

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-1588-24/уч.

ДОЗИМЕТРИЯ

Учебная программа учреждения образования по учебной дисциплине для
специальности:

1-100 01 01 Ядерная и радиационная безопасность

2024 г.

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

СОСТАВИТЕЛИ:

Е.М. Хаджинов, доцент кафедры ядерной и радиационной безопасности Учреждения образования «Международный государственный экологический институт имени А.Д. Сахарова» БГУ, кандидат технических наук;

О.М. Хаджинова, старший преподаватель кафедры ядерной и радиационной безопасности Учреждения образования «Международный государственный экологический институт имени А.Д. Сахарова» БГУ

РЕЦЕНЗЕНТЫ:

Ю.П. Севцевич, заместитель начальника производственно-исследовательского отдела измерений ионизирующих излучений Республиканского унитарного предприятия «Белорусский государственный институт метрологии» (БелГИМ);

А.И. Тимощенко, заведующий кафедрой ядерной физики БГУ 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 июня 2024)

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

Дисциплина «Дозиметрия» занимает центральное место в учебном плане специальности 1-100 01 01 «Ядерная и радиационная безопасность». Для усвоения данной дисциплины необходимо изучение следующих дисциплин: «Физика ядра и ионизирующего излучения», «Измерение характеристик ионизирующего излучения». В данной дисциплине даются теоретические основы профессиональных знаний, необходимые будущим специалистам по ядерной и радиационной безопасности для изучения таких дисциплин «Основы радиационной безопасности», «Действие ионизирующего излучения на человека и биоту» и других специальных дисциплин.

Цель учебной дисциплины: ознакомить обучающихся с методами оценки доз облучения человека в случаях внешнего и внутреннего облучения, сформировать навыки использования оборудования для проведения дозиметрических измерений.

Важной задачей радиационной защиты является оценка возможности возникновения и развития тяжелых радиогенных заболеваний – эффектов излучения. В решении этой задачи существенную роль играет дозиметрия ионизирующих излучений. Она предназначена для того, чтобы характеризовать условия облучения с использованием физических величин, необходимых в последующем для оценки радиогенного риска. Для этого используют различные расчетные и экспериментальные методы.

Данная программа разработана на основе современной системы дозиметрических величин, которую можно разделить на три части: базовые, операционные и нормируемые.

При преподавании дисциплины должны быть решены следующие задачи:

- систематически изложить основные физические принципы, на которых основаны измерения дозовых характеристик ионизирующего излучения;
- ознакомить обучающихся с современной системой дозиметрических величин
- выработать навыки практического выполнения дозиметрических измерений;
- способствовать развитию научного мировоззрения;
- подготовить студентов к изучению других специальных дисциплин.

В ходе изучения учебной дисциплины студент должен освоить следующие компетенции:

- понимать системы дозиметрических величин и области их применения, использовать основные физические методы дозиметрических измерений в научно-практической деятельности (БПК-11);

- быть способным к саморазвитию и совершенствованию в профессиональной деятельности (УК-5).

В результате усвоения дисциплины студент должен:

знать:

- основные и нормируемые дозиметрические величины;
- основные понятия микродозиметрии;
- важнейшие методы измерения основных дозиметрических величин;
- основные рабочие дозиметрические величины и область их применения;
- пути поступления радионуклидов в организм;

уметь:

- проводить дозиметрические измерения;
- производить оценку доз при внешнем и внутреннем облучении;
- использовать стандартные биокинетические модели для оценки доз;

владеть:

- основными методами калибровки дозиметрических приборов;
- методиками проведения измерений на спектрометрах излучения человека.

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 дисциплине «Дозиметрия» разработана в соответствии с образовательными стандартами высшего образования первой степени по специальности 1-100 01 01 «Ядерная и радиационная безопасность». Программа рассчитана на 216 часов, из которых – 108 аудиторных часов, в том числе на лекции отводится 52 часа, на лабораторные занятия – 32 часа, на практические занятия – 24 часа.

Контроль знаний рекомендуется вести по результатам работы студентов на лабораторных (защита отчетов) и практических занятиях (контрольные работы).

