

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

УТВЕРЖДАЮ

Заместитель директора
по учебной и воспитательной работе
МГЭИ им. А.Д.Сахарова БГУ



В.И.Красовский

2016 г.

Регистрационный № УД-06-13/14-16 /уч. №
от 18.09.16

УЧЕБНАЯ ПРОГРАММА ПО ДИСЦИПЛИНЕ

«Характеристики ионизирующего излучения»

специальности переподготовки

1-33 01 71 «Радиационная защита и обеспечение безопасности источников
ионизирующего излучения»

(квалификация: специалист по радиационной безопасности)

в соответствии с типовым учебным планом переподготовки,
утвержденным 31.08.2016 рег. № 25-13/189

Минск, 2016

Разработчик программы:

А.И.Тимошенко, доцент кафедры ядерной и радиационной безопасности, кандидат физико-математических наук, доцент

В.А.Михайлов, старший преподаватель кафедры ядерной и радиационной безопасности



Рекомендована к утверждению:

Кафедрой ядерной и радиационной безопасности учреждения образования «Международный государственный экологический институт имени А.Д.Сахарова» Белорусского государственного университета
(протокол № 1 от 21.08.16.)

Научно-методическим советом учреждения образования «Международный государственный экологический институт имени А.Д.Сахарова» Белорусского государственного университета
(протокол № 1 от 18.10.2016.)

ВВЕДЕНИЕ

Программа дисциплины «Характеристики ионизирующего излучения» предназначена для слушателей специальности переподготовки 1-33 01 71 «Радиационная защита и обеспечение безопасности источников ионизирующего излучения» (150 часов).

Изучение данной дисциплины связано с необходимостью формирования базовых представлений, знаний и навыков слушателей по характеристикам ионизирующего излучения и основным методам их измерения, формирования современных представлений о методах радиационных измерений, основанных на взаимодействии ионизирующего излучения с веществом.

Целью дисциплины является ознакомление слушателей с основными радиометрическими и дозиметрическими величинами, применяемыми в радиационной безопасности, основными методами их расчета и измерения с целью дальнейшего применения при решении задач радиационной безопасности.

Задачи дисциплины:

- изучить смысл и область применимости основных понятий: источник ионизирующего излучения, поле ионизирующего излучения, числовые и энергетические характеристики поля ионизирующего излучения, связь характеристик поля ионизирующего излучения с характеристиками радиационного воздействия;

- изучить принципы действия приборов для измерения характеристик ионизирующего излучения;

- получить основные навыки работы с приборами для измерения характеристик ионизирующего излучения;

- освоить простейшие методы расчета защиты от фотонного и нейтронного излучения.

Методы и средства обучения: к основным методам и средствам реализации курса можно отнести такие, как освоение новой теории посредством чтения лекционного курса, проведение практических занятий для привития базовых расчетных навыков, проведения лабораторных занятий для экспериментального изучения основных методов определения характеристик ионизирующего излучения и их источников.

Слушатели должны знать:

- основные радиометрические величины и единицы их измерения;
- методику установления связи радиометрических величин с характеристиками источника ионизирующего излучения;

- основные дозиметрические величины;

- определения и область применения нормируемых и операционных дозиметрических величин;

- основные методы регистрации ионизирующего излучения и виды применяемых для этого приборов, определение их рабочих параметров;

– физические особенности измерения дозиметрических величин и виды дозиметрических приборов;

– основные принципы калибровки детекторов;

Слушатели должны уметь:

– проводить инженерные расчеты параметров защиты от фотонного и нейтронного ионизирующего излучения;

– осуществлять выбор материалов для экранирования от различных видов ионизирующего излучения на основании особенностей их взаимодействия с веществом;

– производить стандартные расчеты характеристик нерассеянного ионизирующего излучения для источников базовых геометрий;

– проводить обработку и анализ радиометрической и спектрометрической информации.

Общее количество часов, отводимое на изучение учебной дисциплины – 150. Количество аудиторных часов – 110. Из них: лекций – 42, практических занятий – 40, лабораторных занятий – 28.

Форма текущей аттестации – экзамен.

