излучения к расчету защиты.

Тема 7.6. Методы моделирования Монте-Карло и их применение к расчету параметров защитных экранов.

Примерный перечень заданий:

1. Знакомство с программными кодами для расчета параметров защитных экранов.
2. Решение типовых задач расчета параметров защиты с использованием программных кодов.

Раздел 8. Защитные параметры для ядерных и радиационных установок

Тема 8.1. Расчет защиты от излучения ядерных реакторов.

Примерный перечень заданий:

Занятие 8.1.1. Ослабление пучков нейтронов в активной зоне реактора: плоско-параллельная, цилиндрическая и сферическая геометрии.

Занятие 8.1.2. Применение Монте-Карло моделирования для расчета ослабления пучков нейтронов и фотонов в реакторе и подбора материалов защитных экранов.

Тема 8.2. Оценка защитных параметров экранирующих устройств и помещений для нейтронных источников.

Примерный перечень заданий:

1. Расчет параметров нейтронной тепловой колонны.
2. Расчет параметров защиты для нейтронного генератора.

Тема 8.3. Оценка защитных параметров экранирующих устройств и помещений для промышленных облучателей и радиографических источников.

Примерный перечень заданий:

1. Оценка защитных параметров мощной гамма-установки водного хранения.
2. Оценка параметров помещения для стационарного промышленного рентгеновского радиографического источника.

Тема 8.4. Оценка защитных параметров экранирующих устройств и помещений лучевой диагностики и терапии.

Примерный перечень заданий:

1. Оценка параметров помещения, используемого для рентгеновской диагностики.
2. Оценка параметров помещения для медицинского ускорителя электронов. Учет эффекта «скайшайн».

Тема 8.5. Оценка параметров защитных контейнеров для перевозки источников ионизирующего излучения.

Тема 8.6. Оценка защитных параметров экранирующих устройств и помещений для хранения радионуклидных источников и при обращении с отработавшим ядерным топливом и радиоактивными отходами.

Примерный перечень заданий:

1. Оценка параметров защитного контейнера для радионуклидного радиографического источника.
2. Оценка параметров контейнеров для сухого хранения отработавшего ядерного топлива.

Примерный перечень вопросов, выносимых на контрольную работу

1. Защита от фотонного излучения – инженерные методы расчета.
2. Уравнения переноса. Защита от фотонного излучения, заряженных частиц и нейтронов.
3. Задача на использование изученных методов для расчета параметров защитных экранов установок, и применяемых в деятельности по использованию ядерных материалов и источников ионизирующего излучения.

Примерный перечень тем лабораторных работ

№ п/п	Содержание	Объем, час
1.	Ослабление фотонного излучения в веществе и оценка параметров защиты. Выбор материалов защиты от фотонного излучения.	8
2.	Выбор материала и определение толщины защиты от источников бета-излучения.	4
3.	Определение защитных параметров контейнера, содержащего источник гамма-излучения по спектру излучения	8

Другая значимая информация

Примерная тематика тестовых заданий

При выполнении каждого из указанных тестов обучаемый отвечает на 5 – 12 вопросов с выбором ответа и 5 – 12 вопросов открытого типа по изученному разделу.

Все вопросы формулируются на основе лекционного материала, представленного на образовательном портале МГЭИ им. А.Д.Сахарова БГУ и образовательном портале STAR-NET в виде презентаций и/или текстов лекций. Тестирование может проводиться как в письменной форме, так и в виде электронных тестов посредством образовательного портала.

Тест 1 по разделу 1. «Ионизирующее излучение» и по разделу 2 «Характеристики источника, поля излучения и радиационного воздействия» (темы 2.1 – 2.3).

Тема 1.1. Ионизирующее излучение. Термины и определения. Предмет защиты от ионизирующего излучения.

1. Классификационные критерии.
2. Виды ионизирующего излучения.
3. Виды источников ионизирующего излучения.

Тема 2.1. Классификация характеристик источников и поля ионизирующего излучения.

1. Определение поля ионизирующего излучения.
2. Основные элементы детерминистской модели поля ионизирующего излучения. Модель инфинитезимального пучка.
3. Энергетические и угловые характеристики движения частиц ионизирующего излучения.

Тема 2.2. Характеристики источника излучения.

1. Сила и мощность источника

2. Геометрические модели источников.
3. Интегральные и дифференциальные числовые характеристики источников.
4. Энергетические характеристики источников.

Тема 2.3. Основные характеристики поля излучения.