Форма промежуточной аттестации по дисциплине – зачет и экзамен в 7-м семестре.

Также предусмотрена курсовая работа по данной дисциплине, защита которой проводится в 7-м семестре.

Форма получения высшего образования – очная (дневная).

Трудоемкость дисциплины составляет 6 зачетных единиц.

СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОГО МАТЕРИАЛА

Тема 1. Физические основы дозиметрии фотонного излучения

Введение в предмет дозиметрии. Соотнесение биологических эффектов с энергией, переданной излучением веществу. Поле излучения. Токовые и потовые величины. Теорема Фано. Преобразование энергии фотонного излучения в веществе. Разделение энергии между вторичными электронами (керма) и остаточным фотонным излучением.

Передача энергии и поглощение энергии ионизирующего излучения веществом. Электронное равновесие. Линейная передача энергии. Биологическое действие излучения. Основные проблемы измерения дозы.

Базовые радиометрические величины. Характеристики источников ионизирующего излучения. Характеристики поля ионизирующего излучения. Базовые дозиметрические величины. Дозовые характеристики излучения: экспозиционная доза, керма, поглощенная доза. Взаимосвязь дозиметрических величин. Мощность дозиметрической величины от источника со сложным спектральным составом. Керма-постоянная радионуклида.

Полость Брэгга-Грея. Средняя энергия ионизации и средняя энергия ионообразования. Эффективный атомный номер. Сравнение энергии, переданной излучением веществу в теле человека и в материале детектора. Энергетическая зависимость чувствительности детектора.

Тема 2. Ионизационные дозиметрические детекторы

Процессы, происходящие в ионизационной камере при облучении. Коэффициент рекомбинации. Подвижность ионов. Размерности. Эффективность собирания. Формула Боуга. Отношение времени рекомбинации к времени уноса зарядов полем. Зависимость тока от мощности дозы.

Преимущества и недостатки работы камеры в режиме максимального собирания. Работа камеры на омическом участке. Универсальная характеристика ионизационной камеры.

Особенности работы камеры в импульсном режиме. Время существования области перекрытия. Аналог формулы Боуга для импульсного облучения. Зависимость эффективности собирания от частоты следования импульсов и их интенсивности.

Газоразрядные счетчики. Зависимость числа импульсов от потока и от энергии. Конденсаторные камеры. Измерение дозы при разном коэффициенте собирания.

Тема 3. Полупроводниковые дозиметрические детекторы

Общие сведения о полупроводниках. Металлы и диэлектрики. Энергетические уровни в чистом полупроводнике. Ширина запрещенной зоны в сравнении с энергией тепловых колебаний. Уровень Ферми. Примесные полупроводники. Темновой ток. Процессы, происходящие в области p - n

перехода. Диффузия носителей заряда. Падение концентрации свободных носителей в области $p-n$ перехода при подаче запирающего напряжения.

Возникновение тока при прямом и обратном напряжении. Использование ППД в режиме счетчика. Проблема с темновым током. Необходимость введения уровня дискриминации по амплитуде. Проблемы с неопределенностью размеров рабочей области. Проблемы с запаздыванием импульсов от дельта-электронов, приходящих из других областей. Энергетический спектр дельта-электронов. Проблема со смещением максимума дельта-электронов при росте энергии излучения. Работа с использованием всего объема детектора. Проблема с током утечки. Работа ППД без приложения внешнего напряжения. Повреждения в кристалле и образование ловушек.

Тема 4. Сцинтилляционный метод дозиметрии фотонного излучения

Принципы работы сцинтилляторов. Особенности работы сцинтилляторов для при дозиметрических измерениях. Отсутствие сцинтилляторов с из тканееквивалентных материалов. Использование неорганических сцинтилляторов в поисковой дозиметрии. Комбинированные сцинтилляторы. Токовый, счетчиковый и спектрометрический режимы сцинтилляционного детектора.