СОДЕРЖАНИЕ ПРОГРАММЫ

Тема 1. Характеристики источников и полей ионизирующего излучения: радиометрические и дозиметрические величины

Характеристики источника. Геометрические модели источников. Поле ионизирующего излучения и его характеристики: флюэнс, мощность флюэнса, ток и плотность тока частиц, энергетический флюэнс, вектор плотности потока энергии. Характеристики радиационного воздействия. Линейная передача энергии (ЛПЭ). Основные дозиметрические величины. Коэффициент взаимодействия. Коэффициент передачи энергии для фотонного излучения. Функция радиационного отклика. Расчет дозы нерассеянного излучения в зависимости от геометрии источника. Понятие о факторе накопления для гамма-излучения. Основные модели для фактора накопления. Выбор материала защиты и простейшие расчеты параметров защиты.

Тема 2. Система защитных величин в радиационной безопасности

Коэффициент качества излучения. Эквивалент дозы в точке. Поглощенная доза на орган (ткань). Спрямоленное и расширенное поле излучения. Рабочие дозиметрические величины: индивидуальный эквивалент дозы $H_p(0,07)$ и $H_p(10)$; амбиентный эквивалент дозы $H^*(d)$ и направленный эквивалент дозы ($H'(d)$). Фантом МКРЕ. Нормируемые дозиметрические величины. Взвешивающий фактор излучения w_R . Эквивалентная доза. Тканевый взвешивающий фактор w_T . Эффективная доза.

Тема 3. Приборы и методы регистрации ионизирующих излучений и измерения их характеристик

Общие принципы регистрации ионизирующего излучения. Эффективность регистрации. Калибровка по энергии. Учет радиационного фона. Учет геометрии измерения. Понятие о статистике отсчетов. Счетчики импульсов и измерение скорости счета. Дискриминаторы. Энергетическое разрешение. Анализ пиков по высоте. Схемы совпадений и антисовпадений. Поправка на мертвое время. Принцип полости Брэгга – Грея. Измерение поглощенной дозы с помощью заполненной газом полости; малые полости; электронное равновесие; эффекты рекомбинации; поправочные множители при определении поглощенной дозы в воде в фотонных и электронных пучках. Газонаполненные детекторы: ионизационные камеры с измерением тока; ионизационная камера под давлением; пропорциональные счетчики; счетчики Гейгера – Мюллера. Сцинтилляционные детекторы. Твердотельные и жидкостные сцинтилляционные детекторы, тушение люминесценции. Полупроводниковые детекторы. Фотографические эмульсии. Термолюминесцентные детекторы. Тканеэквивалентные детекторы. Трековые детекторы. Детекторы нейтронов. Системы визуализации. Другие детекторы: электреты, детекторы прямого заряда, детекторы, основанные на термической стимуляции экзотермической эмиссии (TSEE);

радиолюминесцентные детекторы (RPLD). Сравнение различных видов детекторов при их использовании в определенных задачах измерения характеристик ионизирующего излучения.

Тема 4. Обработка данных радиационных измерений.

Компьютерный анализ спектров.

Основные принципы регистрации и обработки спектров ионизирующего излучения. Математическая модель многокомпонентных измерений. Природа погрешностей, возникающих при обработке спектров. Основы статистического анализа спектров. Определение минимально детектируемой активности. Расчет вариаций «рабочего» спектра и вкладов сопутствующих изотопов. Процедура оценки минимально детектируемой активности. Определение стабильности фоновых характеристик спектрометра. Анализ линейчатых гамма-спектров. Анализ непрерывных бета-спектров.

Стандартизация в области радиационных измерений.

Тема 5. Основы ядерной электроники

Область применения ядерной электроники. Блок-схема спектрометра (радиометра) ионизирующего излучения. Эквивалентная схема детектора. Последовательная и параллельная схемы включения детектора. Конфигурации предусилителей, используемых для регистрации сигналов с детекторов ионизирующего излучения. Предусилители и усилители для различных видов детекторов. Основные характеристики усилителей предназначенных для регистрации сигналов с детекторов ионизирующего излучения. Многоканальные амплитудные анализаторы (МАА). Программно-управляемые МАА. Основные характеристики МАА. Отображение управляющей информации и результатов измерений. Автоматический поиск пиков и идентификация радиоактивных нуклидов.

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОГО ИЗУЧЕНИЯ

1. Решение задач в соответствии с индивидуальным заданием (*осн.:* [2], [4]).