1. Глобальный флюенс частиц. Область применимости понятия флюенса частиц. Мощность флюенса частиц и ее область применимости.
2. Вычисление интегральных и глобального флюенса частиц и его мощности по известному дифференциальному флюенсу частиц.
3. Энергетический флюенс и его мощность. Дифференциальный энергетический флюенс, угловой и глобальный энергетический флюенс и его мощность.
4. Представление энергетической и угловой зависимости дифференциальной мощности флюенса в случае моноэнергетического и однонаправленного излучения.
5. Результирующий глобальный числовой поток. Односторонние потоки частиц. Область применимости. Мощность числового потока и область ее применимости. Поток частиц через поверхность. Плотность потока частиц в точке поверхности. Поток энергии ионизирующего излучения через поверхность. Плотность потока энергии. Связь между числовой плотностью потока и плотностью потока энергии.
6. Дифференциальные векторные числовые характеристики поля ионизирующего излучения. Вектор тока частиц и вектор плотности тока.
7. Принципы, по которым характеристики поля излучения относятся либо к токовым, либо к потоковым величинам.
8. Представление угловых распределений характеристик источников и полей ионизирующего излучения в виде разложений по сферическим функциям.

Тест 2 по разделу 2 «Характеристики источника, поля излучения и радиационного воздействия» (темы 2.4 – 2.6)

Тема 2.4. Ослабление первичного излучения в веществе.

1. Феноменологическое определение микроскопического поперечного сечения реакции и область его применимости.
2. Макроскопическое сечение реакции и его вероятностная интерпретация.
3. Дифференциальное, интегральные (энергетическое и угловое) и глобальное сечения реакции и области применимости этих понятий.
4. Феноменологические модели энергетического и углового распределений сечений. Индикатриса реакции.
5. Связь между глобальным и дифференциальным сечением в случае рассеяния частиц.
6. Вероятность прохождения первичного излучения.
7. Средняя длина свободного пробега частиц излучения в среде.

Тема 2.5. Связь между дозиметрическими величинами и характеристиками поля излучения.

1. Основные детерминированные дозиметрические величины.

2. Операционные дозиметрические величины.
3. Нормируемые дозиметрические величины.
4. Понятие радиационного отклика.
5. Функция радиационного отклика.
6. Линейные коэффициенты передачи энергии для разных видов дозы, создаваемой фотонным излучением.
7. Модели спрямленного и расширенного поля излучения.
8. Функции отклика для тела человека.
9. Виды фантомов.

Тест 3 по разделу 3. Общие аналитические методы расчета защиты (темы 3.1 – 3.3).

Тема 3.1. Расчет дозы, формируемой первичным излучением.

1. Точечный источник в вакууме, бесконечной однородной среде, за бесконечной однородной плоской плитой.
2. Равномерно распределенный линейный источник в вакууме, бесконечной однородной среде, за бесконечной однородной плоской плитой.
3. Равномерно распределенный по поверхности тонкого круглого диска источник в вакууме, бесконечной однородной среде, за бесконечной однородной плоской плитой.
4. Равномерно распределенный по поверхности прямоугольника источник в вакууме, бесконечной однородной среде, за бесконечной однородной плоской плитой.
5. Равномерно распределенный по объему круглого усеченного конуса источник в вакууме, бесконечной однородной среде, за бесконечной однородной плоской плитой.
6. Равномерно распределенный по объему круглого цилиндра источник в вакууме, бесконечной однородной среде, за бесконечной однородной плоской плитой.
7. Источник, равномерно распределенный в бесконечной плоской плите, в вакууме, бесконечной однородной среде, за бесконечной однородной плоской плитой, параллельной источнику.

Тема 3.2. Связь между дозиметрической величиной и характеристикой источника.

1. Точечное ядро дозы.
2. Геометрические факторы, используемые при расчете защиты от излучения протяженных источников.

Тема 3.3. Факторы, используемые в аналитических расчетах параметров защиты.

1. Числовой и дозовый факторы накопления.
2. Числовой и дозовый факторы ослабления.
3. Применимость концепции фактора накопления к нейтронному излучению.
4. Применимость концепции фактора ослабления к нейтронному излучению.

Тест 4 по разделу 3. Общие аналитические методы расчета защиты (темы 3.4 – 3.6).

Тема 3.4. Концепция альбедо.

1. Условия применимости концепции альбедо.
2. Дифференциальное числовое альбедо.
3. Числовой коэффициент отражения.
4. Дозовое альбедо и его связь с числовыми характеристиками «отражения» ионизирующего излучения от поверхностей.

Тема 3.5. Эффект «скайшайн».

1. Физические явления, лежащие в основе эффекта «скайшайн».
2. Аналитические методы оценки эффекта «скайшайн» для фотонов
3. Аналитические методы оценки эффекта «скайшайн» для нейтронов.

Тема 3.6. Распространение фотонов и нейтронов в каналах.