Тема 5. Люминесцентные методы дозиметрии

Образование ловушек в кристаллах. Образование центров окраски под воздействием ионизирующего излучения. Образование дополнительных уровней при помощи атомов серебра. Работа фотолюминесцентных дозиметров. Причины и механизмы люминесценции. Кривая высвечивания. Зависимость от времени после облучения и от температуры. Свойства и область применения. Работа термолюминесцентных дозиметров. Причины и механизмы. Термовысвечивание. Зависимость от накопленной дозы. Причины массового использования LiF.

Тема 6. Фотографический и химический методы дозиметрии фотонного излучения

Фотографическое действие излучения. Дозовая чувствительность фотодозиметра. Компенсация энергетической зависимости чувствительности. Индивидуальный фотоконтроль.

Радиационно-химические превращения. Жидкие дозиметрические системы.

Тема 7. Дозиметрия нейтронов

Биологическое действие нейтронов. Отличия от обычной ионизации при воздействии на живую клетку и фрагменты клетки. Реакции на водороде и азоте для медленных нейтронов. Ударная ионизация быстрыми нейтронами.

Первоударная доза. Зависимость максимума дозы по глубине при росте энергии. Зависимость биологического эквивалента дозы от энергии.

Дозиметрия быстрых нейтронов с помощью ионизационных камер. Сцинтилляционный метод дозиметрии нейтронов. Активационный метод дозиметрии нейтронов. Трековые дозиметрические детекторы. Другие методы дозиметрии нейтронов.

Тема 8. Эквидозиметрия

Детерминированные и стохастические биологические эффекты ионизирующего излучения. Биологические основы детерминированных и стохастических эффектов.

Неравномерность потерь энергии в веществе. Микродозиметрия. Определение микродозиметрических величин. ЛПЭ-метрия. Понятие действующего спектра излучения (ЛПЭ-спектры). Способы экспериментального определения линейной передачи энергии. Разреженная сфера. Определение ЛПЭ колоночным методом.

Эквидозиметрические величины. Относительная биологическая эффективность ионизирующего излучения. ОБЭ-взвешенная доза. Нормируемые дозиметрические величины. Взвешивающий коэффициент излучения. Эквивалентная доза в органе или ткани. Тканевый взвешивающий коэффициент. Эффективная доза облучения. Ожидаемая эквивалентная доза в органе или ткани. Ожидаемая эффективная доза внутреннего облучения. Годовая эффективная доза.

Операционные (рабочие) дозиметрические величины для мониторинга рабочего места и для индивидуального дозиметрического контроля. Расширенное и выровненное поля. Эквивалент дозы. Коэффициент качества. Амбиентный, индивидуальный, направленный эквиваленты доз.

Оценка дозы от точечного и протяженных источников различной конфигурации (без учета самопоглощения и многократного рассеяния).

Тема 9. Дозиметрия инкорпорированных радионуклидов

Пути поступления радионуклидов внутрь организма. Образование и свойства радиоактивных аэрозолей. Особенности биологического действия радиоактивных аэрозолей. Естественные радиоактивные аэрозоли. Радонометрия.

Формирование дозы излучения инкорпорированных радионуклидов. Расчет доз внутреннего облучения с помощью моделей МКРЗ. Камерные модели. Оценка и учет дозы от внутреннего облучения. Дозовые коэффициенты.

Способы прижизненного определения содержания инкорпорированных радионуклидов. Устройство спектрометров излучения человека. Косвенные методы определения поступления радионуклидов в организм человека.

Тема 10. Точность и адекватность в дозиметрии

Оценка неопределенностей результата дозиметрических измерений. Калибровка индивидуальных дозиметров. Калибровка приборов для контроля радиационной обстановки. Дозиметрическая линейка, фантомы. Поверка дозиметров.

ТРЕБОВАНИЯ К КУРСОВОЙ РАБОТЕ

Целью выполнения курсовой работы закрепление, углубление и расширение теоретических знаний в соответствии с содержанием дисциплины, а также применения практических навыков для решения поставленной дозиметрической задачи. Тематика курсовой работы может быть выбрана из перечня, предоставляемого кафедрой, а также предложена студентом самостоятельно.

Выполнение курсовой работы предлагает углубленное теоретическое изучение выбранной темы, выполнение измерений или теоретических оценок для определения доз облучения человека в различных ситуациях, а также анализ полученных результатов.