ТЕМАТИКА ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЙ

1. Демонстрация различных видов портативных мониторов различных видов ионизирующего излучения. Использование руководств по эксплуатации.
2. Решение задач по расчету радиометрических величин.
3. Решение задач по расчету основных дозиметрических величин для точечных источников.
4. Типовые задачи расчета дозы от нерассеянного излучения для объектов с простейшей геометрией.
5. Решение типовых задач по расчету параметров защиты от фотонного ионизирующего излучения. Фактор накопления.
6. Расчет параметров защиты от нейтронов.

ТЕМАТИКА ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ

1. Калибровка сцинтилляционного гамма-спектрометра и полупроводникового спектрометра по энергии и активности. Определение неизвестной активности методом совпадений.
2. Калибровка альфа-спектрометра по энергии и активности.
3. Калибровка бета-спектров по значению максимальной энергии.
4. Спектрометрия нейтронов.
5. Измерение содержания трития и углерода-14 в низкоактивных образцах.
6. Определение содержания радионуклидов стронция, плутония и америция в объектах окружающей среды.
7. Компьютерная обработка результатов радиометрических и спектрометрических измерений.

ВОПРОСЫ К ЭКЗАМЕНУ

1. Характеристики источника. Геометрические модели источников.
2. Поле ионизирующего излучения и его характеристики: флюэнс, мощность флюэнса, ток и плотность тока частиц, энергетический флюэнс, вектор плотности потока энергии.
3. Линейная передача энергии (ЛПЭ). Основные дозиметрические величины.
4. Расчет дозы нерассеянного излучения в зависимости от геометрии источника. Понятие о факторе накопления для гамма-излучения.
5. Выбор материала защиты и простейшие расчеты параметров защиты.
6. Коэффициент качества излучения. Эквивалент дозы в точке.
7. Поглощенная доза на орган (ткань).
8. Спрямленное и расширенное поле излучения. Рабочие дозиметрические величины: индивидуальный эквивалент дозы $H_p(0,07)$ и $H_p(10)$.
9. Амбиентный эквивалент дозы $H^*(d)$ и направленный эквивалент дозы ($H'(d)$). Фантом МКРЕ. Нормируемые дозиметрические величины.
10. Взвешивающий фактор излучения w_R . Эквивалентная доза. Тканевый взвешивающий фактор w_T . Эффективная доза.
11. Общие принципы регистрации ионизирующего излучения. Эффективность регистрации. Калибровка по энергии. Учет радиационного фона. Учет геометрии измерения.
12. Понятие о статистике отсчетов. Счетчики импульсов и измерение скорости счета. Дискриминаторы. Энергетическое разрешение. Анализ пиков по высоте. Схемы совпадений и антисовпадений. Поправка на мертвое время.
13. Принцип полости Брэгга – Грея. Измерение поглощенной дозы с помощью заполненной газом полости; малые полости; электронное равновесие.
14. Газонаполненные детекторы: ионизационные камеры с измерением тока; ионизационная камера под давлением; пропорциональные счетчики; счетчики Гейгера – Мюллера.
15. Сцинтилляционные детекторы. Твердотельные и жидкостные сцинтилляционные детекторы.
16. Полупроводниковые детекторы. Фотографические эмульсии.
17. Термолюминесцентные детекторы. Тканеэквивалентные детекторы.
18. Трековые детекторы. Детекторы нейтронов. Сравнение различных видов детекторов при их использовании в определенных задачах измерения характеристик ионизирующего излучения.
19. Основные принципы регистрации и обработки спектров ионизирующего излучения.
20. Природа погрешностей, возникающих при обработке спектров. Основы статистического анализа спектров. Определение минимально детектируемой

активности. Анализ линейчатых гамма-спектров. Анализ непрерывных бета-спектров.

21. Стандартизация в области радиационных измерений.

22. Область применения ядерной электроники. Блок-схема спектрометра (радиометра) ионизирующего излучения

23. Многоканальные амплитудные анализаторы (МАО). Программно-управляемые МАО. Основные характеристики МАО.

24. Отображение управляющей информации и результатов измерений. Автоматический поиск пиков и идентификация радиоактивных нуклидов.

СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

Основная:

1. Излучения ионизирующие и их измерения. Термины и определения. Рекомендации по межгосударственной стандартизации РМГ 78-2005. М.: Стандартинформ, 2006.
2. Иванов, В.И. Курс дозиметрии. 4-е изд. перераб. и доп. М.: Энергоатомиздат, 1988.
3. Гусев, Н.Г. Защита от ионизирующих излучений. Т.1. Физические основы защиты от излучений. / Н.Г.Гусев, В.А.Климанов, В.П.Машкович, А.П.Суворов. М.: Энергоатомиздат, 1989.
4. Shultis, J.K. Radiation shielding. / J.K.Shultis, R.E.Faw. Prentice Hall, PTR, 1996.
5. Глоссарий МАГАТЭ по вопросам безопасности. Терминология, используемая в области ядерной безопасности и радиационной защиты. / Издание 2007 года. Вена: МАГАТЭ, 2007.
6. Radiation protection and safety of radiation sources: International basic safety standards. General safety requirements, Part 3. / Jointly Sponsored by EC, FAO, IAEA, ILO, OECD/NEA, PAHO, UNEP, WHO. Vienna: IAEA, 2014
7. International Commission on Radiological Protection. Conversion coefficients for use in radiological protection against external radiation / ICRP Publication 74, Annals of the ICRP Volume. Oxford and New York: Pergamon Press, 1997.
8. Закон о радиационной безопасности населения. Закон Республики Беларусь № 122-3 от 05 января 1998 с изменениями и дополнениями от 21 декабря 2005 г. № 72-3 и от 6 ноября 2008 г. № 440-3.
9. Санитарные нормы и правила «Требования к радиационной безопасности». Постановление Министерства здравоохранения от 28.12.2012, № 213.
10. KNOLL, G.T., Radiation Detection and Measurement, 4th Edition, Wiley, New York (2008).
11. Sabol J., Weng P.-S. Introduction to radiation protection dosimetry. WorldScientific, Singapore, 1995.
12. INTERNATIONAL COMMISSION ON RADIATION UNITS AND MEASUREMENTS, Quantities and Units in Radiation Protection Dosimetry, Report No. 51, ICRU, Bethesda, MD (1993).
13. INTERNATIONAL COMMISSION ON RADIATION UNITS AND MEASUREMENTS, Fundamental Quantities and Units for Ionizing Radiation, Report No. 60, ICRU, Bethesda, MD (1998).

Дополнительная:

1. ATTIX, F.H., Introduction to Radiological Physics and Radiation Dosimetry, Wiley, New York (1986).
2. Handbook on radioactivity analysis / Second Edition. Ed. by M.F.L'Annunziata. Oxford: Elsevier Science, 2003.
3. Taylor, L.S. Linear energy transfer / L.S.Taylor, M.Tubiana, H.O.Wyckoff, A.Allisy, J.W.Boag, R.H.Chamberlain, E.P.Cowan, F.Ellis, J.F.Fowler, H.Fränk, F.Gauwerky, J.R.Greening, H.E.Johns, K.Lidén, R.H.Morgan, V.F.Petrov, H.H.Rossi, A.Tsuya. ISRU Report 16. Washington, D.C.: International Commission on Radiation Units and Measurements, 1970.
4. Absorbed dose determination in external beam radiotherapy: international code of practice for dosimetry based on standards of absorbed dose to water. TRS No. 398, IAEA, April 2004.
5. <http://www.nndc.bnl.gov/>
6. <http://physics.nist.gov/>

УЧЕБНО-ТЕМАТИЧЕСКИЙ ПЛАН ДИСЦИПЛИНЫ

| Номер раздела, темы | Наименование раздела, темы | ВСЕГО | Количество аудиторных часов | | | | | | | | Самостоятельная работа | |
|---------------------|--|-------|-----------------------------|----------------------|---------------------|---------------------------------------|----------------------|--------------|----------|-------------|------------------------|----|
| | | | Лекции | Практические занятия | Семинарские занятия | Круглые столы, тематические дискуссии | Лабораторные занятия | Деловые игры | Тренинги | Конференции | | |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | | |
| 1. | Характеристики источников и полей ионизирующего излучения: радиометрические и дозиметрические величины | 36 | 8 | 18 | | | | | | | | 10 |
| 2. | Система защитных величин в радиационной безопасности | 12 | 6 | 2 | | | | | | | | 4 |
| 3. | Приборы и методы регистрации ионизирующих излучений и измерения их характеристик | 80 | 20 | 16 | | | | 24 | | | | 20 |
| 4. | Обработка данных радиационных измерений. Компьютерный анализ спектров | 14 | 4 | 2 | | | | 4 | | | | 4 |
| 5. | Основы ядерной электроники | 8 | 4 | 2 | | | | | | | | 2 |
| | Всего | 150 | 42 | 40 | | | | 28 | | | | 40 |