1. Доза прямой видимости.
2. Учет ослабления части излучения в материале защитного экрана.
3. Учет однократного отражения в цилиндрическом канале.
4. Распространение фотонов в двухколенном канале прямоугольного сечения.
5. Распространение нейтронов в каналах. Учет многократного рассеяния нейтронов в каналах.

Тест 5 по разделу 7. Уравнения переноса излучения и расчет параметров защиты (Темы 7.1, 7.2)

Тема 7.1. Уравнение переноса ионизирующего излучения

1. Принципы составления уравнения переноса для дифференциальной мощности флюенса ионизирующего излучения.
2. Сторонние источники и внешние источники.
3. Допустимые начальные и граничные условия для уравнения переноса для дифференциальной мощности флюенса ионизирующего излучения.
4. Физический смысл точного решения уравнения переноса для первичного излучения.
5. Интегральная форма уравнения переноса и область ее применимости.
6. Уравнение переноса ионизирующего излучения в стационарной среде. Стационарное уравнение переноса.
7. Теорема Фано.
8. Скейлинг поля ионизирующего излучения: условия применимости.
9. Стационарное уравнение переноса в приближении экспоненциального ослабления.

Тема 7.2. Уравнения переноса для интегральных величин.

1. Многогрупповое приближение в уравнении переноса.
2. Задача Милна.
3. Угловые разложения характеристик поля излучения.

4. Бесконечная система уравнений переноса для энергетических распределений характеристик поля излучения. Граничные условия.
5. P_N -приближение в системе уравнений переноса для энергетических распределений величин.
6. Диффузионное приближение в уравнении переноса.

Тест 6 по разделу 7. Уравнения переноса излучения и расчет параметров защиты (Темы 7.3 – 7.5)

Тема 7.3. Уравнение переноса для фотонов.

1. Сечения реакций взаимодействия фотонного ионизирующего излучения с веществом.
2. Граничные условия для уравнений переноса фотонного излучения.

Тема 7.4. Уравнения переноса для нейтронов.

1. Сечения реакций взаимодействия нейтронов с веществом.
2. Диффузионное приближение. Граничные условия.
3. Замедление нейтронов в протиевой среде. Спектр Ферми.
4. Замедление нейтронов в гомогенной среде с массовым числом больше 1.
5. Замедление нейтронов в гетерогенной среде.
6. Приближение Вигнера.
7. Возраст нейтронов.
8. Уравнение переноса нейтронов в диффузионно-возрастном приближении.

Тема 7.5. Уравнения переноса для быстрых электронов и позитронов.

1. Учет особенностей взаимодействия легких заряженных частиц с веществом в уравнении переноса.
2. Замедление и диффузия легких заряженных частиц в экранирующем материале.

Примерный перечень вопросов к экзамену

1. Ионизирующее излучение. Термины и определения. Предмет защиты от ионизирующего излучения.
2. Характеристики источника излучения.
3. Флюенс и мощность флюенса.
4. Поток и мощность потока, векторный ток и плотность векторного тока.
5. Связь между дифференциальными мощностью флюенса и векторной плотностью тока. Интегральные и глобальные мощность флюенса и вектор плотности тока частиц ионизирующего излучения. Токовые и потоковые величины.
6. Ослабление первичного излучения в веществе.
7. Система дозиметрических величин.
8. Мера радиационного отклика и связь его с характеристикой поля излучения. Функция радиационного отклика.

9. Линейный коэффициент передачи энергии и его виды в зависимости от вида дозы. Применимость данных понятий к различным видам ионизирующего излучения и формам источников.
10. Расширенное и выровненное поле излучения. Функции отклика для тела человека как объекта облучения. Фантомы.
11. Расчет дозы первичного излучения, создаваемого точечным источником, в вакууме, бесконечной однородной среде, за бесконечной однородной плоской плитой. Изотропные и анизотропные источники. Точечные радионуклидные источники: гамма-постоянные, радиевый эквивалент. Рентгеновские источники: радиационный выход.
12. Расчет дозы первичного излучения, создаваемого изотропными равномерно распределенными линейными источниками стандартной формы, в вакууме, бесконечной однородной среде, а также находящемся за бесконечной однородной плоской плитой.
13. Расчет дозы первичного излучения, создаваемого равномерно распределенными поверхностными источниками стандартной формы (круглый диск, бесконечная плоскость, прямоугольник, сфера), в вакууме, бесконечной однородной среде, а также находящемся за бесконечной однородной плоской плитой.
14. Расчет дозы первичного излучения, создаваемого объемными равномерно распределенными источниками стандартной формы (усеченный конус, цилиндр, бесконечная плита), в вакууме, бесконечной однородной среде, а также находящемся за бесконечной однородной плоской плитой.
15. Связь между дозиметрической величиной и характеристикой источника.
16. Фактор накопления. Фактор ослабления. Их применимость к различным видам ионизирующего излучения.
17. Концепция альбеда.
18. Распространение фотонов и нейтронов в каналах. Доза прямой видимости.
19. Распространение фотонов и нейтронов в каналах. Учет ослабления части излучения в материале защитного экрана. Учет однократного рассеяния в цилиндрическом канале.
20. Распространение фотонов в двухколенном канале.
21. Распространение нейтронов в каналах. Учет многократного рассеяния нейтронов в каналах.
22. Моделирование фактора накопления для моноэнергетического фотонного излучения: Приближение Бергера, приближение Тейлора, приближение геометрической прогрессии. Роль неоднородности защиты. Многослойные защитные экраны.
23. Фактор ослабления для гамма- и рентгеновского излучения. Выбор материала защиты.
24. Инженерные методы определения параметров защитных экранов от источников фотонного ионизирующего излучения. Метод слоев половинного ослабления.
25. Инженерные методы определения параметров защитных экранов от источников фотонного ионизирующего излучения. Метод конкурирующих линий.