В соответствии с учебным планом на выполнение курсовой работы обучающимся выделяется 40 часов (1 з.е.).

Оформление курсовой работы осуществляется в соответствии с требованиями оформления.

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКАЯ КАРТА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

(очная (дневная) форма получения высшего образования)

Номер раздела, темы	Название раздела, темы	Количество аудиторных часов					Количество часов УСР	Форма контроля
		Лекции	Практические занятия	Семинарские занятия	Лабораторные занятия	Иное		
1.	Физические основы дозиметрии фотонного излучения	10	12		4			1-3
2.	Ионизационные дозиметрические детекторы	8						1
3.	Полупроводниковые дозиметрические детекторы	4						1
4.	Сцинтилляционный метод дозиметрии фотонного излучения	2						1
5.	Люминесцентные методы дозиметрии	4			8			1, 3
6.	Фотографический и химический методы дозиметрии фотонного излучения	2						1
7.	Дозиметрия нейтронов	6						1
8.	Эквидозиметрия	8	10		4			1-3
9.	Дозиметрия инкорпорированных радионуклидов	8	2		4			1-3
10.	Точность и адекватность в дозиметрии				12			3
	ИТОГО:	52	24		32			

ИНФОРМАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Инновационные подходы и методы к преподаванию учебной дисциплины

При организации образовательного процесса используется практико-ориентированный подход, который предполагает освоение содержания образования через решения практических задач; метод учебной дискуссии, который предполагает участие студентов в целенаправленном обмене мнениями, идеями для предъявления и/или согласования существующих позиций по определенной проблеме; а также методы развития критического мышления, формирующие навыки работы с информацией в процессе чтения и письма.

Рекомендуемая литература

Основная

1. Дозиметрия и защита от ионизирующих излучений : в 2 ч. / В. В. Ткаченко [и др.]. – Обнинск : ИАТЭ НИЯУ МИФИ, 2015. – 148 с.
2. Романцова, И.В. Сборник задач по дозиметрии и защите от ионизирующих излучений / Романцова И.В., Ткаченко В.В., Кутьков В.А. – М.: НИЯУ МИФИ, 2022. – 208 с.
3. Domenech, H. Radiation Safety. Management and Programs / H. Domenech. – Miami : Springer International Publishing, 2017. – 332 p.
4. Климанов, В. А. Дозиметрия ионизирующих излучений: учеб. пособие / В. А. Климанов, Е. А. Крамер-Агеев, В. В. Смирнов. – М. : НИЯУ МИФИ, 2015. – 740 с.
5. Кутьков, В. А. Радиационная защита персонала организаций атомной отрасли : учеб. пособие / В. А. Кутьков, В. В. Ткаченко, В. П. Ромацов. - М. : Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2011. – 400 с.
6. Иванов, В. И. Курс дозиметрии : учеб. для вузов / В. И. Иванов. – 4-е изд. перераб. и доп. – М. : Энергоатомиздат, 1988. – 400 с.
7. Романцов, В. П. Сборник лабораторных работ по дозиметрии и защите от ионизирующих излучений / В. П. Романцов, И. В. Романцова, В. В. Ткаченко. – Изд. 2-е, доп. и перераб. – Обнинск : ИАТЭ НИЯУ МИФИ, 2010. – 132 с.
8. Климанов, В. А. Радиационная дозиметрия : монография / Климанов В. А. [и др.] ; под ред. В. А. Климанова ; Мин-во образования и науки РФ, Нац. исслед. ядерный ун-т "МИФИ". – Москва : НИЯУ МИФИ, 2021. – 648 с.
9. Основы радиационного контроля на АЭС : учеб. пособие / В. А. Кутьков [и др.] ; под ред. В. А. Кутькова, В. В. Ткаченко. – Обнинск : концерн «Росэнергоатом», ИАТЭ, 2005. – 268 с.