26. Инженерные методы определения параметров защитных экранов от рентгеновского ионизирующего излучения.
27. Выбор материалов для экранирования нейтронного излучения.
28. Аналитические оценки ослабления потоков быстрых нейтронов в веществе.
29. Аналитические оценки ослабления потоков медленных нейтронов в веществе.
30. Инженерные методы расчета защиты от нейтронного излучения.
31. Защита от потоков быстрых электронов.
32. Защита от потоков тяжелых заряженных частиц.
33. Уравнение переноса излучения для дифференциальной мощности флюенса. Граничные условия.
34. Решение уравнения переноса для дифференциальной мощности флюенса первичного излучения.
35. Интегральная форма уравнения переноса и область ее применимости.
36. Уравнение переноса ионизирующего излучения в стационарной среде. Стационарное уравнение переноса.
37. Теорема Фано. Скейлинг стационарного поля излучения. Переход от объемных источников к эквивалентным поверхностным источникам.
38. Стационарное уравнение переноса в приближении экспоненциального ослабления.
39. Представление уравнения переноса ионизирующего излучения в многогрупповом приближении.
40. Стационарное односкоростное уравнение переноса (задача Милна).
41. Метод моментов. Понятие об угловых разложениях характеристик поля излучения. Бесконечная система уравнений переноса для энергетических распределений характеристик поля излучения. Граничные условия.
42. P_N -приближение в бесконечной системе уравнений переноса для энергетических распределений характеристик поля излучения.
43. Диффузионное приближение в уравнении переноса.
44. Уравнение переноса для фотонного ионизирующего излучения.
45. Уравнения переноса для нейтронов. Диффузионное приближение. Граничные условия.
46. Замедление нейтронов в экранирующем материале.
47. Уравнение переноса нейтронов в диффузионно-возрастном приближении.
48. Уравнения переноса для быстрых электронов и позитронов.
49. Аналоговые и неаналоговые методы Монте-Карло моделирования процессов распространения ионизирующего излучения в веществе.
50. Расчет защиты от излучения ядерных реакторов.
51. Оценка защитных параметров экранирующих устройств и помещений для нейтронных источников.
52. Оценка защитных параметров экранирующих устройств и помещений для промышленных облучателей источников.
53. Оценка защитных параметров экранирующих устройств и помещений для радиографических источников.
54. Оценка защитных параметров экранирующих устройств и помещений лучевой диагностики и терапии.

55. Оценка параметров защитных контейнеров для перевозки источников ионизирующего излучения.
56. Оценка защитных параметров экранирующих устройств и помещений, используемых для хранения радионуклидных источников.
57. Оценка защитных параметров экранирующих устройств и помещений, используемых при обращении с отработавшим ядерным топливом.
58. Оценка защитных параметров экранирующих устройств и помещений, используемых при обращении радиоактивными отходами.

Наименования и виды методических средств

№ п / п	Наименование	Вид
1	Учебно-информационные материалы по теме лекций	Электронный файл - *.pdf
2	Презентации	Электронный файл - *.ppt
3	Методические указания по выполнению лабораторных работ	Электронный файл и бумажный документ

**ПРОТОКОЛ СОГЛАСОВАНИЯ УЧЕБНОЙ ПРОГРАММЫ С ДРУГИМИ ДИСЦИПЛИНАМИ
СПЕЦИАЛЬНОСТИ**

Название дисциплины, с которой требуется согласование	Название кафедры	Предложения об изменениях содержания учебной программы изучаемой дисциплины по	Решение, принятое кафедрой, разработавшей учебную программу (с указанием даты и номера протокола)
Согласование с другими дисциплинами специальности не требуется			