Дополнительная

1. Кутьков, В. А. Радиационная защита персонала организаций атомной отрасли : учеб. пособие / В. А. Кутьков, В. В. Ткаченко, В. П. Ромацов. – М. : Изд-во МГТУ им. Н.Э.Баумана, 2011. – 400 с.
2. Occupational Radiation Protection / International Atomic Energy Agency. – Vienna : International Atomic Energy Agency, 2018. – 360 p.
3. Публикация 118 МКРЗ / МКРЗ : пер. с англ. ; под общ. ред. А. В. Аклеева, М. Ф. Киселева. – Челябинск : Книга, 2012. – 383 с.
4. Публикация 103 МКРЗ. Рекомендации 2007 года Международной Комиссии по Радиационной защите / МКРЗ. – М. : ФМБЦ имени А. И. Бурназяна, ФМБА РОССИИ, 2009. – 343 с.
5. Advanced Radiation Protection Dosimetry (Medical Physics and Biomedical Engineering) / Edited by Shaheen Dewji, Nolan E. Hertel. – London : Taylor & Francis Group, 2019. – 508 p.
6. Климанов, В. А. Ядерная медицина. Радионуклидная диагностика : учеб. пособие / В. А. Климанов. – 2-е изд., испр. и доп. - М. : Юрайт, 2019. – 307 с.
7. Родионов, Ю. А. Основы дозиметрии и защиты от излучений / Ю. А. Родионов. – Санкт-Петербург – Институт ядерной энергетики (филиал) Санкт-Петербургского государственного политехнического университета (ИЯЭ (ф) СПбГПУ), 2013. – 142 с.
8. Близнюк, У. А. Клиническая дозиметрия: учеб. пособие / У. А. Близнюк, Е. Н. Лыкова – М.: ООП физического факультета МГУ, 2019. – 45 с.
9. Широков, Ю. М. Ядерная физика / Ю. М. Широков, Н. П. Юдин. – М. : Наука, 1980. – 728 с.
10. Кеирим-Маркус, И. Б. Эквидозиметрия / И. Б. Кеирим-Маркус. – М. : Атомиздат, 1980. – 191 с.

Формы контроля знаний:

№ п / п	Форма
1.	Выборочный контроль на лекциях
2.	Проведение контрольных работ в группе
3.	Защита отчетов по лабораторным работам

Примерный перечень тем практических занятий

Тема 1. Физические основы дозиметрии фотонного излучения. Базовые радиометрические и дозиметрические величины.

Тема 8. Эквидозиметрия. Нормируемые дозиметрические величины. Дозы от точечного и протяженных источников различной конфигурации (без учета самопоглощения и многократного рассеяния).

Тема 9. Дозиметрия инкорпорированных радионуклидов. Расчет доз внутреннего облучения с помощью моделей МКРЗ.

Примерный перечень тем лабораторных работ

1. Статистика в дозиметрии и радиометрии.
2. Индивидуальный дозиметрический контроль с помощью дозиметра ДКГ-АТ2509.
3. Индивидуальный дозиметрический контроль с помощью термолюминесцентных дозиметров: облучение всего тела и кожи или хрусталика глаза.
4. Энергетическая зависимость чувствительности дозиметров фотонного излучения.
5. Посещение НПУП «Атомтех». Калибровка индивидуальных дозиметров. Калибровка приборов для контроля радиационной обстановки. Дозиметрическая линейка, фантомы.
6. Поверка дозиметров. Оценка неопределенностей результата измерений.
7. Дозиметрия инкорпорированных радионуклидов в теле человека.

Примерный перечень тем контрольных работ

1. Контрольная работа 1. Физические основы дозиметрии фотонного излучения. Базовые радиометрические величины.
2. Контрольная работа 2. Физические основы дозиметрии фотонного излучения. Базовые дозиметрические величины.
3. Контрольная работа 3. Эквидозиметрия. Нормируемые дозиметрические величины. Дозиметрия инкорпорированных радионуклидов.
4. Контрольная работа 4. Дозы от точечного и протяженных источников различной конфигурации (без учета самопоглощения и многократного рассеяния).

Наименования и виды методических средств:

№ п / п	Наименование	Вид
1.	Учебно-информационные материалы по теме лекций	Электронный документ
2.	Сборник заданий к практическим занятиям	Учебное пособие, электронный файл
3.	Методические указания к лабораторным работам.	Электронный и бумажный виды